

**XXVIII
ВСЕРОССИЙСКАЯ
МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
(с элементами
научной школы)**

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



Сыктывкар 2021

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

XXVIII Всероссийская молодежная
научная конференция
(с элементами научной школы)

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

Материалы докладов

22–24 марта 2021 г.
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
2021

УДК 574/577 (063)

055(02)7

ББК 28

А 43

Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов: XXVIII Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы: 22–24 марта 2021 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия / отв. редактор С. В. Дегтева. – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021. – 174 с.

Представлены материалы докладов XXVIII Всероссийской молодежной научной конференции, проведенной Институтом биологии ФИЦ 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 и генетики.

Редколлегия:

Директор Института биологии С.В. Дёгтева (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 978-5-6043449-8-9

DOI: 10.31140/book-2021-04

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXVIII Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила с 22 по 24 марта 2021 г. В стенах Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН собрались студенты, аспиранты, кандидаты и доктора наук, интересующиеся вопросами биологии и экологии и участвующие в научно-исследовательской работе. 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 ФИЦ Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института.

На конференции прозвучало 53 доклада, в том числе шесть пленарных. Наибольшее число докладов представили молодые ученые Института биологии, восемь – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара. Остальные участники прибыли из других городов России и они представляли Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН (г. Апатиты), ООО «Экоаналитика» (г. Калуга), ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова (г. Киров), Вятский государственный университет (г. Киров), Вятский государственный агротехнологический университет (г. Киров), Государственный заповедник «Нургуш» (г. Киров), Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Красноярск), Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (г. Москва), Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина (г. Москва), НИЦ «Курчатовский институт» – Институт молекулярной генетики (г. Москва), Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (г. Москва), Институт леса ФИЦ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), Отдел комплексных научных исследований ФИЦ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – Обнинский институт атомной энергетики (г. Обнинск), Университет Центральной Флориды (Орlando, США), Университет ИТМО (Санкт-Петербург, Россия).

Впервые конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проводилась в онлайн-формате в связи с ограничениями из-за возможности распространения новой коронавирусной инфекции. Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН предоставил участникам все необходимые средства для осуществления бесперебойного дистанционного ведения трансляции докладов и их обсуждения с аудиторией и членами экспертной комиссии, состоящей из ведущих специалистов по каждому направлению исследований. В дистанционном режиме прозвучал 31 доклад.

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.

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 за всестороннюю помощь в реализации рабочей среды конференции. Благодарим пленарных докладчиков: Дмитрия Михайловича Колпащикова, Алексея Владимировича Тиунова, Евгения Александровича Боровичева, Ивана Николаевича Кутявина, Алексея Александровича Кудрина и Олесю Сергеевну Кубик.

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

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПОЧВАХ ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ХАЙПУДЫРСКАЯ ГУБА)

О.С. Кубик

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kubik-olesia@yandex.ru

Актуальность изучения экосистем прибрежной зоны арктических морей возрастает в связи с глобальными изменениями природной среды. Повышение среднегодовой температуры воздуха вызывает ускоренное таяние льдов, перемещение береговой линии, деградацию мерзлоты, резкую интенсификацию почвенных процессов и, как следствие, трансформацию соединений углерода и азота в почве (АСИА, 2004; IPCC, 2001). В силу труднодоступности почвы узкой полосы окраинных прибрежно-морских территорий тундровой зоны на сегодняшний день остаются наименее изученными, в частности – почвы побережья Баренцева моря (Бахмет, 2013; Орешникова и др., 2012; Цейц, Добрынин, 1997). Поэтому цель работы заключалась в выявлении особенностей распределения различных форм углерода и азота в прибрежных почвах Хайпудырской губы Баренцева моря.

Район исследований располагается в прибрежной части Хайпудырской губы Баренцева моря. По снижению степени влияния морских вод, как одного из факторов прибрежного почвообразования, исследуемые почвы можно разделить на следующие подгруппы: маршевые (формируются под влиянием приливных нагонных морских вод) и зональные тундровые (формируются вне приливно-отливной зоны) почвы. В качестве объектов исследования были выбраны следующие участки: I – марши низкого уровня (почва – маршевая примитивная гиттиевая иловато-легкосуглинистая), II – марши среднего уровня (почва – маршевая дерново-глеевая супесчаная), III – марши среднего уровня (почва – маршевая примитивная дерново-глеевая тяжелосуглинистая), IV – верхняя часть приморской террасы водораздела (почва – торфяная олиготрофная мерзлотная), V – вершина водораздела (почва – торфяно-глеезем криогенно-

ожелезненный мерзлотный). Содержание различных форм углерода и азота в исследуемых почвах было определено на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН следующими методами: газовая хроматография (общий углерод ($C_{\text{общ.}}$) и азот ($N_{\text{общ.}}$) почв), объемно-метрический метод (неорганический углерод ($C_{\text{неорг.}}$) почв), фотометрический метод (неорганический азот ($N_{\text{NH}_4^+}$) и ($N_{\text{NO}_3^-}$) почв). Содержание органических форм углерода ($C_{\text{орг.}}$) и азота ($N_{\text{орг.}}$) находили по разности значений общих и неорганических форм.

В засоленных маршевых почвах (участки I-III), формирующихся в условиях периодического затопления приливными и нагонными морскими водами, содержание $C_{\text{орг.}}$ варьирует по горизонтам от 5 до 75, $N_{\text{орг.}}$ – от 0.5 до 5 г/кг, $C/N = 10-18$, количество элементов взаимосвязаны уравнением $\omega(N_{\text{орг.}}) = 0.07 \cdot \omega(C_{\text{орг.}}) + 0.12$ ($r = 0.99$).

В тундровых зональных почвах (участки IV и V), формирующихся выше литоральной зоны, содержание $C_{\text{орг.}}$ составляет от 4 до 470, $N_{\text{орг.}}$ – от 0.3 до 14 г/кг, C/N в поверхностных торфяных горизонтах равно 27–95, с глубиной уменьшается в 3–7 раз, элементы минеральных горизонтов взаимосвязаны уравнением $\omega(N_{\text{орг.}}) = 0.04 \cdot \omega(C_{\text{орг.}}) + 0.17$ ($r = 0.95$). Надмерзлотная толща характеризуется аккумуляцией элементов (до 1.6 раза) по сравнению с нижележащим мерзлотным горизонтом.

Содержание углерода неорганических соединений в почвах варьирует в пределах 0.4–1.8 г/кг, что соответствует 4–20% от общего содержания элемента. Главными источниками неорганического углерода являются карбонатные отложения, приносимые морем.

Доля азота неорганических соединений почв не превышает 3% общего азотного фонда. Содержание аммонийного азота в засоленных почвах колеблется в диапазоне 4–18, тундровых – 3–80 мг/кг. Нитратный азот обнаружен в поверхностных горизонтах только маршевых почв в количестве 0.4–4.6 мг/кг.

Таким образом, исследование параметров круговорота углерода и азота в почвах береговой зоны Баренцева моря выявило их пространственную дифференциацию. Углерод и азот исследуемых тундровых биогеоценозов арктической прибрежной территории представлен в основном их органическими формами (до 80 и 97% от общего содержания соответственно). Результаты данного исследования могут быть полезны для оценки направленности продукционных и деструкционных процессов, что позволит проводить сравнительный анализ в рамках локального и регионального мониторинга и определять основные тренды развития в меняющихся условиях.

Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 20-04-00445а «Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)».

ЛИТЕРАТУРА

ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press, 2004. 140 p.

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

Бахмет О.Н. Особенности почв скальных ландшафтов Карельского побережья Белого моря // Уч. зап. Петрозаводского гос. ун-та. Сер. Сельскохозяйственные науки, 2013. № 6. С. 55–59.

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

Цейц М.А., Добрынин Д.В. Морфогенетическая диагностика и систематика маршевых почв Карельского Беломорья // Почвоведение, 1997. № 4. С. 411–416.

**СВОБОДНОЖИВУЩИЕ НЕМАТОДЫ,
ОБИТАЮЩИЕ НА КОРЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДЕРЕВЬЕВ
В ТАЕЖНОМ И ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ**

**А.А. Кудрин¹, В.М. Салаватулин², А.А. Сушук³, С.Е. Кудрина⁴, Т.Н. Конакова¹,
А.А. Фатеева¹, М.Е. Васильева⁵**

¹ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

² Тюменский государственный университет

³ Институт биологии Карельского НЦ РАН

⁴ Региональный центр дополнительного образования с. Корткерос

⁵ Институт физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kudrin@ib.komisc.ru

Многие группы беспозвоночных животных, которые традиционно рассматриваются как почвенные обитатели, активно заселяют наземные ярусы в лесных экосистемах. Однако к настоящему времени практически отсутствуют сведения о закономерностях формирования разнообразия, структуры и распределения свободноживущих нематод в наземном древесном ярусе. Есть основания полагать, что комплексы нематод, формирующиеся на коре деревьев, обладают значительным своеобразием и имеют низкое сходство с почвенными сообществами (Porazinska et al., 2010). Таким образом, для формирования общей картины о разнообразии и распределении нематод в наземных экосистемах необходимо иметь данные и об arborealных комплексах.

Исследование осуществлялось в двух типах лесных экосистем: тайга (Республика Коми) и широколиственный лес (Калужская область). В каждом типе лесной экосистемы были заложены три пробных площади, расположенные на значительном расстоянии друг от друга. На каждой пробной площади было обследовано восемь дере-

вьев, относящихся к четырем видам. В тайге отбор проб производился с сосны (*Pinus sylvestris*), ели (*Picea obovata*), березы (*Betula pubescens*) и осины (*Populus tremula*), в широколиственном лесу – с дуба (*Quercus robur*), клена (*Acer platanoides*), осины (*Populus tremula*) и ели (*Picea abies*). Отбор проб производился в трех высотных зонах дерева: комель, ствол 8–10 м и крона 15–20 м. В общей сложности из древесного яруса было отобрано 144 пробы (одна проба × три высотных зоны × восемь деревьев × три ПП × два типа леса). Для отбора проб выбирались взрослые вертикально стоящие деревья без видимых признаков повреждений или усыхания. В каждой высотной зоне обследуемого дерева с четырех сторон ствола отбирались пробы субстрата – поверхностная часть коры с эпифитными обрастаниями – и фиксировалась площадь отбора. В кроне отбор проб также производился и с ветвей дерева. Нематоды экстрагировались при помощи модифицированного метода Бермана с последующим изготовлением глицериновых препаратов и определением их до уровня рода, в исключительных случаях до уровня семейства.

Проведенные работы показали неоднородность распределения нематод по разным видам деревьев (рис. 1). В широколиственном лесу таксономическая насыщенность слабо варьировала между листовенными деревьями и была значительно ниже на ели обыкновенной. В таежном лесу количество отмечаемых родов в пробе было значительно меньше и слабо отличалось между деревьями (рис. 1А), обилие же варьировало довольно сильно. Наиболее обильно в широко-

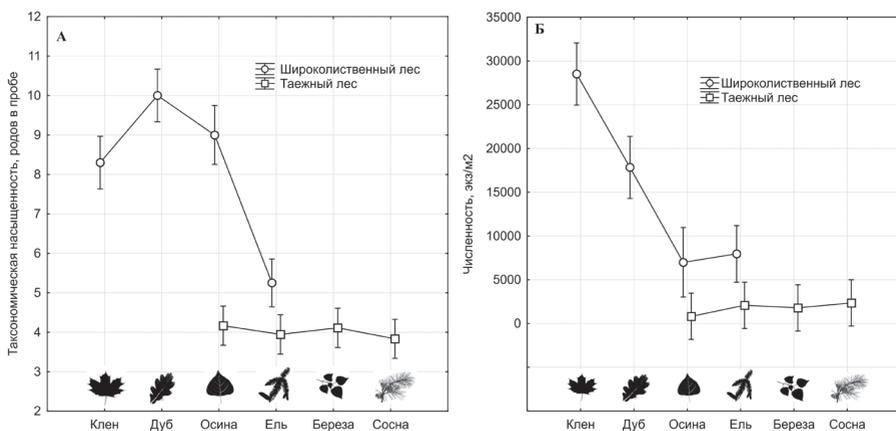


Рис. 1. Таксономическая насыщенность (А) и численность (Б) нематод на различных видах деревьев в таежном и широколиственном лесу. Данные с различных пробных площадей и высотных зон для каждого типа леса объединены.

лиственном лесу были заселены деревья клена остролистного, несколько меньшие показатели были отмечены на дубе черешчатом, наименьшие – на осине обыкновенной и ели обыкновенной. В таежной зоне численность нематод между различными видами деревьев различалась несущественно (рис. 1Б). Ординация методом NMDS показала, что в таксономической структуре нематод выделяются три четких группы: лиственные деревья широколиственного леса, лиственные деревья таежного леса и хвойные деревья (рис. 2).

Особенности различных видов деревьев могут обуславливать различия в составе и обилии эпифитов (Callaway et al., 2002), которые являются важным фактором распределения беспозвоночных в древесном ярусе (Lindo et al., 2008). Такой механизм по всей видимости может лежать и в основе обнаруженных нами различий комплексов нематод лиственных и хвойных деревьев.

Таким образом, можно утверждать, что нематоды успешно заселяют различные виды деревьев. При этом, по-видимому, порода деревьев (лиственные/хвойные) и вид дерева могут в значительной мере определять как численность, так и таксономическую структуру арбореальных комплексов нематод.

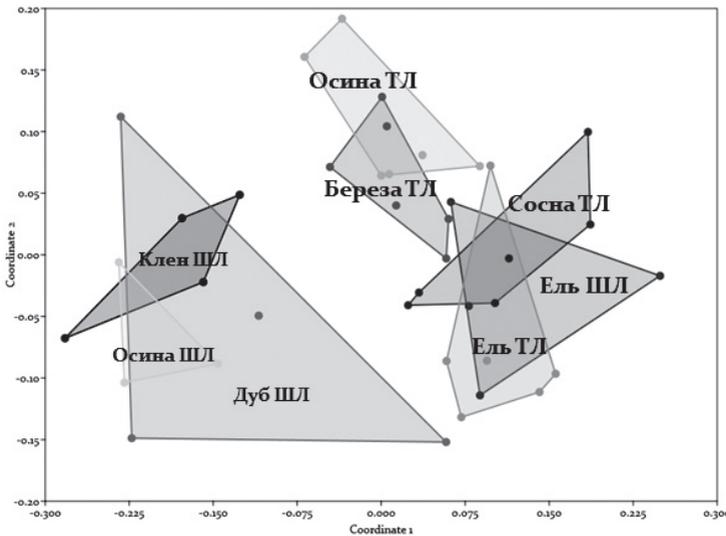


Рис. 2. Ординация сообществ нематод методом NMDS на основе индекса Брея-Кертиса на различных видах деревьев в таежном (ТЛ) и широколиственном (ШЛ) лесу. Точками указана структура нематод на отдельных деревьях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00606.

ЛИТЕРАТУРА

Callaway R.M., Reinhart K.O., Moore G.W., Moore D.J., Pennings S.C. Epiphyte host preferences and host traits: mechanisms for species-specific interactions // *Oecologia*, 2002. V. 132. P. 221–230.

Lindo Z., Winchester N.N. Spatial and environmental factors contributing to patterns in arboreal and terrestrial oribatid mite diversity across spatial scales // *Oecologia*, 2009. V. 160. P. 817–825.

Porazinska D.L., Giblin-Davis R.M., Esquivel A., Powers T.O., Sung W., Ecometagenetics confirms high tropical rainforest nematode diversity // *Mol. Ecol.*, 2010. V. 19. P. 5521–5530.

РОЛЬ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

И.Н. Кутявин

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru

Климат является основным фактором в пожарной активности бореальной зоны с начала голоцена (Power et al., 2008). В XVIII–XIX–начале XX в. в связи с резким скачком антропогенного воздействия отмечаются изменения климата и пожарной активности, что значительно влияет на функционирование лесных экосистем (Bergeron et al., 2004; Nowacki, Abrams, 2008). Большое влияние на структуру леса было оказано в период подсечно-огневого земледелия (Лесное..., 2000; Алейников и др., 2015). За последние 100 лет пожарная активность в лесах значительно уменьшилась в результате своевременного и оперативного тушения лесных пожаров и постепенного снижения преобразования лесных площадей в сельскохозяйственные (Cardil et al., 2019). Такая же тенденция пожарной активности характерна и для лесов Республики Коми (Рыжкова и др., 2020). Пожарная динамика в естественных условиях поддерживает здоровье лесных экосистем, сохраняет биоразнообразие, снижает опасность возникновения катастрофических лесных пожаров (Kharuk et al., 2021). Следовательно, проблема динамики пожаров и их влияние на структурную организацию сосновых фитоценозов на региональном уровне остается достаточно открытой и требует постоянных исследований.

Цель работы – оценка влияния пожарной активности на строение древостоев сосновых фитоценозов на европейском северо-востоке России на примере Республики Коми.

Для оценки влияния лесных пожаров на древостои сосняков использовали метод постоянных пробных площадей (ППП). 35 ППП разных типов леса расположены в трех регионах Республики Коми: Чернамский заказник и Печоро-Илычский заповедник (средняя тайга) и Зеленоборский лесной стационар Института биологии Коми НЦ УрО РАН (северная тайга). Перечеты, проведенные на ППП и выявленные лесные пожары в древостоях при помощи дендрохронологических методов позволили дать оценку влияния пирогенной активности на строение древостоев сосняков северной и средней тайги.

По полученным нами ранее результатам (Кутявин, 2018) и повторным перечетам на ППП установлено, что среднетаежные сосновые фитоценозы горят с периодичностью 48 лет. За период формирования исследуемые спелые и перестойные сосняки были подвержены пожарам от одного до шести раз. Минимальная средняя периодичность их горения на ППП составила 27 лет, максимальная – 60 лет, минимальный и максимальный межпожарный интервал составляет от пяти до 111 лет. Более частая периодичность пожаров отмечена в сосняках лишайниковых, брусничных и черничных типов, для которых характерна высокая пожароопасность. В сосняках по мере приближения их к горным ландшафтам Урала периодичность пожаров снижается независимо от типа леса. Выявлено, что при длительном отсутствии пирогенной активности в сосновых фитоценозах происходит формирование древостоев из разновозрастных поколений деревьев сосны, ели и кедра. В постпирогенных древостоях сосняков накапливается деревьев сосны от одного до пяти поколений. С увеличением числа поколений в древостоях повышаются коэффициенты варьирования возраста и диаметра. В древостоях сосняков после пожара формирование одного поколения может растягиваться от 30 до 80 лет и зависит от интенсивности пожаров. Пожары слабой интенсивности способствуют скачку возобновления темнохвойных видов, которые в последующем активно внедряются в состав древостоев. При отсутствии пожаров 100 лет и более усиливается конкуренция со стороны сосен новых поколений или древесных растений, сопутствующих в составе древостоя у продукционно-способных деревьев сосны старших поколений, происходит увеличение прироста в высоту. Об этом свидетельствует смещение показателя асимметрии высоты к отрицательному значению.

Северотаежные сосняки развиваются на старых вырубках и гарях. Периодичность горения древостоев на них ниже, чем в естественно развивающихся сосняках средней тайги. После рубки сосняков северной тайги применялся паловый способ уборки порубочных остатков. Следует отметить, что восстановление сосны на вырубках северотаежных сосняков с применением палового способа уборки порубочных остатков происходит быстрее, чем на площадях послепожарного происхождения. Оставленные при рубке деревья недоруба и уборка порубочных остатков на лесосеке с использованием огня способствуют формированию древостоев ступенчато-разновозрастного типа возрастной структуры. Амплитуда колебания возраста деревьев в условно-одновозрастных и условно-разновозрастных сосняках, сформированных на вырубках, изменяется от 16 до 33 лет, в сосняках, возникших на гарях, этот показатель составляет от 30 до 45.

Следовательно, пожарная активность в сосняках определяет естественный облик светлохвойных лесов европейского Северо-Востока. Огонь определяет основные динамические процессы сосновых лесов, сохраняя коренные сообщества на заповедных территориях, а также является основным фактором лесовозобновления на вырубках.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № АААА-А17-117122090014-8, а также при финансовой поддержке гранта РФФИ (19-29-05111 мк).

ЛИТЕРАТУРА

Алейников А.А., Тюрин А.В., Симакин Л.В., Ефименко А.С., Лазников А.А. История пожаров в темнохвойных лесах Печоро-Ильчского заповедника со второй половины XIX века по настоящее время // Сибирский лесной журнал, 2015. № 6. С. 31–42.

Кутявин И.Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с.

Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: «Дизайн. Информация. Картография», 2000. 512 с.

Рыжкова Н.И., Кутявин И.Н., Пинто Г., Крышень А.М., Алейников А.А., Возьмитель Ф.К., Дробышев И.В. Динамика пожарной активности в сосновых лесах Печоро-Ильчского заповедника по данным дендрохронологических исследований // Труды Печоро-Ильчского заповедника, 2020. Вып. 19. С. 101-106.

Bergeron Y., Gauthier S., Flannigan M., Kafka V. Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in Northwestern Quebec // Ecology, 2004. № 85. P. 1916–1932.

Cardil A., Lorente M., Boucher D., Boucher J., Gauthier S. Factors influencing fire suppression success in the province of Quebec (Canada) // *Canadian Journal of Forest Research*, 2019. № 49. P. 531–542.

Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.D. Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio*, 2021. 22 p.

Nowacki G.J., Abrams M.D. The demise of fire and «mesophication» of forests in the eastern United States // *Bio Science*, 2008. № 58. P. 123–138.

Power M.J., Marlon J., Ortiz N., Bartlein P.J., Harrison S.P., Mayle F.E., Zhang J.H. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: An assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data // *Climate Dynamics*, 2008. № 30. P. 887–907.

Секция 1
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

ПРОДУКТИВНОСТЬ ГИДРОФИТОВ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ
ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Е.В. Князева

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: ev_knyazeva@mail.ru

Гидрофиты – один из основных компонентов водных экосистем. С одной стороны, продуцируя органическое вещество, они создают основу пищевых цепей, с другой – излишнее разрастание и накопление биомассы приводят к уменьшению растворенного кислорода и изменению химического состава воды, что влечет за собой гибель гидробионтов, поэтому важно контролировать продуктивность гидробионтов.

Цель данной работы – оценить запасы продукции органического вещества, создаваемой сообществами гидрофитов в малых водохранилищах бассейна р. Вычегды.

Изучение продуктивности высшей водной растительности проводили на трех водохранилищах (Кажимском, Ньючимском, Ньючасском) в конце июня–июле 2019 г. Все водохранилища относятся к Вычегоскому бассейну, расположены в подзоне средней тайги, были созданы для нужд чугунолитейного производства и на данный момент используются для культурно-бытовых и рыбохозяйственных целей.

Отбор и обработку гидробиотических материалов выполняли согласно методике В.М. Катанской (1981). Для оценки надземной фитомассы закладывали укосные площадки размером 0.25 м². Укосы отбирали в каждом сообществе в трехкратной повторности. Всего было сделано 166 укосов, из них 70 в сообществах гидрофитов. При переводе абсолютно-сухого веса в чистую годовую продукцию со-

гласно методике В.Г. Папченкова (2001) использовали коэффициент 2.5. Для расчета площадей зарастания использовали полевые карты-схемы, обработанные с помощью программы Quantum GIS 2.0.

Исследование растительного покрова показало, что флора малых водохранилищ таежной зоны Республики Коми включает 35 видов гидрофитов (Tetryuk et al., 2021), 17 из которых формируют самостоятельные сообщества. Продукционные исследования выполнены в 10 ассоциациях, чьи ценозы в акваториях водохранилищ имеют наибольшее распространение (табл. 1).

Общими для всех исследуемых водохранилищ являются всего четыре вида, при этом они имеют разный характер распространения, проективное покрытие и, соответственно, продуктивность.

Продуктивность *Persicaria amphibia* на Кажимском и Нювчимском водохранилище отличается незначительно, а вот в Нючпасском она в три раза ниже. Оптимальная глубина распространения вида от 0 до 100-150 см (Дубына, 1993). В Нючпасском водохранилище горец встречен нами на глубине около 190 см, что оказало неблагоприятное влияние на его продукционные способности.

Также значительны различия продуктивности сообществ *Potamogeton natantis* в Нювчимском водохранилище. Здесь количество накопленного органического вещества в среднем меньше в 2.8 раза. Это может быть связано с тем, что в Нювчимском водохранилище рдест плавающий встречен нами на месте впадения реки с проточ-

Таблица 1

Продуктивность сообществ гидрофитов в исследуемых водохранилищах, г/м²

Ассоциации	Водохранилище		
	Кажимское	Нювчимское	Нючпасское
<i>Potamo natantis</i> – <i>Polygonetum natantis</i> Knapp et Stoffers 1962	229.7±65.0	194.3±71.1	75.2±23.1
<i>Potamogeton natantis</i> Hild 1959	171.3±45.7	58.4±3.7	158.4±50.0
<i>Warnstorffium exannulatae</i> Szañkowski 1998, n.n*	141.7±31.6	156.4±36.6	134.5±46.5
<i>Lemno-Callitricheum palustris</i> A. Bobrov et Chemeris 2006	26.4±14.4	145.7	130.4±14.4
<i>Potamogeton praelongi</i> Hild 1959	–	62.3±25.7	294.3
<i>Potamogeton perfoliati</i> Miljan 1933	–	87.3±18.3	39.0±11.1
<i>Potamogeton tenuifolii</i> Kiprijanova et Laščinskij 2000	–	59.5	76.2±10.0
<i>Elodeetum canadensis</i> Knapp et Stoffers 1962	–	325.2±51.8	–
<i>Nymphaeetum candidae</i> Miljan 1958	319.7±82.3	–	–
<i>Potamogeton graminei</i> Lang 1967	–	66.1±10.2	–

* Для данного вида приведена биомасса.

ными водами и на открытых мелководьях, подверженных волнениям. Некоторые авторы (Кокин, 1982; Распопов, 1985) отмечают, что широкое распространение сообщества *Potametum natantis* достигают в защищённых от волновой деятельности заливах.

Стоит сказать о еще одном сообществе – *Warnstorfia exannulata*. На данный момент не разработаны методики расчета продукции водных мхов, но площади, занимаемые варнсторфией в водохранилищах значительны, поэтому мы не можем не включить данный вид в исследование. Для сообществ *Warnstorfia exannulata* рассчитывали биомассу. Во всех водоемах ее биомасса примерно одинакова (табл. 1), что может свидетельствовать о стабильности, сформированности данных сообществ.

Наибольшее зарастание водного зеркала (29.4%) и продуктивность (998.8 г/м²) отмечены в Нювчимском водохранилище. Здесь доминирует синантропный вид *Elodea canadensis*, который отмечен нами только в этом водохранилище. Элодея занимает наибольшие площади (4.5 га) и является основным продуцентом органического вещества, создавая продукции больше, чем любое другое сообщество (табл. 1).

В Кажимском водохранилище площади зарастания гидрофитами минимальные (6.7%), количество создаваемого органического вещества также самое низкое – 720.7 г/м². Продукционные исследования здесь выполнены всего в четырех ассоциациях гидрофитов. Доминируют сообщества *Nymphaeetum candidae*. Кувшинка хоть и занимает меньшие площади (0.96 га), но за счет особенностей морфологического строения производит максимальное количество продукции (табл. 1).

Нювчимское водохранилище имеет самую маленькую площадь. При этом степень зарастания в нем выше, чем в Кажимском. Величина органического вещества, создаваемого гидрофитами, составляет 773.5 г/м². Несмотря на то, что наибольшее количество органического вещества накапливает *Potametum praelongi*, вклад рдеста в общую продуктивность незначителен, так как занимаемые им площади крайне малы. Здесь чередуются два содоминирующих сообщества *Potametum natantis* и *Potametum tenuifolii*, площади их распространения 0.15 и 0.10 га соответственно. Однако рдест альпийский оказывается менее продуктивным, чем рдест плавающий. Оба вида рдестов занимают одинаковые экотопы, поэтому низкую продуктивность *Potamogeton alpinus* можно объяснить меньшей конкурентоспособностью вида.

Для оценки количественных характеристик продуктивности не существует каких-либо классификаций, поэтому часто сложно ска-

зять – высока ли продуктивность сообщества в конкретном водоеме. Единственно верный способ на данный момент — это сравнение продуктивности с единицы площади с имеющимися литературными данными (табл. 2).

Анализ литературных данных показал, что продуктивность горца земноводного, рдеста пронзеннолистного и кувшинки чисто-белой колеблется в пределах полученных нами значений. Значительно отличается продукция рдестов. В среднем она меньше для плавающего в 13 раз, альпийского в 11 и злакового в пять раз. На данный момент мы не можем объяснить причины, но предполагаем, что это связано с региональными особенностями сообществ.

Таким образом, наибольшая величина органического вещества, создаваемого гидрофитами, отмечена в Нювчимском водохранилище – 998.8 г/м², Нючпасском – 773.5 г/м², в самом большом из исследуемых водоемов она наименьшая – 720.7 г/м². Нювчимское водохранилище также является самым заросшим, на долю гидрофитов здесь приходится 29.4% от общей площади зарастания водоема, в Нючпасском – 16.2%, Кажимском – 6.7%. Объяснить подобное распределение продуктивности и зарастания исследуемых водохранилищ можно различиями химического состава вод и недавними изменениями акватории Кажимского водохранилища (Teteryuk et al., 2021).

Таблица 2

Продуктивность сообществ гидрофитов в разных водоемах, г/м²

Ассоциации	Продуктивность	Автор
<i>Potamo natantis</i> – <i>Polygonetum natantis</i> Knapp et Stoffers 1962	60 / 208 / 250*	Латышев и др., 2013 / Зарубина, 2014 / Мержвинский и др., 2011
<i>Potametum natantis</i> Hild 1959	996 / 2375*	Черемис, Бобров, 2020 / Анищенко, 2012
<i>Potametum praelongi</i> Hild 1959	230* / 1125	Щербаков, 1950 / Распопов, 1985
<i>Potametum perfoliati</i> Miljan 1933	19 / 89 / 100*	Зарубина, 2013 / Мухин, 2013 / Киприянова, 2009
<i>Potametum tenuifolii</i> Kiprijanova et Laščinskij 2000	768	Черемис, Бобров, 2020
<i>Elodeetum canadensis</i> Knapp et Stoffers 1962	110 / 1025* / 1500*	Латышев, 2013 / Токарь, 2006 / Бобров, 2012
<i>Nymphaetum candidae</i> Miljan 1958	450* / 1513	Мержвинский, 2011 / Папченков, 2001
<i>Potametum graminei</i> Lang 1967	305 / 375*	Черемис, 2020 / Дубына, 1993

* В источнике приводится абсолютно-сухой вес, в таблице даны значения после пересчета с использованием коэффициента 2.5.

ЛИТЕРАТУРА

Анищенко Л.Н. Фитоценотическое разнообразие, продуктивность и биоиндикационное значение сообществ макрофитной растительности водных объектов бассейна рек Десны и Ипути (в пределах Брянской области) // Вестник Брянского государственного университета. Брянск, 2012. С. 98–102.

Бобров А.А., Черемис Е.В. Растительный покров малой южнотаежной реки и его изменение при зарегулировании стока (на примере реки Куекша, Костромская область) // Труды Карельского НЦ РАН. Петрозаводск, 2012. С. 33–47.

Дубына Д.В. и др. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. Киев: Наукова думка, 1993. 435 с.

Зарубина Е.Ю. Первичная продукция макрофитов трех разнотипных сапропелевых озер юга Западной Сибири (в пределах Новосибирской области) в 2012 году // Мир науки, культуры, образования. Горно-Алтайск, 2013. С. 441–444.

Зарубина Е.Ю. Флористическое разнообразие, особенности зарастания и продукция фитоценозов Кара-Чумышского водохранилища (Кемеровская область) // Успехи современного естествознания. М., 2014. С. 209–215.

Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука, 1981. 187 с.

Киприянова Л.М. и др. О современном состоянии высшей водной растительности Новосибирского водохранилища // Мир науки, культуры, образования. Горно-Алтайск, 2009. С. 19–22.

Кокин К.А. Экология высших водных растений. М.: Изд-во МГУ, 1982. 160 с.

Латышев С.Э., Мерзвинский Л.М., Высоцкий Ю.И., Мартыненко В.П. Структура и продукционные особенности макрофитной растительности озера Черное // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. Витебск, 2013. С. 22–28.

Мерзвинский Л.М., Мартыненко В.П., Высоцкий Ю.И., Становая Ю.Л. Высшая водная растительность озера Островцы // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. Витебск, 2011. С. 75–81.

Мухин В.А., Вейсберг Е.И., Куянцева Н.Б., Золотарева Н.В., Подгаевская Е.Н. Роль водных макрофитов в круговороте органического вещества в предгорном озере Большое Миассово (Южный Урал) // Известия Самарского НЦ РАН. Самара, 2013. С. 758–761.

Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.

Распопов И.М. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1985. 200 с.

Токарь О.Е. Флора, растительность и фитоиндикация состояния водных экотопов реки Ишим и пойменных озер в пределах Тюменской области. Ишим, 2006.

Черемис Е.В., Бобров А.А. Продуктивность рдестов (*Potamogeton*, *Stuckenia*, *Potamogetonaceae*) в реках севера европейской России // Водные ресурсы. М., 2020. С. 114–120.

Щербаков А.П. Продуктивность прибрежных зарослей макрофитов Глубокого озера // Труды ВГБО АН СССР. Л., 1950. Т. 2. С. 43–68.

Teteryuk B.Yu. Knyazeva E.V., Teteryuk L.V., Panyukov A.A. Flora of Small Reservoirs of Northeastern European Russia // Inland Water Biology, 2021. P. 20–31.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ ГЕНОВ *MATK*, *RBCL*, *ITS2* И *TRNH-PSBA* ДЛЯ ЭНДЕМИКА УРАЛА *LAGOTIS URALENSIS* (PLANTAGINACEAE)

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

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kirakovalenko826@gmail.com

Lagotis uralensis Shishk. – эндемик Урала, описан Б.К. Шишкиным в 1955 г. по сборам К.Н. Игошиной с Конжаковского Камня, Свердловская область (Шишкин, 1955). Это недерновый травянистый поликарпик, цветет в июне-июле, плодоносит в июле-августе. Опыляется насекомыми, размножается семенами (Горчаковский, Хохлова, 2001). *Lagotis uralensis* охраняется в Уральском регионе, он включен в Красные книги Свердловской, Тюменской и Челябинской областей, Республики Коми, Ханты-Мансийского автономного округа и в Приложение к Красной книге Пермского края. Род *Lagotis* включает около 28 видов (World flora online, 2021). На Урале встречается два вида рода *Lagotis*: *L. uralensis* и *L. minor* (Willd.) Standl.

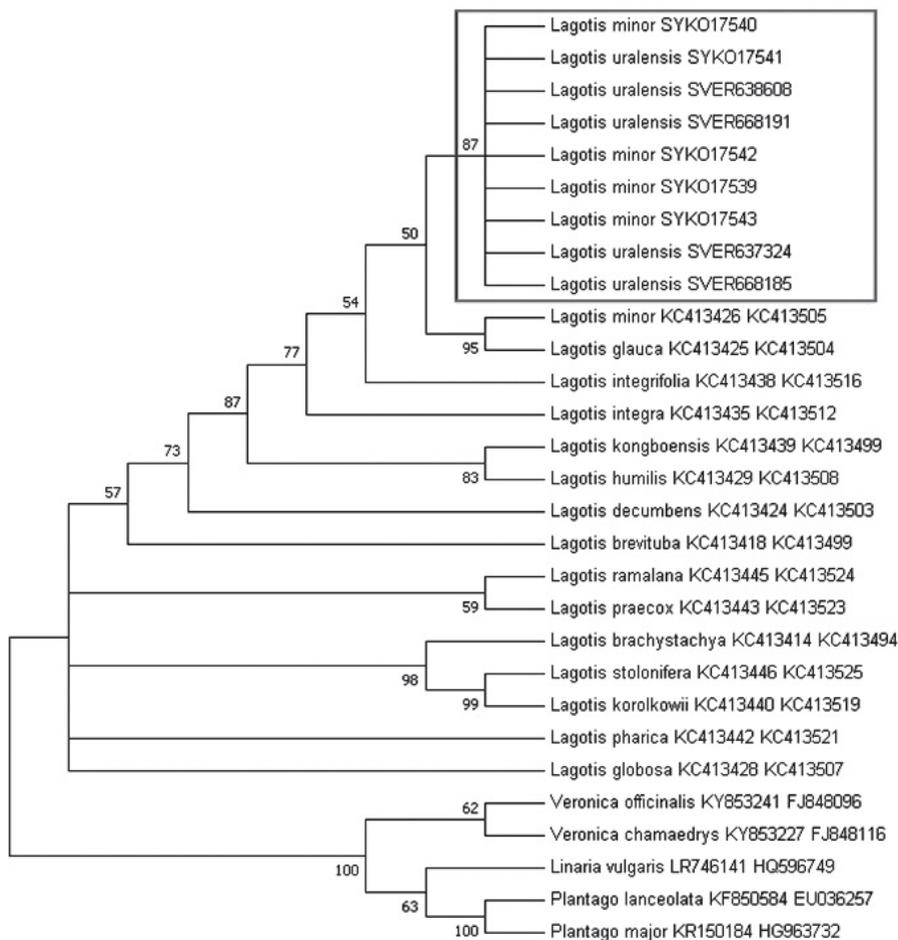
Цель настоящей работы заключалась в секвенировании нуклеотидных последовательностей (*matK*, *rbcL*, *ITS2* и *trnH-psbA*) ранее не изученного в этом отношении вида *L. uralensis* и определение филогенетического положения этого эндемичного таксона.

Материалом для проведения молекулярно-филогенетического анализа служили гербарные образцы (листья) *L. uralensis* с Южного, Северного и Приполярного Урала и *L. minor* с Приполярного и Полярного Урала, хранящиеся в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН и музее Института экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург). При этом в анализ был включен образец *L. uralensis*, собранный на Конжаковском Камне, где этот вид был описан. Выделение ДНК, полимеразную цепную реакцию для последовательностей *ITS*, *trnH-psbA*, генов *rbcL* и *matK* и их последующее секвенирование проводили с использованием оборудования ЦКП «Молекулярная биология» в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН.

Нами были впервые получены последовательности для всех четырех маркеров, рекомендованных для идентификации сосудистых

растений (Hebert et al., 2003; SVOB..., 2009). Матрица данных для последовательности ITS2 включала 213–220 п.н., для последовательности *trnH-psbA* – 126–158 п.н.; *matK* – 755–764; *rbcL* – 549–552. Матрица объединенных данных по двум маркерам ITS2+*trnH-psbA* имела длину 343–373 п.н.

В данной работе нами реконструировано объединенное филогенетическое дерево по двум ДНК маркерам: последовательность ITS ядерной ДНК и последовательность *trnH-psbA* хлоропластной ДНК (см. рисунок). Это связано с тем, что по двум другим маркерам сведе-



Объединенное филогенетическое дерево (ITS2 + *trnH-psbA*), построенное методом максимального правдоподобия (ML).

ния отсутствуют не только для *L. uralensis*, но и для большинства других видов рода *Lagotis*, представленных в данном анализе в качестве референсной группы. На составленном нами филогенетическом дереве видно, что исследуемые нами виды растения *L. uralensis* сгруппировались с видом *L. minor*, произрастающим на этой же территории, и встали рядом с группой, в которую вошли *L. minor* и *L. glauca*. На данном этапе нашего исследования это все полученные нами результаты, работа продолжается в сторону более тщательного анализа молекулярно-филогенетических отношений *L. uralensis* с другими видами этого рода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Коми (проект № 20-44-110011) в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

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

Горчаковский П.Л., Хохлова М.Г. Сравнительная оценка состояния популяций уральского эндемика *Lagotis uralensis* Schischk в градиенте высотной зональности // Российский экологический журнал, 2001. Т. 32. № 5. С. 295–302.

World Flora Online (2020). Published on the Internet. <http://www.worldfloraonline.org/> [дата обращения 5 февраля 2021]

Шишкин Б.К. Новые виды рода *Lagotis* Gaertn // Ботанические материалы гербария Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР, 1955. Т. 17. С. 380–382.

CBOL Plant Working Group. A DNA Barcode for land plants // PNAS., 2009. V. 106(31). P. 12794–12797. DOI: 10.1073/pnas.0905845106

Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., Dewaard J. Biological identifications through DNA barcodes // Proc. Royal Soc. Biological Sciences, 2003. V. 270. P. 313–321. DOI: 10.1098/rspb.2002.2218

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *ORCHIS MILITARIS* L. В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.И. Кононова¹, О.А. Кононова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: kononova.an0961@gmail.com

² Аристовская основная общеобразовательная школа (Вологодской область)

E-mail: olga-aristovo@inbox.ru

Ятрышник шлемоносный (*Orchis militaris* L.) относится к числу наиболее редких видов семейства *Orchidaceae* Juss., он включен в Приложение II к Конвенции СИТЕС и занесен в Красные книги

многих регионов РФ. В Вологодской области *O. militaris* охраняется как вид, находящийся на грани исчезновения (1/CR). Выживание таких видов возможно только при условии принятия срочных мер по охране и восстановлению условий их местообитаний (Постановление..., 2015). Ранее в этом регионе было известно два местонахождения *O. militaris* – в Вологодском и Верховажском районах (Красная книга..., 2004).

В июле 2019 г. были выявлены и изучены две ценопопуляции (ЦП) данного вида на территории Великоустюгского района Вологодской области в бассейне р. Нижняя Ёрга. Одна из них (ЦП1) расположена в сообществе пойменного луга, сформировавшемся на заброшенном поле на пахотной суглинистой почве на аллювиальных отложениях. Средняя высота травостоя в сообществе – 95 см, максимальная – 150 см. Общее проективное покрытие – 100%. Другая ЦП (ЦП2) выявлена на противоположном берегу реки в сообществе суходольного луга, сформировавшемся на дерновой маломощной среднесуглинистой почве на бескарбонатной морене. Растительный покров в месте нахождения ЦП2 был поврежден около 10 лет назад во время ремонта линии электропередач. На момент исследования общее проективное покрытие – 100%. Средняя высота травостоя – 37 см, максимальная – 100 см. Экологический анализ сообществ с использованием шкал Г. Элленберга показал, что абиотические условия в них неблагоприятны для произрастания *O. militaris*. Главным лимитирующим фактором для данного вида в этих сообществах служит высокая кислотность почвенной среды. Исследование численности, плотности и онтогенетической структуры ЦП, проведенное в июле 2019 г., установило, что в сообществе пойменного луга (в месте нахождения ЦП1) существуют более благоприятные условия для прорастания семян, чем в ЦП2, расположенной на суходольном лугу. ЦП2 характеризуется правосторонним возрастным спектром, ЦП1 – левосторонним с максимумом на ювенильной группе (55.8%), в котором небольшая доля имматурных и виргинильных особей (12.5 и 5.0%), что предполагает плохую выживаемость в ней ювенильных растений (Кононова, Кононова, 2020). Таким образом, возрастные спектры этих ЦП свидетельствуют о том, что в них не всегда создаются благоприятные условия для прорастания семян и развития прегенеративных растений, что крайне неблагоприятно для такого вида, как *O. militaris*, размножающегося преимущественно семенным путём (Вахрамеева и др., 1995).

Ценопопуляционные исследования *O. militaris* в бассейне р. Нижняя Ёрга были продолжены в июне 2020 г. Цель данного исследования – изучение виталитетной структуры ЦП и оценка их состояния. Для достижения цели решались следующие задачи: 1) ис-

следовать биоморфологические признаки генеративных растений; 2) изучить их виталитетный состав; 3) провести оценку состояния ЦП и рекомендовать меры по их охране.

Исследование генеративных особей проведено по двум параметрам: высота цветоноса и число цветков на нём. Исследование виталитетной структуры ЦП проведено с использованием метода определения критерия Q (Злобин, 2009), вычисленного по формуле:

$$Q = S(a + b),$$

где a – доля особей высшего класса виталитета, b – доля особей среднего класса виталитета.

Для процветающих ЦП характерно соотношение $S(a + b) > c$, для равновесных – $S(a + b) \approx c$, для депрессивных – $S(a + b) < c$, где c – доля особей низшего класса виталитета. При вычислении индекса Q использовали произведение высоты цветоносного побега на число цветков в соцветии. По данным признакам произведена выборка из 25 результатов измерений растений в каждой ЦП.

Результаты исследования показали, что средние значения этих признаков в ЦП1 и ЦП2 различаются несущественно (высота цветоноса – 38.7 и 38.3 см, число цветков в соцветии – 27.6 и 28.2 соответственно), однако их максимальные значения несколько выше в ЦП2, расположенной на суходольном лугу, где лучше условия освещения из-за низкого травостоя (табл. 1). Обе ЦП относятся к депрессивным: значения индекса Q в каждой ЦП меньше числа особей низшего класса виталитета в два и шесть раз (табл. 2).

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы:

- в ценопопуляциях *O. militaris* независимо от фитоценоотического окружения преобладают особи с низкой степенью жизнеспособности;
- состояние изученных ценопопуляций является неустойчивым вследствие затруднённости в них процесса семенного возобновления;
- при разработке мер охраны данного вида следует особое внимание уделять контролю состояния его ценопопуляций и изучению биологии и экологии вида, в частности, проведению экспериментов в естественных местообитаниях по выявлению условий, благоприятных для семенного возобновления.

Таблица 1

Морфометрические признаки генеративных особей *Orchis militaris* L. в ЦП бассейна р. Нижняя Ёрга

Признак	ЦП1 (пойменный луг)	ЦП2 (суходольный луг)
Высота цветоноса, см	38.7±1.0 (32.0–48.0)	38.3±1.4 (27.0–55.3)
Число цветков, шт.	27.6±1.1 (19–39)	28.2±1.9 (18–54)

Примечание: в скобках указаны минимальные и максимальные значения признаков.

Таблица 2

Виталитетные спектры ЦП *Orchis militaris* L. в бассейне р. Нижняя Ёрга

Доля особей разных классов в виталитетном спектре, %	ЦП 1 (пойменный луг)	ЦП 2 (суходольный луг)
Доля особей низшего класса виталитета (с), %	52	76
Доля особей промежуточного класса виталитета (b), %	24	16
Доля особей высшего класса виталитета (a), %	24	8
Индекс виталитета (Q)	24	12
Тип ценопопуляции	Депрессивная	Депрессивная

ЛИТЕРАТУРА

Вахрамеева М.Г., Загульский М.Н., Быченко Т.М. Ятрышник шлемоносный // Биологическая флора Московской области. М.: Издательство МГУ; Издательство «Аргус», 1995. Вып. 10. С. 64–74.

Злобин Ю.А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы: Университетская книга, 2009. 263 с.

Кононова О.А., Кононова А.И. Оценка состояния ценопопуляций *Orchis militaris* L. в Вологодской области // Лучшая исследовательская статья 2020: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса (15 мая 2020 г.). Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. С. 149–155.

Красная книга Вологодской области. Т. 2. Растения и грибы. Вологда: ВГПУ, «Русь», 2004. С. 173.

Постановление правительства Вологодской области № 125 от 24.02.2015 «Об учреждении Красной книги Вологодской области» [Электронный фонд правовой и информационно-технической документации]. Режим доступа: http://volgdaoblast.ru/dokumenty/zakony_i_postanovleniya/postanovleniya_pravitelstva (дата обращения: 03.04.2015).

ВОСТОЧНОАЗИАТСКИЕ ВИДЫ РОДА *COTONEASTER* MEDIK. В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

А.Н. Пунегов

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: apunegov@ib.komisc.ru

Суровые климатические условия Республики Коми, бедность видового состава древесных растений, а также отсутствие в городах необходимой производственно-технической базы для проведения озеленительных работ остаются основными факторами, сдерживающими успешное культивирование интродуцентов в регионе. Поэтому актуальной является проблема обогащения культурной флоры Севера высокоустойчивыми и декоративными видами рас-

тений в целях озеленения. К числу перспективных декоративных древесных растений относятся представители полиморфного рода *Cotoneaster* Medik. (Кизильник) семейства Rosaceae Juss. (Розоцветные). Кизильники – это красивые кустарники, редко – деревья, которые широко используются для создания художественных композиций в садах и парках. Ареал большинства видов расположен в горных областях Евразии, а центром сосредоточения их разнообразия является Китай. Два вида – *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt (кизильник черноплодный) и *C. uniflorus* Bunge. (к. одноцветковый) – встречаются во флоре Республики Коми (Флора Северо-Востока..., 1976).

Целью исследований являлось изучение особенностей биологии восточноазиатских видов рода *Cotoneaster* при интродукции в условиях Севера.

Исследования проводили в дендрарии Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенном в среднетаежной 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.

При изучении биологии семи видов рода *Cotoneaster* восточноазиатского происхождения – *C. dammeri* С.К. Schneid. (к. Даммера), *C. horizontalis* Desne. (к. горизонтальный), *C. ascendens* Flinck & В. Nylm (к. приподнимающийся), *C. allochrous* Pojark. (к. иначецветный), *C. bullatus* Bois (к. пузырчатый), *C. roseus* Edgew. (к. розовый) и *C. amoenus* Е.Н. Wilson (к. прелестный) – в новых климатических условиях произрастания использовали общепринятые методики исследования древесных растений при интродукции.

Периоды с 1.V по 15.V и с 20.IX по 5.X считались ранними сроками начала и окончания вегетации, а с 16.V по 30.V и с 6.X по 20.X – поздними, что соответствует продолжительности вегетации основного числа местных видов (Мартынов, 2014).

По ритму сезонного развития восточноазиатские виды выделены в две группы с ранним (Р) – с 1 по 15 мая и поздним (П) – с 16 по 30 мая началом вегетации. По срокам окончания вегетации изучаемые растения отнесены в группу с поздним ее завершением (П) – с 7 по 10 октября. Сочетание сроков начала и окончания вегетации интродуцируемых видов дало две фенологические группы: РП – рано начинающие и поздно заканчивающие вегетацию и ПП – поздно начинающие и поздно заканчивающие вегетацию.

В группу РП входят *C. dammeri*, *C. horizontalis* и *C. ascendens*. Вегетация данных видов начинается в середине мая и завершается в первой декаде октября. Период вегетации в зависимости от вида составляет от 134 ± 7 (*C. horizontalis*) до 153 ± 13 (*C. ascendens*) дней. Рост побегов растений с РП начинается во второй декаде мая и завершается во второй декаде сентября, поэтому одревеснение побегов происходит на 50-75%, что приводит к обмерзанию не одревесневшей их части в зимний период. Однако благодаря раннему развитию и ускоренному росту растений в первой половине периода вегетации данные виды быстро восстанавливаются после незначительных зимних повреждений, что позволяет им долго сохранять свою жизнедеятельность. Степень зимостойкости этих растений оценивается II–IV баллами.

К феногруппе с ПП относятся *C. allochrous*, *C. bullatus*, *C. roseus* и *C. amoenus*. Вегетация этих видов начинается в третьей декаде мая и длится у *C. allochrous* и *C. bullatus* соответственно 137 ± 3 и 155 ± 6 дней, а начало листопада, завершающего вегетационный период, у *C. roseus* и *C. amoenus* не зафиксировано. У большинства изучаемых растений группы ПП начало активного роста побегов отмечается в конце мая и не завершается за вегетационный сезон. Поскольку рост побегов данных видов прерывается минусовыми температурами, то полного их одревеснения не происходит, поэтому растения уходят в зиму неподготовленными к перезимовке, в результате чего ежегодно обмерзают. Степень зимостойкости изучаемых видов группы ПП оценивается III–VI баллами.

Таким образом, в результате многолетних наблюдений установлено, что восточноазиатские виды рода *Cotoneaster* в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми имеют продолжительный цикл развития, т.е. им свойственны поздние сроки окончания вегетации. Ростовые процессы большинства видов прерываются наступлением отрицательных температур, что приводит к неполному одревеснению побегов и обмерзанию растений в осенне-зимний период. Однако некоторые виды, такие как *C. dammeri*, *C. horizontalis* и *C. ascendens*, в течение летнего периода благодаря высокой побеговосстановительной способности довольно быстро восстанавливают крону, что позволяет им успешно расти, цвести и плодоносить в новых условиях произрастания. Кроме того, они высоко декоративны в течение всего вегетационного сезона и являются перспективными для дальнейшего культивирования в Республике Коми.

Работа проводилась на базе УНУ «Научная коллекция живых растений» Ботанического сада Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Рег. номер 507428. Исследования выполнены в рамках государственного за-

дания по теме «Закономерности процессов репродукции ресурсных растений в культуре на европейском Северо-Востоке» № АААА-А17-117122090004-9.

ЛИТЕРАТУРА

Мартынов Л.Г. Результаты интродукции древесных растений европейского происхождения в ботаническом саду Института биологии Коми научного центра // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2014. № 3(19). С. 58–64.

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

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ITS В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕДКОГО ВИДА УРАЛЬСКОЙ ФЛОРЫ *ASTRAGALUS GORODKOVII* JURTZ.

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

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: valuyskikh@ib.komisc.ru

Astragalus L. (Fabaceae) – это крупный род растений, насчитывает по современным данным 2398 видов, распространенных преимущественно в умеренных и субтропических областях Северного полушария (Podlech et al., 2013). В России встречается 142 вида (Гельтман и др., 1998), на Урале – 60 видов, в том числе 12 эндемичных и субэндемичных (Куликов и др., 2013). В Республике Коми произрастает шесть видов рода *Astragalus*: *A. danicus* Retz, *A. frigidus* (L.) A. Gray, *A. gorodkovii* Jurtzev, *A. norvegicus* Grauer, *A. umbellatus* Bunge и *A. arenarius* L. (гербарий Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Объектом нашего исследования является *Astragalus gorodkovii* (астрагал Городкова). Этот редкий вид уральской флоры является узколокальным эндемиком Полярного и Приполярного Урала (Юрцев, Жукова, 1968). В Республике Коми находки *A. gorodkovii* отмечены на Полярном Урале (р. Харута) и Приполярном Урале – верховья р. Кожим выше впадения р. Лимбекою и у пос. Орлиный (Улле, Тетерюк, 2019). Вид включен в Приложение Красной книги РФ как таксон, нуждающийся в постоянном контроле численности в природе, а также Красные книги Республики Коми и Ямало-Ненецкого автономного округа. Этот вегетативно неподвижный стержнекорневой многолаво-каудексовый травянистый поликарпик с летне-зелеными моноциклическими побегами (Тетерюк, Михович, 2017) достаточно подробно изучен разными исследователями в области экологии, репродуктивной биологии, начальных этапов онтогенеза и введения в культуру (Князев, 2014; Тетерюк, Михович, 2017; Филиппов, 2020 и др.). Существует мнение, что *A. gorodkovii*

принадлежит к группе астрагала уральского *A. uralensis* Litv. s. l. (Улле, Тетерюк, 2019). Однако отличия этого таксона от близкородственных уральских астрагалов были подтверждены разным числом хромосом (Юрцев, Жукова, 1968), что дало основание для описания с Полярного Урала этой редкой диплоидной расы – *A. gorodkovii* с $2n = 16$ (Филиппов и др., 2008; Князев, 2014).

В международных базах генетических данных, которые содержат ДНК последовательности сосудистых растений (NCBI, 2021; Bold Systems, 2021), отсутствуют сведения о *A. gorodkovii*. Таким образом, можно отметить, что этот вид является потенциально новым для молекулярной систематики. Учитывая сложные таксономические взаимоотношения в роде *Astragalus* и непростую морфологическую дифференциацию видов, полагаем, что получение новых данных в виде маркерных последовательностей для вида *A. gorodkovii* внесет значимый вклад в молекулярную систематику данного рода. В литературе для идентификации видов рода *Astragalus* с применением метода ДНК-штрихкодирования оптимальным назван маркер, содержащий последовательность ITS1-5.8s-ITS2 (ITS) ядерной ДНК (Guo et al., 2010; Zheng et al., 2014; Zhang, Jiang, 2020).

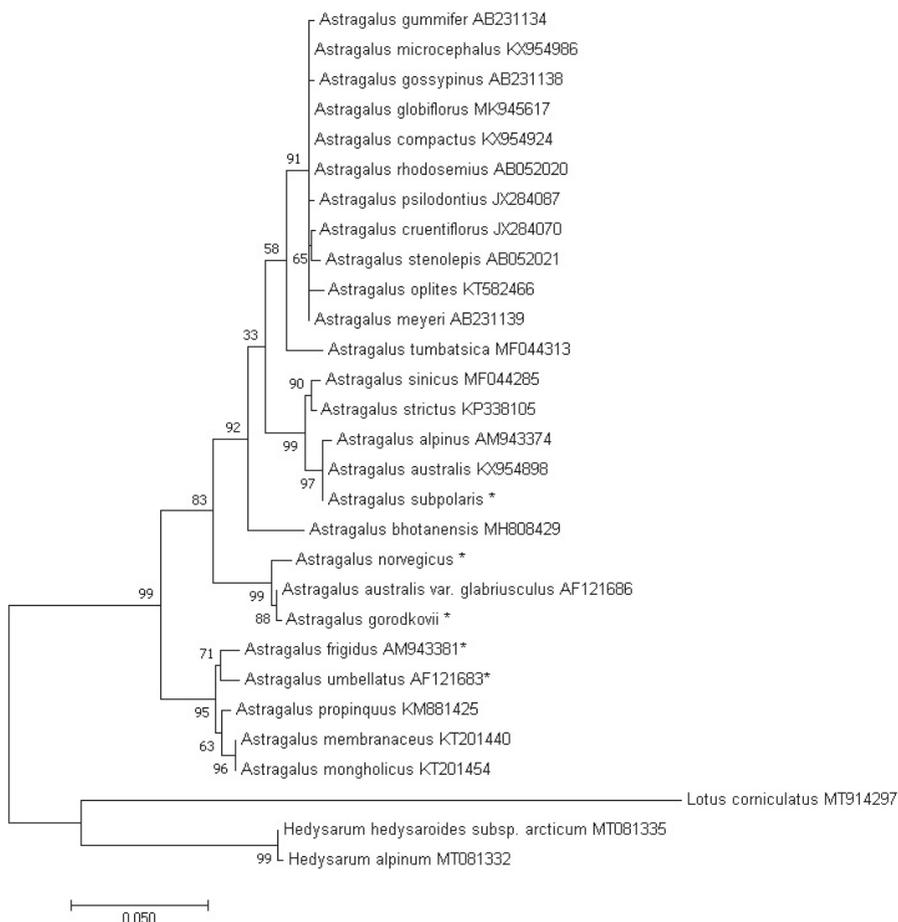
Цель настоящей работы заключалась в секвенировании ITS-последовательности ранее не изученного в этом отношении вида *A. gorodkovii*, получении новых сведений о филогенетическом положении и оценке возможности применения ITS последовательности для идентификации этого редкого на Урале таксона.

Материалом для исследования служил гербарный образец *A. gorodkovii*, собранный на территории Республики Коми (сборы И.А. Самариной, 02.07.2009, Приполярный Урал, правый берег р. Кожим, устье руч. Тэлашор). Геномную ДНК выделяли из гербарных образцов с помощью набора «DNeasy PlantMiniKit» (Qiagen, Germany) в соответствии с инструкциями производителя. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили с использованием универсальных праймеров ITS5 и ITS4. Секвенирование проводилось с использованием набора реагентов BigDye Terminator 3.1 на приборе НАНОФОР 05 (Россия) на базе ЦКП «Молекулярная биология» Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Сборку и множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей проводили с применением алгоритма ClustalW в программе Mega X (Thompson et al., 1994; Kumar et al., 2018). Филогенетическое дерево построено с использованием метода максимального правдоподобия (ML).

Матрица данных для последовательности ITS включала 572-580 п.н. Нами было реконструировано филогенетическое дерево для набора данных, включающего *A. gorodkovii* и другие виды из этого

рода (см. рисунок). В качестве внешней группы были выбраны три вида из других родов семейства Fabaceae.

Как видно на филогенетическом дереве, *A. gorodkovii* встал в одну субкладу с *A. norvegicus* и *A. australis* var. *glabriusculus* с высокой бутстрепш поддержкой (92), отделившись от остальных видов этого



Оптимальное филогенетическое дерево, построенное при помощи метода максимального правдоподобия на основании выравнивания последовательностей ITS1–5.8S–ITS2 ядерной ДНК видов рода *Astragalus*. Номера последовательностей из базы данных GenBank приведены следом за обозначением вида. * – последовательности для видов *Astragalus* с территории Республики Коми.

рода. При этом важно отметить, что *A. gorodkovii* также с достаточно высокой бутстреп поддержкой (88) выделился в этой субкладе. Это может указывать на то, что данный вид имеет достаточную степень полиморфизма по ITS последовательностям для того, чтобы быть идентифицированным среди видов рода *Astragalus*, произрастающих на территории Республики Коми, а также других близкородственных таксонов. Таким образом, нами впервые для *A. gorodkovii* секвенированы последовательности участков внутреннего транскрибируемого спейсера (ITS) ядерной ДНК и показано место данного вида на филогенетическом дереве.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Коми (проект № 20-44-110011) в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Князев М.С. Бобовые (Fabaceae Lindl.) Урала: видообразование, географическое распространение, историко-экологические свиты: Дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2014. 607 с.

Тетерюк Л.В., Михович Ж.Э. Перспективы реставрации природной популяции эндемика Урала *Astragalus gorodkovii* (Fabaceae) // Вестн. ТьГУ. Сер.: Биология и экология, 2017. № 4. С. 134–143.

Улле З.Г., Тетерюк Л.В. Астрагал Городкова. *Astragalus gorodkovii* Jurtz. // Красная книга Республики Коми, 2019. С. 497.

Филиппов Е.Г. Размножение *Astragalus gorodkovii* Jurtz. *Astragalus gorczakovskii* Vassil. в условиях *in vitro* // Современные подходы и методы в защите растений: Матер. междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2020. С. 194–195.

Юрцев Б.А., Жукова П.Г. Полиплоидные ряды и таксономия (на материале анализа некоторых групп арктических бобовых) // Ботан. журн., 1968. Т. 53. № 11. С. 1531–1543.

Baldwin B.G., Sanderson M.J., Porter J.M., Wojciechowski M.F., Campbell C.S. The ITS region of nuclear ribosomal DNA: a valuable source of evidence on angiosperm phylogeny // *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1995. V. 82. P. 247–277.

Guo H.Y., Wang W.W., Yang N., Guo B.L., Zhang S., Yang R.J., Yuan J.L., Hu S.N., Sun Q.S., Yu J. DNA barcoding provides distinction between *Radix Astragali* and its adulterants // *Sci. China Life Sci.*, 2010. V. 53. P. 992–999.

Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms // *Molecular Biology and Evolution*, 2018. V. 35(1). P. 1547–1549.

Podlech D., Zarre Sh., Ekici M., Maassoumi A.A., Sytin A. A taxonomic revision of the genus *Astragalus* L. (Leguminosae) in the Old World // *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie B für Botanik und Zoologie*, 2014. V. 1–3. P. 106.

Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J. CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice // *Nucleic Acids Research*, 1994. V. 22. P. 4673–4680.

Zheng S.H., Liu D.W., Ren W.G., Fu J., Huang L.F., Chen S.L. Integrated analysis for identifying radix astragali and its adulterants based on DNA barcoding // *Evid-Based Complement Altern Med.*, 2014. P. 1–11.

Zhang D., Jiang B. Species identification in complex groups of medicinal plants based on DNA barcoding: a case study on *Astragalus* spp. (Fabaceae) from southwest China // *Conservation Genet. Resour.*, 2020. V. 12. P. 469–478.

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ *PHLOJODICARCUS VILLOSUS* (APIACEAE) НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ITS2 И *trnH-psbA*

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

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: valuyskikh@ib.komisc.ru

Apiaceae Lindl. (Umbelliferae Juss.) является одним из крупнейших и важных для человека семейств сосудистых растений, включает в себя около 4000 видов, в том числе сложные видовые комплексы с высоким уровнем морфологической изменчивости (Пименов, 2012). Классификация видов внутри семейства в настоящее время находится в состоянии ревизии, так как молекулярно-генетические методы исследования выявляют не совсем корректную картину, которую отражает традиционная карпологическая система, основанная на анатомии и морфологии плодов, в эволюционном взаимоотношении Apiaceae (Пименов, Ленов, 1993; Пименов, 2012; Downie et al., 2010). Для идентификации таксонов Apiaceae помимо ядерного маркера ITS (Downie et al., 2001, 2010) многие исследователи используют последовательность межгенного спейсера *trnH-psbA* хлДНК (Дегтярева и др., 2012) или их комбинацию, которая также показывает хорошее разрешение для разграничения видов и может применяться как надежный ДНК-штрихкод (Liu et al., 2014).

Одним из таких потенциально новых таксонов является представитель семейства Apiaceae – *Phlojodicarpus villosus* (Turcz. ex Fisch. & С.А. Mey.) Turcz. ex Ledeb., (в. мохнатый, в. волосистый) – многолетнее травянистое растение. Данный вид преимущественно сибирский (североазиатский) гипоаркто-монтанный с обширным дизъюнктивным ареалом. Его разрозненные участки расположены в Арктических районах Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, Южной Сибири, Казахстане, Северной Монголии и Китае (Пименов,

1996, 2020; Секретарева, 2004; Flora of China, 2005). Уральский фрагмент ареала *P. villosus* охватывает вершины Северного и Приполярного Урала, где этот вид представлен изолированными популяциями на западной границе распространения (Лавренко и др., 1995; Чикурова, Валуйских, 2019; Валуйских, Канев, 2019).

В роде *Phlojodicarpus* выделяют три вида – *P. villosus*, *P. sibiricus* (Fisch. Ex Spreng.) Koso-Pol., *P. komarovii* Gorovoj), распространенные преимущественно в России (Пименов, Остроумова, 2012) и практически не изученные с точки зрения молекулярной систематики. Согласно данным S.R. Downie с соавторами (2010), род *Phlojodicarpus* (представленный в работе *P. popovii* Sipliv.) демонстрирует сходство по маркеру ITS с родом *Seseli*. Сведения о нуклеотидных последовательностях для других представителей рода *Phlojodicarpus* в публикациях и генетических базах данных нами не обнаружены.

В настоящей работе нами предпринята попытка использования генетических маркеров для амплификации участков ITS2 и *trnH-psbA* с целью секвенирования *trnH-psbA* и ITS2-последовательностей ранее не изученного в этом отношении вида *P. villosus*, а также получения новых сведений о филогенетическом положении и оценке возможности применения перечисленных маркерных последовательностей для идентификации этого редкого на Урале таксона.

Материалом для исследования служили два гербарных образца *P. villosus*, собранные на территории уральского фрагмента ареала в Республике Коми (сборы А.Н. Лавренко, З.Г. Улле, Н.П. Сердитова, 2.08.1990 г., Северный Урал, гора Янывондерсяхал) и основной части ареала в Магаданской области (сборы А.П. Хохрякова, 18.07.1973 г., Колымское нагорье). Помимо ваучерных гербарных образцов, использованных для получения ДНК, для морфологического анализа привлечены другие экземпляры *P. villosus*, хранящиеся в фондах гербария Института биологии Коми НЦ УрО РАН, а также живые растения, собранные авторами в 2017 г. на Северном Урале.

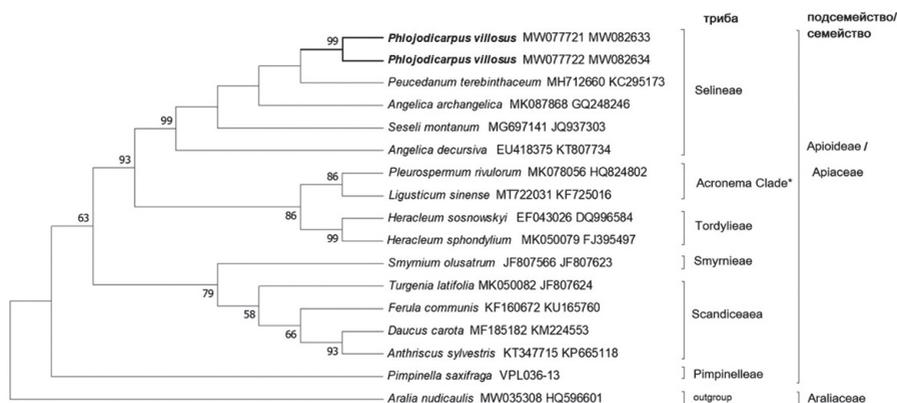
Для выделения ДНК использовали набор «DNAsy plant mini kit» (Германия). Для амплификации фрагмента ITS2 использовали праймеры ITS5 и ITS4, для амплификации фрагмента *trnH-psbA* использовали праймеры *trnH* и *psbA*. Секвенирование выполняли с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Молекулярная биология» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Выравнивание нуклеотидных последовательностей выполняли с использованием алгоритма ClustalW в программе MegaX (Thompson et al., 1994; Kumar et al., 2018). При построении деревьев использованы нуклеотидные последовательности, полученные нами для *P. villosus*, а также данные других авторов для представителей *Arja-*

сеае, депонированные из баз данных Genbank (NCBI, 2021) и BOLD Systems (BOLD Systems, 2021). В качестве внешней группы выбран вид *Aralia nudicaulis* L. из сестринского семейства Araliaceae. Филогенетические деревья строили с использованием метода максимального правдоподобия (Maximum Likelihood).

Phlojodicarpus villosus – многолетнее травянистое поликарпическое растение 23-40 см высотой с мощным разветвленным каудексом. Стебли толстые, полые, бороздчатые, в основании густо одетые многочисленными волокнистыми влагалищами старых листьев. Соцветия – зонтики, одиночные или по несколько на цветоносном побеге, 3–8 см в диаметре, с 8–30 лучами. Листочки обертки в числе 4–11, цельные, длиннозаостренные, густоопушенные. Оберточки из 5–11 цельных, узколанцетных, опушенных листочков. Мерикарпии у *P. villosus* 4–7 мм длиной, 2.5–4 мм шириной, с густыми прямыми волосками и утолщенными ребрами.

Матрица данных для последовательности ITS2 включала 213-220 п.н., для последовательности *trnH-psbA* – 126-158 п.н. Матрица объединенных данных по двум маркерам ITS2+*trnH-psbA* имела длину 343-373 п.н. Установлено, что в последовательности ITS2 у образца *P. villosus* с Колымского нагорья присутствуют гибридные пики, а для последовательностей *trnH-psbA* этого образца изменчивость выражается в наличии замен и трех делеций. Присутствие делеций характерно для представителей семейства Ариасеае и по данным Г.В. Дегтяревой с соавторами (Дегтярева и др., 2012) обусловлено сильной вариабельностью области, прилегающей к гену *trnH*. Мы предполагаем, такое проявление внутривидового полиморфизма может быть связано с географической обособленностью популяций *P. villosus* в разных частях ареала (Уральский фрагмент и основная часть ареала на Дальнем Востоке) и отражает изменчивость как на видовом, так и на более высоком таксономическом уровне.

На основе сравнения нуклеотидных последовательностей, полученных нами и имеющихся в базах данных, мы реконструировали филогенетическое дерево для объединенного набора данных (ITS2+*trnH-psbA*), представленного двумя образцами *P. villosus*, 14 образцами других родов семейства Ариасеае и одного вида внешней группы (см. рисунок). Деревья, построенные на основе последовательностей маркеров по отдельности, имели схожую топологию с деревом, построенном на основе объединенных данных. *Pimpinella saxifraga* L. (триба Pimpinelleae) является первым ответвлением на филогенетическом дереве в пределах таксонов подсемейства Ариоидеае и наиболее близко расположен к корню. Остальные виды сгруппировались в две монофилитичные клады. В одну кладу вошли виды



Объединенное филогенетическое дерево (ITS2 + *trnH-psbA*), построенное методом максимального правдоподобия (ML).

из родов *Daucus*, *Anthriscus*, *Ferula*, *Turgenia* (триба Scandiceae) и *Smyrniium* (триба Smyrnieae). Во вторую кладу с высоким уровнем поддержки (бутстреп 93%) сгруппировались все близкородственные таксоны из родов *Angelica*, *Seseli*, *Peucedanum* (триба Selinaee), виды *Heracleum* (триба Tordylieae) и представители родов *Pleurospermum* и *Ligusticum* (Acronema Clade, по Downie et al., 2010). В этой же кладе в пределах трибы Selinaee разместились два образца *P. villosus*. Филогенетическое положение *P. villosus* и принадлежность к трибе Selinaee согласуется с молекулярной системой подсемейства Apioideae по данным анализа ITS (Downie et al., 2010) и коррелирует с традиционной морфологической классификацией (Пименов, 2012; Пименов, Остроумова, 2012).

Таким образом, впервые для *P. villosus* секвенированы последовательности участков внутреннего транскрибируемого спейсера ядерной ДНК ITS2 и участка хлоропластного межгенного спейсера *trnH-psbA*, показана их вариабельность. Совместное применение ядерного и хлоропластного маркера позволило определить надежное филогенетическое положение *P. villosus* среди близких таксономических групп в пределах трибы Selinaee (подсемейство Apioideae, семейство Apiaceae).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Коми (проект № 20-44-110011) в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Валуйских О.Е., Канев В.А. Новые сведения о распространении редких видов сосудистых растений на хребте Поясовый Камень (Северный Урал) // Ботан. журн., 2019. Т. 104 (9). С. 1036–1043.

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

Пименов М.Е., Леонов М.В.Е. Роды зонтичных: номенклатура. В бюллетене Кью; Королевские ботанические сады. Кью: Ричмонд, Великобритания, 1993. Т. 49. 165 с.

Пименов М.Г., Остроумова Т.А. Зонтичные (Umbelliferae) России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 477 с.

Пименов М.Г. Обновленный конспект зонтичных (Umbelliferae) Средней Азии и Казахстана: номенклатура, синонимия, типификация, распространение // Turczaninowia, 2020. Т. 23, № 4. С. 127–257.

Секретарева Н.А. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 131 с.

Чикурова А.Д., Валуйских О.Е. Распространение, эколого-фитоценологическая приуроченность и структура популяций редкого на Урале вида *Phlojodicarpus villosus* (Apiaceae) // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: ВятГУ, 2019. Кн. 2. 396 с.

BOLD Systems 2021. Published on the Internet. URL: <http://www.boldsystems.org/> (дата обращения март 2021).

Degtjareva G.V., Logacheva M.D., Samigullin T.N., Terenteva E.I., Valiejo-Roman C.M. Organization of chloroplast psbA-trnH intergenic spacer in dicotyledonous angiosperms of the family umbelliferae // Biochemistry, 2012. V. 77. P. 1056–1064. DOI: 10.1134/S0006297912090131

Downie S.R., Spalik K., Katz-Downie D.S., Reduron J.-P. Major clades within Apiaceae subfamily Apioideae as inferred by phylogenetic analysis of nrDNA ITS sequences // Plant Div. Evol., 2010. V. 128. P. 111–136.

Downie S.R. Tribes and clades within Apiaceae subfamily Apioideae: The contribution of molecular data // Edinburgh Journal of Botany, 2001. V. 58(2). P. 301–330.

Flora of China. 2005. V. 14. P. 182. <http://www.efloras.org>.

Kumar S., Stecher G., Li M. Knyaz C., Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Across Computing Platforms // Mol. Biol. Evol., 2018. V. 35(6). P. 1547–1549.

NCBI (2021) National Center for Biotechnology Information. Published on the Internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> [дата обращения март 2021].

Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J. CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice // Nucleic Acids Research, 1994. V. 22(22). P. 4673–4680.

Virtual Guide to the Flora of Mongolia (2010). Plant Database as Practical Approach. https://floragreif.unigreifswald.de/taxon/page/5/?flora_search=Taxon&taxon_id=1463 [дата обращения март 2021].

Секция 2
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ЖИВОТНОГО МИРА

РЕЗУЛЬТАТЫ УЧЁТОВ ОРНИТОФАУНЫ
ДЕНДРОЛОГИЧЕСКОГО ПАРКА ЛЕСОВОДОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Бабина^{1,2}, Г.А. Борняков^{1,2}, О.В. Масленникова¹

¹ Вятская государственная сельскохозяйственная академия

E-mail: svetlanka.babina@mail.ru

² Государственный природный заповедник «Нургуш»

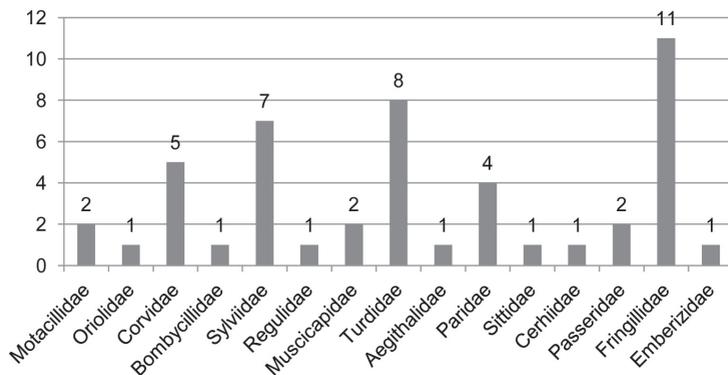
Крупные участки древесной растительности (лесопарки) в окрестностях больших городов круглогодично привлекают представителей местной орнитофауны как наиболее подходящие места обитания, кормежки и гнездования, поэтому изучение их видовой разнообразия вызывает интерес у орнитологов. Одним из таких лесопарков в г. Кирове является Дендропарк. Дендрологический парк лесоводов Кировской области расположен между Нововятском и пос. Сошени, Казанским трактом и слободой Лянгасы на берегу р. Вятки и представляет собой искусственные парковые и сохраненные естественные древесно-кустарниковые насаждения в равных соотношениях. Лесопарк общей площадью около 50 га заложен в 1962 г., в конце 2009 г. ему присвоен статус памятника природы регионального значения. Парк спроектирован по классической схеме разбивки территории на кварталы тремя продольными главными аллеями. Здесь представлены лиственница сибирская (*Larix sibirica*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), береза повислая (*Betula pendula*) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), участки естественной лесной растительности – в основном ельники (*Picea abies*) (Соловьёв, 2017).

Маршрутные учёты на территории Дендропарка проводятся с начала августа 2018 г. с периодичностью раз в один или два месяца. В данной работе обобщены данные за период с 2018 по 2020 г. Проводилась визуальная и фотофиксация всех встреченных видов птиц.

Всего за исследуемый период было проведено 29 учётов, наибольшее число наблюдений сделано в весенний период. Маршрут длиной 4.3 км проходил как по наиболее популярным у горожан участкам парка (центральные аллеи, территория у пруда), так и по малоосещаемым естественным ельникам в глубине Дендропарка. Для наблюдений использовались методика маршрутного учёта без ограничения полосы обнаружения с расчётом плотности населения по средним дальностям обнаружения птиц (Равкин, Доброходов, 1963) и методика наземных учётов водоплавающих для околородных птиц (Delany, 2010).

По данным В.Н. Сотникова (2018), в г. Кирове и Кировской области встречается 312 видов птиц, принадлежащих к 21 отряду. По исследованиям А.Н. Соловьева (2017), орнитофауна Дендропарка насчитывает 47 видов птиц.

В Дендрологическом парке г. Кирова за 2.5 года нами было встречено 60 видов, что составляет примерно 19% от всей орнитофауны Кировской области. Зарегистрированные птицы принадлежат к семи отрядам: один вид гусеобразных (Anseriformes), три вида соколообразных (Falconiformes), три вида ржанкообразных (Charadriiformes), один вид голубеобразных (Columbiformes), один вид стрижеобразных (Apodiformes), три вида дятлообразных (Piciformes) и 48 видов (80%) воробьинообразных (Passeriformes). Представители отряда Воробьинообразные принадлежат к 15 семействам (в области всего 23 семейства) (см. рисунок). Наиболее многочисленными в Дендропарке являются славковые (Sylviidae), дроздовые (Turdidae) и вьюрковые (Fringillidae). Из всех встреченных представителей семь видов являются немногочисленными в Кировской об-



Распределение видов отряда Воробьинообразные по семействам.

ласти: тетеревиный (Accipiter gentilis), седой дятел (Picus canus), чёрный дрозд (Turdus merula), обыкновенные лазоревка (Parus caeruleus), поползень (Sitta europaea), снегирь (Pyrrhula pyrrhula) и дубонос (Coccothraustes coccothraustes), восемь – многочисленные (из них три синантропные), остальные обычные. Обыкновенные чечетки (Carpodacus erythrinus) является редкими, а свиристели (Bombycilla garrulus) – немногочисленными для нашего региона, но оба вида обычны в зимний период. За исследуемый период мы не встретили представителей орнитофауны, занесенных в Красную книгу Кировской области.

Доминантами по численности, как и в 2018-2019 гг. являются большие синицы (Parus major) – 23.02% от всех встреченных видов (в 2018-2019 гг. – 24.2%), резко увеличилась доля численности крякв (Anas platyrhynchos) (с 5.7 до 17.18%) (Бабина и др., 2020). Субдоминантами в Дендропарке можно считать рябинников (Turdus pilaris), хоть они встречаются не в течение всего года, а также буроголовую гаичку (Parus montanus) – 10.81 и 10.58% соответственно. Кроме того, абсолютно во всех наблюдениях были учтены только большие синицы, на 28 маршрутных учётах зарегистрированы пухляки. Довольно часто встречались серые вороны (Corvus cornix), кряквы и снегيري (26, 25 и 23 учёта соответственно).

В июне 2020 г. на территории Дендропарка зарегистрированы особи обыкновенного поползня (Sitta europaea), гнездование которого на тот период не было достоверно подтверждено в г. Кирове. Кроме того, нами был слышен писк птенцов и найдено место гнездования, причём поползни выбрали для выращивания потомства участок Дендропарка поблизости от автотрассы (80-90 м), недалеко от главного входа, но на некотором удалении от основной аллеи.

Максимальное число видов было зарегистрировано весной – 48, летом – 43 и по 21 виду осенью и зимой (видовое разнообразие летом и зимой различно). Такое распределение может быть связано не только с тем, что весенний период – наиболее активный для всех представителей нашей орнитофауны, но и с тем, что весной проводилось больше маршрутных учётов, чем в остальные периоды.

Таким образом, на территории Дендрологического парка лесоводов Кировской области нами было встречено 60 видов птиц из семи отрядов. Подавляющее большинство видов (80%) принадлежат к отряду Воробьинообразные. Подтверждено гнездование обыкновенных поползней в окрестностях г. Кирова.

ЛИТЕРАТУРА

Бабина В.А., Борняков Г.А., Масленникова О.В. Биоразнообразие орнитофауны лесопарков города Кирова // Актуальные проблемы экологии и

природопользования. Материалы национальной научно-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне: Издательство ФГБОУ ВО СПбГАВМ, 2020. С. 18–19.

Равкин Ю.С., Доброхотов Б.П. К методике учета птиц лесных ландшафтов во внегнездовое время // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М., 1963. С. 130–136.

Соловьёв А. Н. Памятники природы города Кирова и его окрестностей. Изд. 2-е, доп. Киров: АиСАН, 2017. 136 с.

Сотников В.Н. Аннотированный список позвоночных животных Кировской области. Киров: ООО «Триада плюс», 2018. 59 с.

Delany S. Guidance on waterbird monitoring methodology: Field Protocol for waterbird counting. Wetlands International, 2010. 25 p.

СТРУКТУРА ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ, НАСЕЛЯЮЩИХ ТРУТОВЫЕ ГРИБЫ *FOMITOPSIS PINICOLA*

А.Г. Зуев, О.Л. Макарова

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
E-mail: agzuev.sevin@gmail.com

Последняя волна усыхания ели в Подмоскowie (2011–2014 гг.), спусковым механизмом которой послужила засуха 2010 г., привела к масштабным потерям еловых лесных массивов. Значительная часть погибшей еловой древесины в настоящее время интенсивно заселяется дереворазрушающими грибами, наиболее массовыми из которых являются трутовики *Fomitopsis pinicola* и *Fomes fomentarius*. При изучении восточно-европейских таежных комплексов клещей, обитающих в плодовых телах грибов, было показано, что гамазовые клещи массово заселяют гименофор дереворазрушающих грибов семейства Fomitopsidaceae, в частности, *F. fomentarius* и *F. pinicola* (Макарова, 2004, 2009, 2011). Сравнительно недавно описанный вид *Hoploseius oblongus* (Mašán, Halliday, 2016), по нашим данным широко распространенный по всей Европе, а также на Кавказе, в Западной и Средней Сибири, встречается исключительно на плодовых телах трутовиков *F. pinicola* (где доминирует среди членистоногих), а его трофические характеристики, как и диета многих других микобионтных беспозвоночных животных, до сих пор не исследовались.

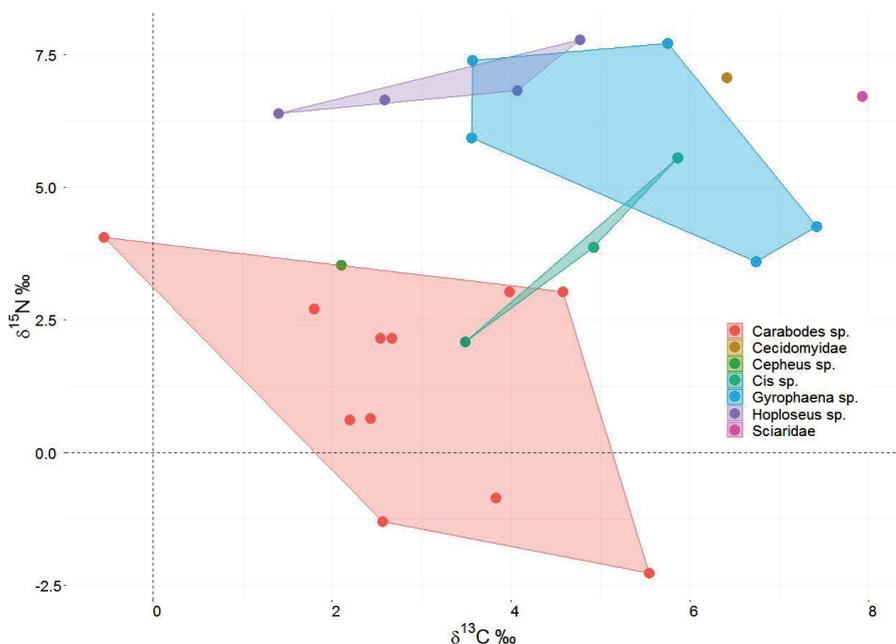
Целью работы было изучение структуры трофических пищевых сетей, формируемых в плодовых телах *F. pinicola*, а также определение диеты гамазовых клещей *H. oblongus*. В рамках данного проекта совокупно использованы классические акарологические методы и масс-спектрометрия стабильных изотопов углерода и азота.

Сбор плодовых тел трутовых грибов *F. pinicola* был произведен в течение 2019-2020 гг. на территориях лесов различных типов, окружающих биостанции ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН «Оковский лес» (Центральный государственный лесной заповедник, Тверская область) и «Малинки» (Московская область), а также заповедника Кивач (Республика Карелия). Выгонка беспозвоночных из плодовых тел трутовиков проводилась в лабораторных условиях классическими методами (в эклекторах без дополнительного освещения или подогрева). Измерение изотопного состава углерода и азота (соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) проводили с использованием элементного анализатора Flash 1112 и изотопного масс-спектрометра Thermo Delta V Plus (Thermo Fisher Scientific, США) в Центре коллективного пользования при ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН.

Предварительные результаты работы предполагают, что трофическая сеть, формируемая на плодовых телах трутовиков *F. pinicola*, основывается как на спороносных, так и на стерильных либо отмерших тканях трутовых грибов в качестве исходного ресурса. В составе комплекса беспозвоночных выделены следующие основные группы беспозвоночных: панцирные клещи (Oribatida: Carabodidae, Cerpheidae), гамазовые клещи (Acari: Blattisociidae), жуки (Coleoptera: Ciidae, Staphylinidae), а также грибоядные двукрылые (Diptera: Cecidomyiidae, Mucetophiliidae). Другие группы членистоногих встречаются нерегулярно, нематоды практически отсутствуют.

Результаты изотопного анализа (см. рисунок) показывают наличие двух основных трофических ниш, занимаемых комплексом почвенных беспозвоночных, вероятно, потребителей стерильной и спороносной ткани плодовых тел.

Стерильные ткани плодовых тел трутовых грибов *F. pinicola* потребляются в первую очередь панцирными клещами, а также в единичных случаях личинками жуков семейства Ciidae. Питание клещей *Carabodes* spp. и *Cepheus* spp., вероятно, проходит на поверхности плодового тела, и их диета, возможно, дополнена одноклеточными водорослями. Спороносящие участки гименофора, а также сами споры, по-видимому, активно потребляются стафилинидами рода *Gyrophæna*, личинками комаров-галлиц, а также гамазовыми клещами *Hoploseius oblongus*, обладающими узким телом и значительную часть времени проводящими внутри трубочек гименофора. Двукрылые имели показатели изотопного состава, сходные с таковыми, определенными для плодовых тел наземных макромицетов (Зуев и др. 2019). Особый интерес представляет отсутствие в структуре сообщества явных хищников как среди клещей, так и среди насекомых, что, по-видимому, связано со скрытым образом жизни основных обитателей.



Изотопный состав (значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) плодовых тел трутовых грибов, а также населяющих их беспозвоночных животных.

ЛИТЕРАТУРА

Зуев А.Г., Розанова О.Л., Цуриков С.М., Панченко П.Л., Ершова М.А., Смолярова Д.Д., Кривошеина М.Г., Александрова А.В., Ивницкий С.Б., Малеева Ю.В., Тиунов А.В. Трофическое фракционирование изотопов углерода и азота ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) грибоядными личинками двукрылых // Известия Российской академии наук. Серия биологическая, 2019. Т. 5. № 5. С. 485–494.

Макарова О.Л. Гамазовые клещи (Parasitiformes, Mesostigmata) – обитатели трутовых грибов Печоро-Илычского заповедника (Республика Коми) // Зоологический журнал, 2004. Т. 83. № 11. С. 1335–1340.

Макарова О.Л. Фауна свободноживущих гамазовых клещей (Parasitiformes, Mesostigmata) северной тайги: анализ зональной специфики // Зоологический журнал, 2009. Т. 88. № 9. С. 1039–1054.

Макарова О.Л. Обзор гамазовых клещей (Parasitiformes, Mesostigmata) тайги Печоро-Илычского заповедника (Северное Предуралье) с анализом населения ельников // Зоологический журнал, 2011. Т. 90. № 6. С. 649–664.

Mašán P., Halliday B. A new species of Hoploseius (Acari: Blattisociidae) associated with the red-belted bracket fungus, *Fomitopsis pinicola* (Polyporaceae) in Slovakia // Systematic and Applied Acarology, 2016. V. 21(8). P. 1145–1156.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРОЖЖЕВЫХ СООБЩЕСТВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ТЕРМИТАМИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА КАТ ТЬЕН (ВЬЕТНАМ)

А.И. Зуева

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
E-mail: aizueva.ecologist@gmail.com

Термиты – одни из основных преобразователей растительных субстратов, веточного и листового опада, почвы. Поскольку эти насекомые имеют не только выдающееся экологическое, но и хозяйственное значение, им посвящены многочисленные исследования, в том числе и микробиологические. Одна из значимых составляющих микробных сообществ, связанных с термитами, – дрожжевая компонента.

В данном исследовании мы изучили дрожжевые грибы, связанные с термитами четырех родов, характерных для национального парка Кат Тьен (Вьетнам): *Globitermes* и *Microcerotermes*, питающихся растительными субстратами, а также *Macrotermes* и *Odontotermes*, выращивающих грибные сады. Из насекомых, а также из связанных с ними субстратов (опада и почвы у термитника, фрагментов гнезда) были подготовлены суспензии, которые затем были посеяны на глюкозо-пептонно-дрожжевой агар (ГПДА). Выросшие на питательной среде дрожжевые колонии выделяли в чистую культуру, описывали морфологическое строение дрожжей (Максимова, Чернов, 2006). С помощью методов молекулярной диагностики (применив анализ последовательности нуклеотидов ITS1-5.8S-ITS2 региона рДНК) определили видовую принадлежность дрожжевых грибов (Глушакова и др., 2016). Далее с помощью литературных данных (Kurtzman et al., 2011), а также с помощью самостоятельно проведенных тестов (Максимова, Чернов, 2006) составили матрицу свойств дрожжевых грибов для дальнейшего анализа: в частности, исследовали способность дрожжей потреблять в качестве питательного субстрата различные сахара и спирты.

Выяснилось, что дрожжевые грибы, выделенные из насекомых, помимо сахаров могут потреблять в качестве источника питания спирты, встречающиеся в растительных субстратах (маннит, рибит), входящие в состав грибов (глюцитол) (Уланова и др., 2018) и являющиеся продуктом брожения (этиловый спирт). Это показывает, что дрожжи, обнаруженные в ходе исследования, способны не только выживать в условиях брожения простых сахаров и постоянного поступления растительных и грибных тканей (как происходит при питании насекомых-ксилофагов и микофагов), но и успешно усва-

ивать продукты их разрушения, способствуя поглощению термитами пищевых субстратов. Кроме того, эти микроорганизмы способны проявлять мицелиально-дрожжевой диморфизм, что может являться приспособлением к меняющейся концентрации доступных углеводов.

Интересно, что помимо собственно дрожжей (в частности, представителей родов *Candida*, *Saitozyma*, *Blastobotrys*, *Mezerozyma*, *Kodamae* и др.) в субстратах, связанных с термитами, встречались и грибы, не являющиеся истинными дрожжами, но проявившие дрожжевой рост на чашках Петри. Например, представители рода *Chaetosphaeria* формируют перитеций – вид плодового тела. В нашем исследовании выделенный из почвы у термитника штамм, относящийся к этому роду, сформировал на ГПДА дрожжеподобные колонии. Такая макроморфологическая особенность может указывать на значительную экологическую пластичность гриба, выделенного из ассоциации с термитами.

Полученные в ходе исследования данные готовятся к публикации и в дальнейшем могут оказаться полезными для понимания особенностей микробиомов, ассоциированных с социальными насекомыми, и в целях биологического контроля.

ЛИТЕРАТУРА

Глушакова А.М., Качалкин А.В., Максимова И.А., Чернов И.Ю. Дрожжи в млечном соке *Hevea brasiliensis* // Микробиология, 2016. Т. 85. № 4. С. 466–471.

Максимова И.А., Чернов И.Ю. Руководство к практическим занятиям по биологии дрожжей. Тула: Гриф и К, 2006. 96 с.

Уланова Р.В., Гольдштейн В.Г., Колпакова В.В., Носовская Л.П., Ади-каева Л.В. Изучение культивирования штамма *Pleurotus ostreatus* в глубоинной культуре на среде зернового экстракта // Достижения науки и техники АПК, 2018. Т. 32. №. 8. С. 82–87.

Kurtzman C.P., Fell J.W., Boekhout T. (Eds.). The Yeasts: a Taxonomic Study. 5th ed. Elsevier, 2011. V. 2. 1335 p. V. 3. 2080 p.

ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЧЕШУЕКРЫЛЫХ-ФИЛЛОФАГОВ (INSECTA, MACROLEPIDOPTERA) СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А.В. Лукин

Коми филиал Всероссийского центра карантина растений

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: Lukin-6114@yandex.ru

Республика Коми расположена на северо-востоке европейской части России. Преобладающим типом растительности на ее территории являются таежные леса, в породном составе лесонасаждений

преобладает ель (*Picea A. Dietr*) – 54.1% и сосна (*Pinus L.*) – 25.0%, в меньшей степени береза (*Betula L.*) – 16.6%, тополь (*Populus L.*) – 2.1%, прочие породы – 2.2% (Государственный доклад..., 2020). Важную биоценотическую роль в лесных экосистемах играют насекомые-филлофаги, в частности чешуекрылые. Поедая листву деревьев и кустарников, они становятся звеном в трофической цепи переноса вещества и энергии, выполняя функцию первичных консументов; наносят серьезный ущерб лесопосадкам из-за резкого увеличения своей численности; служат источником пищи для других организмов (Исаев и др., 2015).

Несмотря на наличие большого количества работ, посвященных *Macrolepidoptera* Коми, всестороннее изучение лепидоптерофауны региона ещё далеко от завершения. Достаточно хорошо представлена группа *Rhopaloscega* (Татаринов и др., 2003), в то время как чешуекрылые-филлофаги лесных таежных насаждений на территории Республики Коми ранее специально не изучались. У многих видов разноусых чешуекрылых не установлены границы распространения и спектр кормовых растений, не изучены жизненные циклы. Особенно это касается крупнейших надсемейств *Geometroidea* и *Noctuoidea*.

Наравне с научно-познавательным аспектом изучение чешуекрылых-филлофагов важно в практическом плане, поскольку лесное хозяйство и лесная промышленность являются важнейшими составляющими отраслями региональной экономики. В процессе своего питания гусеницы ослабляют растение, при массовом появлении способны вызывать его гибель, что негативно сказывается на качестве древесины, а также увеличивает затраты на проведение лесовосстановительных мероприятий. Особенно экономическая нагрузка ощущается при вспышках численности опасных вредителей, таких как сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908), ежегодно выявляемый на территории Коми с 2016 г. при помощи феромонных ловушек, и непарный шелкопряд (*Lymantria dispar* Linnaeus, 1758).

Ключевым этапом в исследовании бабочек-филлофагов является изучение трофических связей. Установление кормового растения крайне важно, поскольку занимаемая им территория является лимитирующим фактором распространения насекомого. Доступность различных видов кормовых растений, произрастающих вместе, позволяет гусенице выбирать более предпочтительную пищу, что влияет на развитие насекомого: меняются размеры тела, количество отложенных яиц будущим имаго и т.д. При этом гусеницы некоторых видов чешуекрылых способны питаться определенным растением,

но будут не в состоянии завершить жизненный цикл и оставить потомство (Баранчиков, 1987).

Цель работы – охарактеризовать трофическую структуру чешуекрылых-филлофагов (Insecta, Macrolepidoptera) зоны средней тайги Республики Коми.

Материалом для данного сообщения послужили имеющиеся в литературе сведения по заявленной теме научного исследования «Чешуекрылые-филлофаги зональных лесных сообществ средней тайги Республики Коми», а также наши личные сборы в лесничествах (Прилузское, Летское, Кажимское, Койгородское, Сыольское, Троицко-Печорское), окрестностях с. Ыб, г. Сыктывкара в 2017-2020 гг.

Обзор видового состава и трофических связей чешуекрылых был ограничен средней тайгой Республики Коми, так как это самая крупная подзона растительности на территории региона, занимающая до 40% площади тайги и на данный момент наиболее изученная в энтомологическом отношении.

При изучении трофических связей чешуекрылых-филлофагов ключевым этапом является сбор гусениц, поскольку питание листвой происходит на данной стадии развития. Для этого применяется метод сбора яйцекладок, прикрепленных к растению-субстрату, с последующим выведением и доразращиванием особей до имаго. В ходе данного процесса можно максимально выявить пригодные для питания растения, предлагая гусенице те или иные виды в качестве источника пищи. В ходе лабораторных наблюдений можно узнать об особенностях физиологии вида, изменяя внешние параметры, такие как температура, длина светового дня, влажность, количество и состав корма.

Ручной сбор гусениц с кормового субстрата широко применим при осмотре кустарников и невысоких деревьев. Для деревьев, чья крона расположена на достаточно большом удалении от поверхности земли, применялся метод околоты и отряхивания ветвей над белым полотном. Сбор имаго чешуекрылых может осуществляться с помощью энтомологического сачка, пищевых приманок, феромонных ловушек. Наиболее предпочтительны световые ловушки, позволяющие выявить максимальное количество вечерних и ночных видов исследуемого биотопа (Голуб и др., 2012).

В состав кормовых растений чешуекрылых были включены только древесные и кустарниковые породы, произрастающие в естественных лесных насаждениях средней тайги Республики Коми.

Научная систематика и номенклатура чешуекрылых дана по «Каталогу чешуекрылых России» (Синёв, 2019). При составлении перечня видов чешуекрылых (табл. 1), питающихся листвой дере-

Продолжение табл. 1

Семейство / Вид	Кормовое растение																			
	Ель	Лиственница	Пихта	Сосна	Можжевельник	Ива	Тополь	Осина	Береза	Ольха	Смородина	Боярышник	Шиповник	Черемуха	Рябина	Крушина	Багульник	Сирень	Жимолость	
<i>Eupithecia indigata</i> (Hübner, 1813)	+			+																
<i>Eupithecia intricata</i> (Zetterstedt, 1839)					+															
<i>Eupithecia lariciata</i> (Freyer, 1842)	+	+			+															
<i>Eupithecia lanceata</i> (Hübner, 1825)	+	+			+															
<i>Eupithecia tenuiata</i> (Hübner, 1813)						+														
<i>Eupithecia vulgata</i> (Haworth, 1809)											+									
<i>Lobophora halterata</i> (Hufnagel, 1767)						+		+	+											
<i>Trichopteryx carpinata</i> (Borkhausen, 1794)						+	+	+												
<i>Trichopteryx polycommata</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)																				+
Надсемейство Noctuoidea – Совкообразные																				
Notodontidae																				
<i>Pygaera timon</i> (Hübner, 1803)						+	+	+												
<i>Clostera anachoreta</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)						+	+	+												
<i>Clostera anastomosis</i> (Linnaeus, 1758)						+		+												
<i>Clostera curtula</i> (Linnaeus, 1758)						+	+	+												
<i>Clostera pigra</i> (Hufnagel, 1766)						+	+	+												
<i>Cerura vinula</i> (Linnaeus, 1758)						+		+												
<i>Furcula bicuspis</i> (Borkhausen, 1790)						+		+	+	+										
<i>Furcula bifida</i> (Brahm, 1787)						+	+	+												
<i>Furcula furcula</i> (Clerck, 1759)						+	+	+	+											
<i>Notodonta dromedarius</i> (Linnaeus, 1767)						+			+	+										
<i>Notodonta tritophus</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)						+		+	+											
<i>Notodonta ziczac</i> (Linnaeus, 1758)						+	+	+												
<i>Pheosia gnoma</i> (Fabricius, 1776)								+	+	+										
<i>Pheosia tremula</i> (Clerck, 1759)						+	+	+	+											
<i>Leucodonta bicoloria</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)										+										
<i>Pterostoma palpina</i> (Clerck, 1759)						+	+	+	+	+										
<i>Ptilodon capucina</i> (Linnaeus, 1758)						+	+	+	+	+										+
<i>Odontosis carmelita</i> (Esper, 1799)								+	+	+										
<i>Gluphisia crenata</i> (Esper, 1785)								+	+											
<i>Phalera bucephala</i> (Linnaeus, 1758)						+	+	+	+	+										+
<i>Stauropus fagi</i> (Linnaeus, 1758)						+	+		+											
Lymantriidae																				
<i>Lymantria dispar</i> (Linnaeus, 1758)		+				+	+	+	+			+	+	+						
<i>Lymantria monacha</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+		+	+	+	+		+									
<i>Calliteara abietis</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)	+		+	+																
<i>Dicalomera fascelina</i> (Linnaeus, 1758)						+	+	+	+	+				+	+					
<i>Gynaephora selenitica</i> (Esper, 1783)	+	+	+	+		+		+												
<i>Orgyia antiqua</i> (Linnaeus, 1758)						+	+		+					+	+					
<i>Orgyia recens</i> (Hübner, 1819)						+		+	+	+		+	+	+	+					
<i>Euproctis similis</i> (Fuessly, 1775)						+								+	+					

Окончание табл. 1

Семейство / Вид	Кормовое растение																	
	Ель Лиственница	Пихта	Сосна	Можжевельник	Ива	Тополь	Осина	Береза	Ольха	Смородина	Боярышник	Шиповник	Черемуха	Рябина	Крушина	Багульник	Сирень	Жимолость
<i>Lithophane lamda</i> (Fabricius, 1787)																	+	
<i>Xylena solidaginis</i> (Hübner, 1803)								+								+		
<i>Xylena vetusta</i> (Hübner, 1813)					+													
<i>Antitype chi</i> (Linnaeus, 1758)					+													+
<i>Blepharita amica</i> (Treitschke, 1825)													+					
<i>Mniotype satura</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)					+						+							+
<i>Ceramica pisi</i> (Linnaeus, 1758)		+			+		+	+	+			+		+				
<i>Papestra biren</i> (Goeze, 1781)					+									+				
<i>Polia hepatica</i> (Clerck, 1759)					+			+			+							
<i>Orthosia gothica</i> (Linnaeus, 1758)					+							+	+	+				+
<i>Orthosia gracilis</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)					+					+								
<i>Orthosia incerta</i> (Hufnagel, 1766)					+	+		+										
<i>Orthosia opima</i> (Hübner, [1809])					+	+												
<i>Panolis flammea</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)		+			+	+												
<i>Agrotis vestigialis</i> (Hufnagel, 1766)					+													
<i>Actebia fennica</i> (Tauscher, 1837)					+													
<i>Graphiphora augur</i> (Fabricius, 1775)					+	+	+	+		+		+						
<i>Protolampra sobrina</i> (Duponchel, 1843)								+				+						
<i>Diarsia brunnea</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)					+			+										
<i>Diarsia dahlia</i> (Hübner, 1813)								+										
<i>Diarsia mendica</i> (Fabricius, 1775)					+						+							
<i>Diarsia rubi</i> (Vieweg, 1790)					+													
<i>Xestia baja</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)					+			+										
<i>Xestia speciosa</i> (Hübner, 1813)								+										+
<i>Cerastis leucographa</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)					+													
<i>Cerastis rubricosa</i> ([Denis & Schiffermüller], 1775)					+		+											
<i>Naenia typica</i> (Linnaeus, 1758)					+			+			+		+					

вьев и кустарников, использовалась монография К.Ф. Седых (Седых, 1974) и более современные работы (Татаринов, Долгин, 1999; Татаринов и др., 2003; Татаринов, Кулакова, 2018).

Ожидаемо существенная часть видов-филлофагов относится к разноусым чешуекрылым (Heterocera) – 235 видов из 12 семейств. Значительно меньшим числом видов представлена группа булавосых (Rhopalocera) – 14 видов из четырех семейств (табл. 1).

Поскольку в данной работе рассматривается зависимость питания личинок чешуекрылых на деревьях и кустарниках, виды можно

Таблица 2

Распределение видов чешуекрылых на трофические группировки

	Papilionidae	Pteridae	Lycaenidae	Nymphalidae	Endromidae	Saturniidae	Sphingidae	Lasiocampidae	Drepanidae	Thyatiridae	Geometridae	Notodontidae	Lymantriidae	Arctiidae	Nolidae	Noctuidae
Д	1	–	2	2	1	1	5	9	3	5	60	21	6	6	3	40
Д-Т	–	2	–	4	–	1	2	5	–	–	30	–	3	–	–	15
Т	–	–	1	2	–	–	2	–	–	–	15	–	–	1	–	1

разделить на три трофические группировки (табл. 2), где Д – дендрофаги, Д-Т – дендро-тамнофаги, Т – тамнофаги.

На основе полевых исследований и анализа литературных данных было выявлено 249 видов чешуекрылых-филлофагов из 16 семейств. Семейства группы Rhopalosera представлены незначительным количеством видов, так как личинки булавоусых являются преимущественно хортофагами. Лишь среди Нимфалид можно выделить представителей трёх трофических группировок, поскольку это наиболее богатое видами семейство на исследуемой территории (Татаринов, Долгин, 1999).

В группе Heterocera 105 видов относятся к Geometridae – наиболее обширному по числу видов семейству. Также следует отметить семейства Lasiocampidae и Lymantriidae, включающие в себя опасные жвое- и листогрызущих виды, вспышки численности которых наносят серьезный ущерб лесопосадкам.

Приведенный перечень видов чешуекрылых не является окончательным и последующие исследования будут восполнять этот пробел, поскольку в работе не учитывались декоративные или единичные виды древесно-кустарниковой растительности, произрастающие на территории средней тайги Республики Коми.

ЛИТЕРАТУРА

Баранчиков Ю.Н. Трофическая специализация чешуекрылых. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1987. 171 с.

Голуб В.Б. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 339 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году»: гос. доклад / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «Территориальный фонд информации Республики Коми»; редакционная коллегия: Р.В. Полшведкин (главный редактор) [и др.]. Сыктывкар, 2020. 162 с. <http://mpr.rkomi.ru/left/gosdoklad/>

Исаев А.С. Динамика численности лесных насекомых-филлофагов: модели и прогнозы. М.: Издательство научных изданий КМК, 2015, 261 с.

Седых К.Ф. Животный мир Коми АССР. Беспозвоночные. Сыктывкар, 1974. 191 с.

Синёв С.Ю. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. Издание 2-е. СПб.: Зоологический институт РАН, 2019. 448 с.

Татаринов А.Г. Булавоусые чешуекрылые (Фауна европейского Северо-Востока России. Булавоусые чешуекрылые. Т. VII, ч. 1. СПб.: Наука, 1999. 183 с.

Татаринов А.Г. Высшие разноусые чешуекрылые (Фауна европейского Северо-Востока России. Высшие разноусые чешуекрылые. Т. VII, ч. 2. СПб.: Наука, 2003. 223 с.

Татаринов А.Г. Высшие чешуекрылые Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва». Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 156 с.

СВЯЗИ ФАУНЫ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA) КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Мазеева, О.И. Кулакова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: mазеева@ib.komisc.ru

Исследование связей фауны – её положения в ряду других региональных фаун, выявление её сходств и специфики – является неотъемлемой частью любого зоогеографического исследования. Обычно связи фауны устанавливаются посредством сравнительного анализа видового состава и таксономической структуры фаун с использованием показателей общности (Татаринов, 2016). Однако подобные исследования эффективны только при условии хорошо изученного видового состава региональной фауны, для которой устанавливаются связи, и фаун сопредельных территорий. Хорошая изученность булавоусых чешуекрылых европейской части России позволяет адекватно и подробно изучить связи региональных фаун, в том числе и Кировской области.

Территория Кировской области расположена в трех подзонах растительности: южной части средней тайги, южной тайги и подтаежных (хвойно-широколиственных) лесов, поэтому областную фауну Rhopalocera вполне обоснованно можно считать гипобореальной. Для анализа ее связей были привлечены соседние и близлежащие регионы, а также другие субъекты европейской части России, границы которых в большей или меньшей степени находятся в тех же ландшафтно-зональных выделах. Из-за привязки большинства имеющихся фаунистических списков булавоусых чешуекры-

лых к административным границам региональные фауны сравнивали именно в этих территориальных рамках. В общей сложности были проанализированы фауны 24 субъектов европейской части России. Брянская и Смоленская области к анализу не привлекались по причине отсутствия для них в литературе полноценных фаунистических списков Rhopalocera.

Материалом исследования послужили наши данные, собранные на территории Кировской области с 2014 г., и литературные сведения (Чарушина, 1974; Решетников, 2001, 2014, 2016; Юферев, 2004; Адаховский, 2019), для других регионов – фаунистические списки, большинство которых было опубликовано в виде отдельных статей и потом вошло в макрорегиональные и национальные фаунистические обзоры (Львовский, Моргун, 2007; Каталог..., 2019 и др.). Для анализа сходства видовых списков использовали индекс Жаккара и визуализацию методом кластеризации с помощью программы PAST 4.0, для построения карт – QGIS 2.18.

К настоящему времени на территории Кировской области выявлено 135 видов булавоусых чешуекрылых. По этому показателю региональная фауна занимает промежуточное положение. Это обусловлено различными причинами: географическим положением (ярким примером этого являются, с одной стороны, северные Республика Карелия и Архангельская область, насчитывающие 92 и 87 видов соответственно, а с другой – южные Республики Башкирия и Татарстан, 180 и 161 видов соответственно), небольшой площадью регионов, расположением их только в одной подзоне растительности (Владимирская область, 102 вида, Ивановская область, 106 видов), возможной неполнотой видовых списков (Костромская область, 96 видов, Новгородская область, 91 вид).

Таксономическая структура северных регионов Русской равнины в целом сходна, особенно в относительном выражении (рис. 1). Практически во всех субъектах булавоусые чешуекрылые представлены шестью семействами, исключением является Республика Башкирия, где добавляется один представитель семейства Riodinidae. Повсеместно высока доля нимфалоидных семейств Nymphalidae и Satyridae, составляющая суммарно от 42% (53 вида) в Рязанской области до 56% (76 видов) в Республике Коми. К югу увеличивается удельный вес семейства Lycaenidae – с 19% в Республике Коми до 31–32% в Республиках Башкирия, Мордовия и Татарстан.

В той или иной степени прослеживается тенденция увеличения количества видов к югу и в семействах Hesperidae, Nymphalidae. У белянок (Pieridae) отмечено увеличение количества видов в восточном направлении. Видовое богатство бархатниц (Satyridae) на

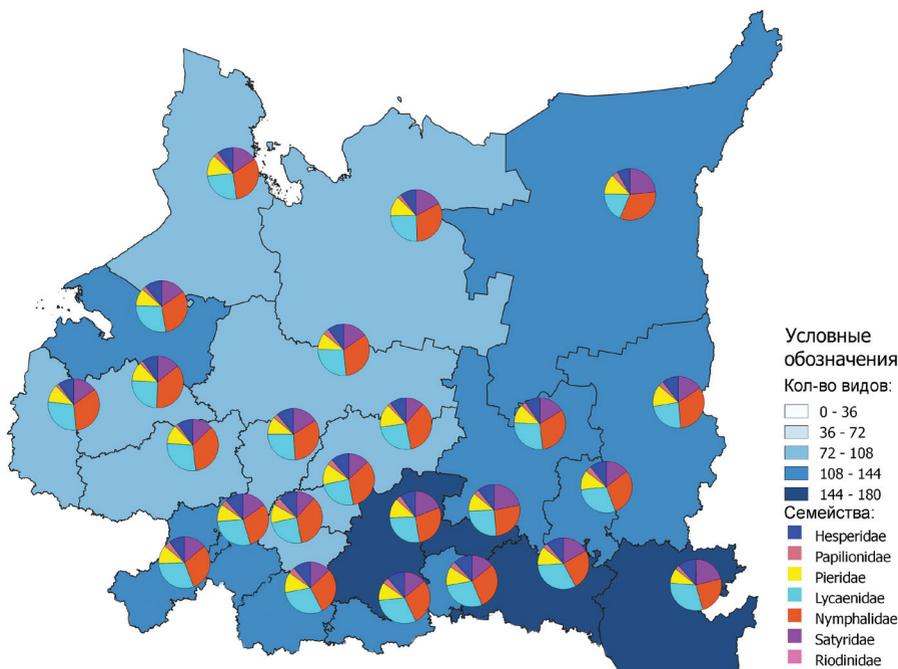


Рис. 1. Видовое богатство и таксономическая структура булавоусых чешуекрылых европейской части России.

широтном градиенте европейской части России варьирует незначительно, однако сильно изменяется качественный состав видов. Например, в Республике Коми встречается 31 вид, из которых 13 в более южных регионах не встречаются.

Анализ сходства видовых списков посредством кластерного анализа ожидаемо показал, что фауна булавоусых чешуекрылых Кировской области имеет наиболее близкие связи с соседними фаунами Удмуртской республики ($I_j = 0.8345$) и Пермского края ($I_j = 0.8042$), с которыми она образует «вятско-камский гипобореальный» кластер (рис. 2). На уровне сходства немногим ниже 80% они объединяются с фаунами Московской, Нижегородской, Калужской, Рязанской областей, Республик Марий Эл, Мордовии и Чувашии в кластер, который условно можно обозначить как «окско-волжский подтаежный». Несколько обособляются от них заволжские фауны Республик Татарстан и Башкирия, частично находящиеся в подтаежных лесах, частично в лесостепной и степной зонах, а

ожную тайгу уже не захватывающие. Отдельный «северо-западный» кластер образуют Ивановская, Владимирская, Ярославская, Костромская, Новгородская, Псковская и Ленинградская, а также Тверская и Вологодская области. Отчетливо обособляются от остальных в «северный» кластер фауны Архангельской области и Республики Карелия, на уровне около 60% сходства к ним присоединяется фауна Республики Коми, в составе которой присутствуют восточные (сибирские) географические элементы.

Сложившуюся картину связей региональных фаун булавоусых чешуекрылых севера Русской равнины можно объяснить прежде всего влиянием исторических факторов: они формировались сходными путями и примерно в одни периоды голоценовой эпохи и раннего антропоцена в отсутствие значительных физико-географических преград. В последние столетия и особенно в новейшее время нивелированию различий в видовом составе региональных фаун Rhopalosega способствует антропогенное преобразование природных ландшафтов и сообществ: многие виды за счет этого значительно расширили свое распространение в северном направлении.

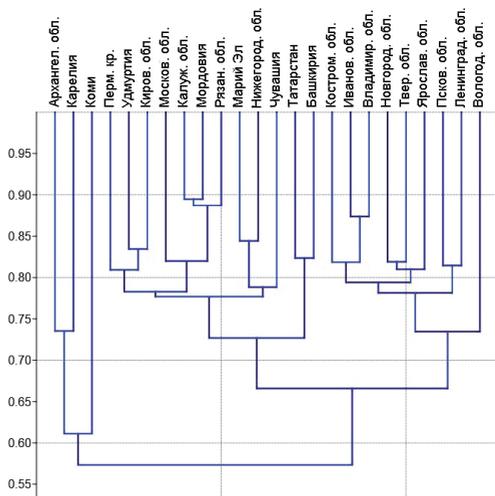


Рис. 2. Дендрограмма сходства фауны булавоусых чешуекрылых (индекс Жаккара) европейской части России.

ЛИТЕРАТУРА

Адаховский Д.А. Дополнения к фауне дневных чешуекрылых (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) Удмуртии и Кировской области с замечаниями по фауне Вятско-Камского междуречья в целом // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29. № 4. С. 544–548.

Синёв С.Ю. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. СПб.: Зоологический институт РАН, 2019. 448 с.

Львовский А.Л., Моргун Д.В. Булавоусые чешуекрылые Восточной Европы. М., 2007. 443 с.

Решетников С.П. Дополнения к фауне чешуекрылых (Insecta, Lepidoptera) Кировской области // Материалы II городских научно-практических

чтений памяти ученого-естествоиспытателя С.В. Маракова. Киров, 2016. С. 34–36.

Решетников С.П. Новые виды чешуекрылых (Insecta, Lepidoptera) с территории Кировской области // Материалы I городских научно-практических чтений памяти ученого-естествоиспытателя С.В. Маракова. Киров, 2014. С. 41–45.

Решетников С.П. Отряд Lepidoptera – Чешуекрылые // Животный мир Кировской области. Дополнение. Киров: Изд-во ВГПУ, 2001. Т. 5. С. 183–186.

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

Юферев Г.И. Энтомофауна Кировской области. Новые материалы. Киров: «Триада плюс», 2004. 23 с.

ОСОБЕННОСТИ БОБРОВЫХ ПОСЕЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «МАЛАЯ СОСЬВА»

А.А. Полушкин

ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова
E-mail: toni.polushkin@mail.ru

Западносибирский подвид евразийского бобра *Castor fiber pohlei*, описанный в 1929 г. М.К. Серебренниковым, является одним из двух подвидов, внесенных в Красную книгу России (2001). Численность этой аборигенной популяции не превышает 700 особей, и звери населяют бассейны рек Конда и Малая Сосьва в пределах заповедника «Малая Сосьва» и заказника «Верхне-Кондинский» на территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Из-за климатических, гидрологических и эдафических особенностей поселения бобров на этой территории обладают рядом специфических и даже уникальных черт.

В ходе экспедиции, проведенной в сентябре 2020 г. на территории заповедника «Малая Сосьва», было использовано несколько методов экологических исследований. Во-первых, эколого-статистический метод, учитывающий полный подсчет всех следов жизнедеятельности бобров на определенном участке (Дьяков, 1975а). Во-вторых, использовался метод бонитировки бобровых угодий, определяющий качество условий обитания бобров, исходя из основных ключевых критериев (Бородина, 1959).

Заповедник «Малая Сосьва» располагается на стыке двух районов ХМАО – Советского и Берёзовского. Он включает часть водного бассейна р. Малая Сосьва и находится в зоне континентального климата, что обуславливает его биотические и абиотические характеристики. Среднегодовая температура -2.4°C , с диапазоном абсо-

лютных температур 87.7 градусов (официальный сайт заповедника «Малая Сосьва. 2021. URL: <https://www.m-sosva.ru/>). Растительность в основном представлена хвойными породами, такими как ель, кедр и сосна (до 90% территории). Лиственные породы, такие как различные виды ив (*Salix* spp.), осина (*Populus tremula* L.) и береза (*Betula* spp.), являются основными кормовыми растениями для бобра, но в прибрежной полосе встречаются редко.

Река Малая Сосьва обладает извилистым руслом на всем протяжении, коэффициент меандрирования 2.8-3. На реке встречается большое количество галечных перекатов и песчаных наносов. Берега в основном крутые, достигающие 5-6 м в высоту.

На реках Малая Сосьва, Конда и Тапсуй первые достоверные данные о численности датируются 1926–1928 гг. (Позвоночные..., 2015), в то время общая численность аборигенных для Западной Сибири бобров составляла 300 особей. Затем численность сократилась, но после организации заповедника и снижения антропогенной нагрузки она стабилизировалась на минимальном уровне: в 1978 г. на притоках Малой Сосьвы оставалось только 10 особей (Васин, 1981). Увеличение популяции *C.f. pohlei* началось с 2006 г. после нескольких выпусков на территории заповедника бобров, выловленных в заказнике «Верхне-Кондинский» (Позвоночные..., 2015).

Спустя 10 лет популяция западносибирских бобров на р. Малая Сосьва и нескольких ее основных крупных притоках насчитывала уже чуть более 100 особей (Позвоночные..., 2015), но к 2020 г. численность этой группировки практически не изменилась.

В северной части заповедника «Малая Сосьва» в 2020 г. был обследован участок среднего течения протяженностью более 82 км, на котором было обнаружено шесть бобровых поселений. Общие сведения о бобровых поселениях на р. Малая Сосьва: длина маршрута – 82 км, количество поселений – шесть, количество животных – 27, плотность – 0.07 пос./км, бонитет – III. Все поселения относятся к русловому типу, их средняя протяженность составила 483 м при минимальной протяженности 400 м, а максимальной 700 м. Поселения тяготеют к участкам плесов. Кормовая база представлена *Salix* spp., *Betula* spp. и в редких случаях *Populus tremula*, входящих в состав смешанных прирусловых лесов. В каждом поселении были обнаружены зимние запасы корма объемом в среднем 75 м³ (37.5–144 м³).

Во всех малососьвинских поселениях все разнообразие сооружений представлено тропами, норами и козырьками на норах.

Бобровые поселения, расположенные на р. Малая Сосьва, обладают рядом специфических черт. Во-первых, центры поселений

смещены вниз по течению реки. Основные норы с зимним запасом корма расположены, как правило, в нижней трети поселений. Основное убежище представлено крупной норой, расположенной в берегу в районе плесов, рядом находится зимний запас корма. Основное жилище вырыто на одном берегу, а на другом следов жизнедеятельности мало либо они отсутствовали совсем. Это обусловлено неравномерным распределением кормовых ресурсов по берегам реки.

Во-вторых, р. Малая Сосьва расположена в холодном климате на северной периферии ареала бобра в зоне средней тайги с преобладанием хвойных пород и незначительным количеством пригодных для обитания участков. Всё это обуславливает большие промежутки между поселениями и крайне низкую плотность населения. Для сравнения, на р. Ейтъя, притоке Конды, в ходе последующих учетов плотность населения была определена как 0.14 пос./км русла, что в два раза выше, чем на Малой Сосьве. Скучная прибрежная растительность и быстрое выедание доступных кормов вызывают периодические миграции вверх и вниз по течению реки.

В-третьих, в связи с большими перепадами воды в течение года, эрозией и частичным обнажением выходов из нор, большая часть их прикрыта небольшими навесами, сооруженными бобрами из различных материалов. Такие «козырьки» обеспечивают лучшую защиту от различных хищников.

Таким образом, локальная популяция аборигенных западносибирских бобров в бассейне р. Малая Сосьва характеризуется относительно большой протяженностью поселений, низкой плотностью населения и сооружением защитных козырьков у основных жилищ.

ЛИТЕРАТУРА

Бородина М.И. Временная инструкция по учету численности речного бобра. М., 1959. 20 с.

Васин А.М. Современное состояние кондососьвинских бобров // Биологические аспекты охраны редких животных. М., 1981. С. 81–83.

Дьяков Ю.В. Бобры европейской части Советского Союза. М.: Моск. рабочий, 1975. 480 с.

Красная книга Российской Федерации: (Животные) / МПР РФ, РАН. М.: АСТ: Астрель, 2001. 860 с.

Заповедника «Малая Сосьва» сайт. 2021. URL: <https://www.m-sosva.ru/> (Дата обращения: 18.03.2021).

Позвоночные животные заповедника «Малая Сосьва» (Северное Зауралье): Аннотированный список и краткий очерк / А.М. Васин, В.П. Лыхварь, Ф.Р. Буйдалина, А.В. Загузов, В.В. Сыжко. Ижевск, 2015. 136 с.

ПОЧВЕННАЯ ФАУНА ПРОИЗВОДНЫХ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

А.А. Фатеева

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

Вырубка северных лесов в течение XX в. привела к трансформации таежных экосистем в специфические комплексы антропогенных фитоценозов, вызванных сменой хвойных пород лиственными. В настоящее время изучены динамика лесовосстановительных процессов, состав и структура древостоя, подроста, подлеска и напочвенного покрова, флористический состав, биологический круговорот веществ, особенности формирования подстилки, микробный комплекс смешанных лиственных насаждений Республики Коми (Пристова, 2012, 2019). Изучение биологического разнообразия сообществ почвенных беспозвоночных на вырубках является важным аспектом в поддержании устойчивости и функционирования биогеоценоза. Именно почвообитающие беспозвоночные осуществляют первоначальное механическое измельчение опада, стимулируют активность микроорганизмов, обогащают почву ферментами, витаминами и микроэлементами, тем самым ускоряют разложение растительных остатков (Xin et al., 2012; Симонович, 2013). Поэтому задачи исследования состояли в выявлении таксономического состава, определении численности групп почвенных беспозвоночных и оценки влияния возраста рубки на численность почвенной фауны.

Исследования проведены в двух лиственных насаждениях. Участок 1 представляет собой 25-летний березово-еловый молодняк разнотравный, участок 2 – 54-летнее осиново-березовое насаждение чернично-разнотравного типа. Несмотря на сходные почвенные условия и исходный тип леса, участки отличаются по запасу лесной подстилки, в березово-еловом молодняке он составляет 46.1 ± 19.3 т/га, а в осиново-березовом насаждении – 40.0 ± 11.6 т/га (Пристова, 2012). Отбор почвенных проб размером 10×10 см на глубину органического горизонта 4–7 см на расстоянии 2 м друг от друга проводили в августе 2020 г. В лабораторных условиях проводили выгонку беспозвоночных на эклекторах и идентифицировали животных. Статистическую обработку результатов проводили при помощи компьютерной обработки данных в программе Microsoft Office Excel и PAST. Всего собрано 50 почвенных образцов, из них извлечены 53 402 экз. имаго и личинок беспозвоночных, в том числе 41 610 экз. клещей и 10 584 экз. коллембол.

В березово-еловом молодняке выявлено 16 таксонов: в составе микрофауны преобладают *Oribatida* и *Collembola*, в составе мезофауны превосходство за личинками двукрылых. В осиново-березовом насаждении выявлены те же таксоны за исключением *Dytiscidae* и *Thysanoptera*, а также еще два таксона *Cantharidae* и *Psocoptera*, не встречающиеся на первом участке. Преобладающей по численности группой среди микроартропод на двух участках были орибатиды. Примечательно, что их численность в березово-еловом и осиново-березовом сообществах одинакова, а численность коллембол в средневозрастном насаждении в три раза ниже, чем в молодняке. Численность отдельных групп мезофауны не различается между участками, исключение составляют щелкуны и ложнощитовки (см. таблицу). На участке 2 уменьшается доля личинок *Elateridae* (Tukey's $p \leq 0.05$), а доля *Coccidae* возрастает (Tukey's $p \leq 0.01$).

Почвенная фауна лиственных насаждений несмотря на различие в составе и возрасте древостоя близка между собой по составу. Эта тенденция отмечена и для микромицетов лесной подстилки (Пристова, 2012). В березово-еловом молодняке и осиново-березовом сообществе среди микроартропод доминируют орибатиды, среди мезофауны – личинки двукрылых. Это определяет численную преобладание группы сапрофагов и подтверждает активное участие беспозвоночных в разложении опада и подстилки в летнее время в 25-летнем и 54-летнем насаждениях. Общая численность микроартропод

Численность (N, экз./м²) и относительное обилие (P, %) почвенных беспозвоночных в березово-еловом (участок 1) и осиново-березовом (участок 2) насаждениях

Таксон	Участок 1		Участок 2	
	N, экз./м ²	P, %	N, экз./м ²	P, %
<i>Collembola</i>	30560 ± 6071.5	25.8 ± 2.9	11776 ± 2232.2	13.1 ± 1.7
<i>Oribatida</i>	64272 ± 941.6	54.2 ± 3.2	61640 ± 6948.4	68.3 ± 2.9
<i>Gamasina</i>	2256 ± 358.4	1.9 ± 0.2	1572 ± 198.8	1.7 ± 0.5
<i>Acari</i> др.	21504 ± 4157.8	18.1 ± 2.1	15196 ± 2414.3	16.8 ± 2.3
<i>Aranei</i>	84 ± 23.6	3.6 ± 1.0	104 ± 38.5	4.2 ± 1.1
<i>Lithobiidae</i>	20 ± 8.1	0.8 ± 0.4	48 ± 13.0	1.9 ± 0.9
<i>Diptera</i>	1628 ± 297.1	68.9 ± 5.6	1944 ± 749.2	78.1 ± 6.3
<i>Staphylinidae</i>	76 ± 30.7	3.2 ± 1.7	68 ± 18.0	2.7 ± 1.2
<i>Carabidae</i>	60 ± 17.3	2.5 ± 0.8	56 ± 15.4	2.3 ± 0.9
<i>Elateridae</i>	136 ± 34.6	5.8 ± 3.5	48 ± 14.3	1.9 ± 0.8
<i>Hymenoptera</i>	56 ± 17.4	2.4 ± 1.0	28 ± 10.8	1.1 ± 0.7
<i>Heteroptera</i>	48 ± 37.5	2.0 ± 1.3	136 ± 64.5	5.5 ± 2.4
<i>Coccidae</i>	208 ± 91.1	8.8 ± 2.7	8 ± 8.0	0.3 ± 0.2
<i>Lumbricidae</i>	24 ± 10.5	1.0 ± 0.7	24 ± 11.9	1.0 ± 0.9
<i>Insecta</i> др.	20 ± 5.1	0.8 ± 0.2	24 ± 6.1	1.0 ± 0.4

и мезофауны на участке 1 составляет соответственно 118.6 и 2108 экз./м², на участке 2 – 90.2 и 2392 экз./м². Достоверно по численности на двух исследованных участках различаются три таксона: *Collembola* (Tukey's $p \leq 0.01$), *Elateridae* (Tukey's $p \leq 0.05$) и *Coccidae* (Tukey's $p \leq 0.01$). Численность этих групп, характерных для ранних стадий восстановительных сукцессий, на участке 1 превышает таковую на участке 2 в несколько раз. Перспективным представляется мониторинг состояния почвенной фауны в лиственных насаждениях в целях установления стадий восстановительной сукцессии сообществ почвенных беспозвоночных после рубок.

Автор выражает благодарность Т.Н. Конаковой за помощь в сборе проб, А.А. Кудрину и А.А. Колесниковой – за ценные рекомендации.

Исследования проведены в рамках темы госзадания № АААА-А17-117112850235-2.

ЛИТЕРАТУРА

Пристова Т.А. Роль микромицетов в формировании лесной подстилки лиственных насаждений средней тайги // Лесоведение, 2012. № 4. С. 47–55.

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

Симонович Е.И. Анализ экосистемной роли почвенной фауны в процессе формирования почвенного плодородия // Международный журнал экспериментального образования, 2013. № 10. Ч. 1. С. 108–110.

Xin W.D., Yin X.Q., Song B. Contribution of soil fauna to litter decomposition in Songnen sandy lands in northeastern China // J. Arid. Environ., 2012. V. 77. P. 90–95.

Секция 3

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В УРБАНОЗЁМАХ ПАРКОВ ГОРОДА КИРОВА

О.М. Абдухалилов¹, С.Г. Скугорева²

¹Вятский государственный университет

E-mail: alimbay.1998@mail.ru

²Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

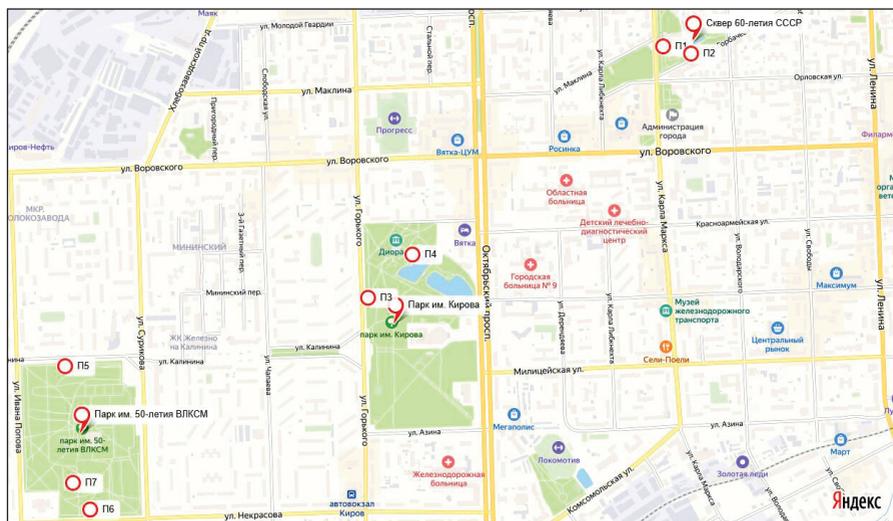
В настоящее время отмечается интенсивный рост крупных городов. Это обуславливает интенсивное развитие их инфраструктуры. Рост мегаполисов и урбанизация наносят значительный ущерб городским экосистемам. Из-за антропогенного воздействия формируются урбанозёмы, отличающиеся от естественных почв нарушением профиля, щелочной реакцией среды, загрязнением различными поллютантами (Бардина, 2013).

Из-за канцерогенных и мутагенных свойств полиароматические углеводороды (ПАУ) представляют особую опасность как для человека, так и в целом для живой природы. Ранее нами проведены исследования по содержанию ПАУ в объектах окружающей среды (ОС) г. Кирова и его окрестностей, включая почвы (Абдухалилов, 2019), снеговой покров (Скугорева, 2019).

Объектом данного исследования были пробы урбанозёмов парков г. Кирова, наиболее посещаемых горожанами и гостями города. Несмотря на то, что парки в городах не подвергаются большому антропогенному загрязнению, в оживленных местах и вблизи автодорог они испытывают определённую техногенную нагрузку.

Целью данной работы была оценка содержания ПАУ в урбанозёмах парков г. Кирова.

Пробы урбанозёмов отбирали в: 1) сквере 60-летия СССР, 2) парке им. Кирова; 3) парке им. 50-летия ВЛКСМ (см. рисунок). Отбор проб проводили в октябре 2020 г. из верхних горизонтов урбанозёмов с глубины 0–5 см.



Карта отбора проб урбанозёмов в парках г. Кирова. Сквер 60-летия СССР: П1 – рядом с ул. К. Маркса, П2 – рядом с ул. Горбачёва; парк им. Кирова: П3 – рядом с ул. Горького, П4 – рядом с верхним прудом; парк им. 50-летия ВЛКСМ: П5 – рядом с ул. Калинина, П6 – рядом с ул. Некрасова, П7 – южная часть парка.

Содержание ПАУ в урбанозёмах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе «Люмахром» по методике МУК 4.1.1274-03 (2003).

В результате хроматографического анализа определено 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).

Содержание ПАУ (мкг/кг) в пробах урбанозёмов

ПАУ	Место отбора пробы, номер участка						
	Сквер 60-летия СССР		Парк им. Кирова		Парк им. 50-летия ВЛКСМ		
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7
Пирен	14	2.2	2.3	*	2.6	3	*
Хризен	4.7	20	3.9	*	*	4	*
Бенз[b]флуорантен	8.9	3	5.8	*	2.5	35	*
Бенз[k]флуорантен	4.7	1.8	2.8	*	0.7	1.7	0.4
Бенз[a]пирен	6.3±2.5	4.3±1.2	5.5±2.2	1.7±0.5	*	3.2±1.0	*
Дибенз[a,h]антрацен	2.8	2.5	3.8	*	*	2.8	1.6
Бенз[g,h,i]перилен	12	64	2.8	*	2.3	2.9	2.5

* Ниже предела обнаружения.

Наибольшее внимание уделяли содержанию в урбанозёмах бенз[а]пирена (БП), так как это соединение относится к токсикантам I класса опасности и нормируется в объектах ОС (ПДК в почве составляет 20 мкг/кг).

БП был идентифицирован почти во всех пробах, исключение составила проба П7. Наибольшее его содержание наблюдается в урбанозёме участка П1 (6.3 ± 2.5 мкг/кг), наименьшее – в пробе П4 (1.7 ± 0.5 мкг/кг). Во всех пробах содержание данного соединения не превышает ПДК.

Участки П1, П2, П3, П6 отличаются содержанием всех семи представителей ПАУ, как лёгких (2–3-ядерных), так и тяжёлых (4-ядерных и более). В пробе с участка П5 из лёгких ПАУ обнаружен только пирен (2.6 мкг/кг), а из тяжёлых, более токсичных – бенз[b]флуорантен (2.5 мкг/кг), бенз[k]флуорантен (0.7 мкг/кг) и бенз[g,h,i]перилен (2.3 мкг/кг). Проба с участка П7 характеризуется наличием тяжёлых ПАУ (бенз[k]флуорантен, дибенз[a,h]антрацен и бенз[g,h,i]перилен), но отсутствием лёгких.

В целом, в исследованных парках г. Кирова содержание ПАУ минимальное по сравнению с техногенными участками ТЭЦ, исследованными нами ранее (Абдухалилов, 2019).

Таким образом, содержание БП во всех пробах урбанозёмов парков г. Кирова не превышало ПДК для почв. Наибольшим содержанием ПАУ характеризуются участки П1 и П2, расположенные в Сквере 60-летия СССР, который находится вблизи дорог с оживленным автомобильным движением и в понижении ландшафта, где могут скапливаться выбросы автотранспорта. Пробы участков, отобранные вблизи автодорог (П1, П2, П3 и П6), содержат больше ПАУ, чем те, которые отобраны в глубине парков.

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

Абдухалилов О.М. Содержание полициклических ароматических углеводородов в почве вблизи ТЭЦ-5 города Кирова // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2019. С. 73–76.

Бардина Т.В. Изучение экотоксичности урбанозёмов методами биотестирования // Живые и биокосные системы, 2013. № 5.

Скугорева С.Г. Оценка степени техногенной нагрузки в зоне влияния ТЭЦ-5 (г. Киров) по снеговому покрову // Бутлеровские сообщения, 2019. № 8. С. 147–155.

МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ НАЗЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ПОСЛЕ КИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ С МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Д.С. Бернадская, М.Б. Малышева, И.Р. Елизарова

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН

E-mail: d.bernadskaya@ksc.ru

Элементный анализ высших растений необходим для оценки состояния экосистем. Растительные объекты используются в качестве индикаторов загрязнения атмосферы, гидросферы или литосферы. Большинство исследований в настоящее время проводится спектральными методами с индуктивно-связанной плазмой: атомно-эмиссионным (ИСП-АЭС) (Гришина и др., 2018; Пристова Т.А., 2018) и масс-спектрометрией (ИСП-МС) (Дроздова, 2014) с предварительным микроволновым разложением. Изготовители систем микроволнового разложения рекомендуют программы, включающие в себя состав смесей кислот, температуру, время и мощность излучения. Однако полнота разложения проб может быть различной. Сложной и актуальной аналитической задачей является полное переведение пробы в раствор для определения валового содержания химических элементов, в том числе микрокомпонентов. Для полного переведения навески образца в раствор используют жесткие условия: сильные концентрированные кислоты, вещества, усиливающие окислительную способность, и повышенное давление при автоклавировании.

В рамках международных сличительных испытаний, проводимых по инициативе и координации работ Austrian Federal Research Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (Австрия, г. Вена), были проанализированы образцы наземных растений: 1) «Beech leaves» – листья бука; 2) «Spruce needles» – еловые иголки и 3) «Ash leaves» – листья ясеня. В испытаниях участвовали 48 лабораторий из 23 стран. Предварительной информации о составе образцов растений не было. Участие в таких испытаниях позволяет провести объективную и независимую оценку качества работы лаборатории и в дальнейшем использовать предоставленные образцы как контрольные. Стандартным образцом для оперативной оценки качества проведения анализа был выбран ГСО 8923-2007 – лист берёзы. В Центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН проведено микроволновое разложение предварительно озолённых образцов и неозолённых воздушно-сухих проб высших растений. Озоление проб проводили при 200 °С 2 ч, затем при 550 °С в течение 5 ч. Навески 50-60 мг помещали во фторопластовые автоклавы и добавляли в них 8 мл

азотной кислоты, 0,5 мл фтороводородной кислоты и 1 мл пероксида водорода. Разложение проводили в микроволновой системе «SINEO-MASTER 40» при мощности 1300 Вт ступенчато: 10 мин. при 150 °С, 5 мин. при 180 °С и 25 мин. при 200 °С. Навески озолённых проб не удалось перевести в раствор полностью, наблюдались осадки. Такие же условия и режим разложения были использованы для воздушно-сухих проб растений. Указанный режим позволил полностью перевести навески проб в раствор. Полученные растворы проанализированы методом ИСП-МС на масс-спектрометре Elan 9000 (Perkin Elmer, США) на содержание элементов: В, Fe, Cd, К, Са, Mg, Mn, Cu, Ni, Hg, Pb, P, Cr, Zn. Анализ каждой пробы проведён в четырёх параллелях. В таблице представлены результаты анализа. Опорные значения указаны сотрудниками австрийского университета.

Озоление проб позволяет с большей правильностью определить содержание микрокомпонентов за счет концентрирования аналита при удалении органической матрицы. Например, в озолённых пробах растений хром показал лучшую сходимостъ с опорными значениями. В то же время при озолении вещества образцов растений происходили потери ртути, что приводило к занижению значений на порядок по сравнению с неозолёнными пробами. При анализе образцов растений без озоления правильность результатов была выше, так как прободготовка озолённых проб предполагает большее количество лабораторных процедур и накопление большего количества погрешностей из-за потери летучих компонентов, потерь элементов в растворе при переходе их в осадок и из-за возможных загрязнений.

Результаты элементного анализа растительных образцов листа березы, мг/кг

Элементы	Озолённые			Неозолённые			Опорные значения		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ni	7.07	1.87	1.23	6.93	2.18	2.18	7.71±1.54	1.94±0.38	1.14±0.23
Cu	5.61	2.90	8.67	5.99	3.00	8.76	6.17±1.23	3.17±0.63	9.16±1.83
Cr	1.02	4.27	0.58	3.23	4.10	1.49	1.14±0.29	3.6±0.9	0.48±0.17
Zn	36.78	18.89	30.51	40.94	21.30	20.12	42.59±6.39	23.46±3.52	19.98±4
Pb	0.17	0.12	0.26	0.23	0.17	0.31	0.25±0.1	0.16±0.01	0.36±0.14
Mn	813	1153	10.11	1013	1545	14.81	1003.4±150.5	1475.4±221.3	11.41±2.282
Cd	0.06260	0.06085	0.00561	0.059	0.06406	—	0.07304±0.015	0.07439±0.015	0.01242±0.003
Ca	8606	2978	12837	10745	3920	17224	10130±1013	3650±365	15520±1552
Mg	1763	672	1593	2253	905	1966	2260±226	920±92	2090±209
K	6938	4957	17016	7971	5990	20718	8910±891	6700±670	21520±2152
P	1040	836	2309	1370	1139	2982	1200±120	970±97	2650±265
B	38.81	20.88	27.07	39.83	20.41	24.37	40.61±8.32	21.87±4.37	27.47±5.49
Fe	118	78	112	145	97	170	102.96±20.59	80.04±16	101.47±20.29
Hg	0.0050	0.0015	0.0012	0.0143	0.0296	0.0275	0.0165±0.0049	0.0231±0.0069	0.0298±0.009

ЛИТЕРАТУРА

Гришина Е.А. Определение содержания микроэлементов и тяжёлых металлов в растениях, оценка безопасности льнопродукции методом ИСП-АЭС // Земледелие, 2018. № 8. С. 19–22.

Дроздова Н.И. Особенности фракционного состава органического вещества почвы и накопление тяжёлых металлов растениями в промышленной зоне г. Гомеля // Проблемы здоровья и экологии, 2014. № 1 (39). С. 145–151.

Пристова Т.А. Элементный состав растений в предгорных лесах Приполярного Урала Республики Коми // Известия Самарского НЦ РАН, 2018. № 2 (20). С. 142–146.

**ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЗАЛЕЖЕЙ
ПРИ ИНВАЗИИ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.**

Г.А. Гольке¹, И.В. Далькэ², И.Г. Захожий²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: golkegrisha1997@mail.ru

Вторжение чужеродных видов на новые территории с последующей вспышкой их численности относится к актуальным экологическим и социально-экономическим проблемам во всем мире (Paini et al., 2016). Примером эффективного биологического вторжения является формирование обширного вторичного ареала борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). Его инвазия в природные сообщества ведет к обеднению видового состава фитоценозов (Панасенко, 2014; Булохов и др., 2018).

Целью работы было выявить изменения в составе и структуре растительного покрова залежей в процессе инвазии борщевика Сосновского.

Исследования проводили в подзоне средней тайги Республики Коми на залежи (почвы бывших пашен) общей площадью 0.75 га (61.645556° с.ш., 50.732083° в.д.). В 90-х гг. XX в. на участке провели культурно-техническую мелиорацию. После 2010 г. участок вывели из сельскохозяйственного оборота, а затем отмечали занос семян с последующим расселением борщевика Сосновского. В июле 2020 г. на залежи выполнили 23 геоботанических описания. Проводили анализ флоры (Толмачев, 1974), определение видов растений (Флора северо-востока..., 1976-1977). Названия видов даны по сводке С.К. Черепанова (1995), анализ жизненных форм – по системе И.Г. Серебрякова и К. Раункиера (1962). Выделяли географические и ценоотические группы (Флора северо-востока..., 1976-1977) .

Картографирование зарослей борщевика Сосновского по спутниковым изображениям (<https://yandex.ru/maps/19/syktvkar> и <https://www.google.ru/maps>) показало, что активное вторжение борщевика на модельном участке началось около 2010 г. и уже в 2014 г. растения были обнаружены на 40% от общей площади. К 2020 г. под зарослями борщевика Сосновского находилось более 80% территории участка.

В результате обработки геоботанических описаний исследуемые сообщества были отнесены к классу *Epilobietea angustifolii* Tx. et Preising ex von Rochow 1951 (Син. *Galio-Urticetea* Passarge ex Копецký 1969), порядку *Circaeo lutetianae–Stachyetalia sylvaticae* Passarge 196 nom. conserv. propos., союзу *Aegopodion podagrariae* Tüxen 1967 nom. conserv. propos., ассоциации *Urtico dioicae–Heracleetum sosnowskyi* Panasenکو et al. 2014, вар. *typica*. Диагностические виды: *Heracleum sosnowskyi* (доминант), *Urtica dioica* (доминант). Выделенный синтаксон объединяет типичные сообщества субассоциации и не имеет собственных дифференциальных видов (Булохов, 2018).

По нашим данным видовой состав сообществ залежи с доминированием борщевика Сосновского насчитывает 28 видов сосудистых растений из 27 родов и 19 семейств; 21 вид относится к апофитам и семь – к адвентивным видам. Наибольшее количество видов (4) – из сем. *Рoaceae*. Среди обнаруженных видов преобладали гемикриптофиты (71%), что характерно для умеренно-холодных флор. В синантропной ценофлоре модельного участка преобладали виды бореальной широтной группы (79%). По долготным географическим группам преобладали виды с евразийским распространением (57%). Эколого-биоморфологический анализ показал, что корневищные многолетники составили 57%. Таксономический, географический и эколого-биоморфологический анализ видовой состава подтверждает значительное сходство изученной флоры с другими синантропными флорами Республики Коми.

На модельном участке были выделены зоны, отличающиеся по времени начала вторжения борщевика Сосновского. Внедрение борщевика на модельную территорию началось в зоне № 1, где в настоящее время он вытеснил большую часть видов и сформировал моновидовую заросль. Сообщества зоны № 1 отличались низким видовым разнообразием, число видов варьировало от трех до шести. Участие борщевика Сосновского составило 90–95%. Во втором ярусе с обилием 2 был встречен сорный вид *Symphytum asperum*.

Основу травостоя в зоне № 2, где вторжение еще продолжается, также составляют растения борщевика Сосновского. Общее чис-

ло видов было от трех до 14. Присутствовали луговые виды классов *Molinio-Arrhenatheretea* (*Amoria repens*, *Alopecurus pratensis*, *Elytrigia repens*, *Lathyrus pratensis*, *Stellaria graminea*, *Veronica chamaedrys* и др.) и *Calluno-Ulicetea* (*Campanula rotundifolia*). Помимо луговых видов отмечены виды классов *Stellarietea mediae* (*Chenopodium album*, *Cirsium arvense*), *Artemisietea vulgaris* (*Artemisia vulgaris*) и *Epilobietea angustifoli* (*Calamagrostis epigéjos*, *Chamaenerion angustifolium*).

В зоне № 3, где растения борщевика начали свое вторжение позже всего, растительный покров представлен ассоциацией с доминированием борщевика Сосновского. С невысоким обилием, но большим постоянством были встречены луговые виды класса *Molinio-Arrhenatheretea* (*Alopecurus pratensis*, *Elytrigia repens*, *Lathyrus pratensis*, *Veronica chamaedrys*, *Vicia sepium* и др.), антропогенные виды классов *Artemisietea vulgaris* (*Artemisia vulgaris*), *Polygono arenastri-Poëtea annuae* (*Capsella bursa-pastyris*) и *Stellarietea mediae* (*Chenopodium album*, *Cirsium arvense*).

Таким образом, по мере зарастания модельного участка и формирования моновидовой заросли борщевика Сосновского наблюдали изменения в структуре сообществ и выпадение многих видов различных классов. Наиболее устойчивыми к вторжению борщевика Сосновского оказались виды *Poa pratensis* и *Symphytum asperum*.

ЛИТЕРАТУРА

- Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: ЛГУ, 1974. 244 с.
- Paini D.R. et al. Global threat to agriculture from invasive species // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2016. P. 201602205. <https://doi.org/10.1073/pnas.1602205113>
- Флора северо-востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1974. Т. I. 257 с. 1976., Т. II. 316 с., 1976. Т. III. 293 с., 1977. Т. IV. 312 с.
- Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / СПб.: Мир и семья, 1995. 991 с.
- Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.
- Бухов А.Д. и др. Нитрофитные травяные сообщества класса *Epilobietea angustifolii* Тх. et Preising ex von Rochow 1951 в Сожско-Деснинском междуречье // Растительность России. 2018. № 33. С. 19–40.
- Панасенко Н.Н. и др. Сообщества растений-трансформеров: ассоциация *Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi* // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2014. № 2(4). С. 48–53.

ДИНАМИКА ПОЖАРОВ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Н.М. Горбач^{1,2}, В.В. Старцев², А.С. Прокушкин³, А.А. Дымов²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: nikolay.tbo@gmail.com

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

³ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Пожары являются общепланетарным явлением и оказывают влияние на все компоненты, включая наземные экосистемы. Они носят глобальный характер и могут привести к изменениям в составе атмосферы, которые трудно спрогнозировать (Doerr, Satnin, 2016). Наибольшее негативное влияние могут оказывать пожары в торфяных почвах благодаря значительному запасу углерода, аккумулярованного в них (Сирин и др., 2020). Изучение пожаров в бореальной зоне и особенно в Сибири, где огромные пространства занимают заболоченные территории, имеет важное значение для оценки их роли в изменении состава и структуры торфяных почв. Также интерес к торфяным почвам обусловлен их уникальной ролью архивов, хранящих информацию о климатических и экологических изменениях в голоцене (Куприянов, Новенко, 2019). Из-за замедления процессов деструкции в анаэробных условиях в торфах замедлен круговорот веществ, что позволяет наиболее точно изучить свойства и структуру исследуемых почв в результате пирогенного воздействия.

Цель работы – изучить историю пожаров на основе количественной оценки содержания макроскопических частиц угля в торфяных олиготрофных почвах Красноярского края.

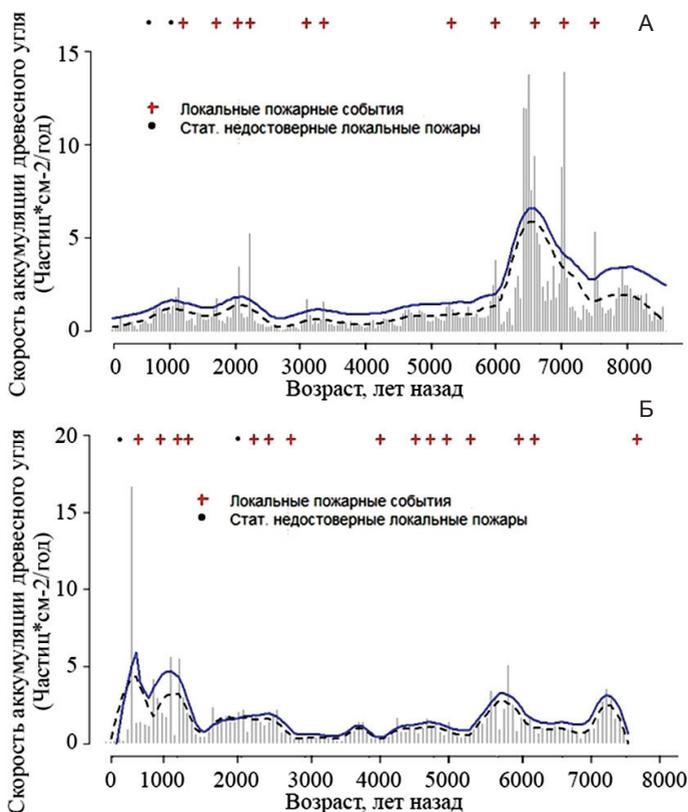
Объекты исследования расположены в окрестностях Средне-Енисейского стационара ИЛ СО РАН (Красноярский край) в подзоне средней тайги восточной части Западной Сибири. Для территории характерен резко континентальный климат. Среднегодовая температура воздуха на исследуемой территории равна 3.1...–3.5 °С, суммарное количество осадков в год составляет 594 мм (метеостанция Бор).

Исследования проводились на двух болотах, в которых развиваются торфяные олиготрофные почвы. Верховое болото I занимает обширную территорию (более 150 га) и окружено котловинами других болот. Верховое болото II небольшого размера (0.7 га), имеет воронкообразную форму и окружено древостоем.

Отбор колонок по всей глубине торфяной залежи осуществляли торфяным буром Eijkelkamp. Исследование истории пожаров осу-

щественляли по методике подсчета макрокопических частиц угля (Mooney, Tinner, 2011). Процесс анализа включал отбор образца сырого торфа объемом 1 см³ каждые 2 см торфяной колонки и последующее обесцвечивание в 5% -ном водном растворе NaOCl в течение не менее 24 ч при комнатной температуре для выявления содержания углистых частиц. Радиоуглеродный анализ проведен жидкостно-сцинтилляционным методом с помощью спектрометра-радиометра Quantulus в Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН).

В болоте I мощностью в 432 см процесс развития торфяной залежи начался во второй половине бореальной стадии голоцена (~8370 л.н.) (см. рисунок).



Содержание макрокопических частиц угля в торфяных олиготорфных почвах. А – болото I, Б – болото II.

Максимальное содержание макроскопических частиц угля (378 шт./см³) наблюдается на глубине 327 см и датируется серединой атлантического периода (~6759 л.н.).

Болото II мощностью в 251 см начало формироваться в первой половине атлантического периода (~7535 л.н.) (см. рисунок). Максимальное содержание макроскопических частиц угля (562 шт./см³) наблюдается на глубине 25 см и датируется концом субатлантического периода (~428 л.н.).

Болота имеют близкие истории палеопожаров в атлантическом и суббореальном периодах. В субатлантическом периоде торфяники имеют разную историю палеопожаров. Максимальное содержание макроскопических частиц угля наблюдается в двух глубинах торфяных горизонтов, датируемых концом бореального и атлантического периодов голоцена (от 6000 до 8370 л.н.) и субатлантического (от 2500 л.н. по наше время). Показано, что суббореальный период характеризуется существенно меньшим числом лесных пожаров по сравнению с атлантическим периодом. В атлантическом периоде в промежутке от ~5000 до ~8000 л.н. температура была выше современной на 2–3 °С, что, вероятно, способствовало высокой частоте пожаров. Во всех исследуемых болотах высокое содержание макроскопических частиц угля характерно для нижних торфяных горизонтов. Можно предположить, что пожары в них являлись фактором, приведшим к первоначальному заболачиванию территорий.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк.

ЛИТЕРАТУРА

Куприянов Д.А., Новенко Е. Ю. Реконструкция динамики лесных пожаров Центральной Мещеры в голоцене (по данным палеоантракологического анализа) // Сибирский экологический журнал. 2019. №. 3. С. 253–263. DOI: 10.15372/SEJ20190302.

Сирин А.А., Медведева М.А., Макаров Д.А., Маслов А.А., Ханс Ю. Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. №. 2. С. 314–336. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.206>

Doerr S.H., Santin C. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world // Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences. 2016. V. 371. P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>.

Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. Mires and Peat. 2011. V. 7. P. 1–18.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ ГОРНОЙ КАТЕНА ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ

М.А. Королёв, Е.В. Шамрикова, О.Г. Шевченко, Е.В. Жангуров

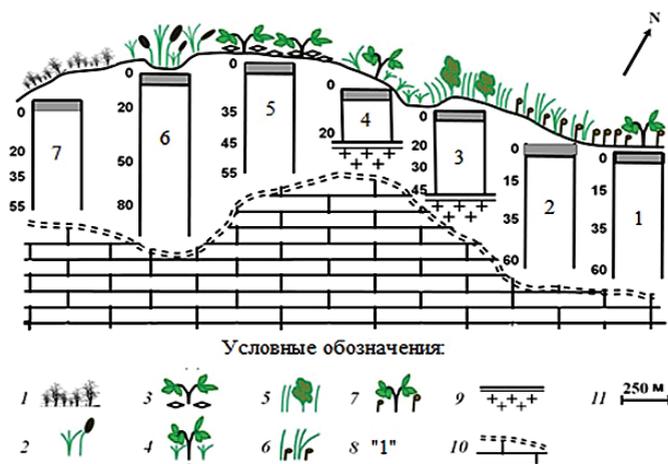
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Email: mihaikorolev1997@gmail.com

Арктическая зона более других регионов планеты чувствительна к изменениям климата. В течение последних полутора веков происходит глобальное повышение температуры, а примерно с середины прошлого столетия – заметное ускорение его темпов на фоне межгодовой и внутривековой изменчивости. Названные процессы неизбежно трансформируют слагаемые круговорота углерода в почве. Защита органического вещества почвы от окисления может быть связана с антиоксидантной способностью (Rimmer, 2006). Почвенный покров горной ландшафтной зоны Полярного Урала практически не исследован (Дупов et al., 2015). Наименее изученными в данном регионе являются почвы, сформированные на продуктах выветривания плотных карбонатных пород.

Район исследований находится в северной части хребта Большой Пайпудынский на правом берегу руч. Развильный (67°13'29" с.ш.; 65°38'17" в.д.), где широко развиты выходы массивных мраморизованных известняков на дневную поверхность, имеющих нижнедевонский возраст (Шамрикова и др., 2020). В качестве непосредственных объектов исследования выбрано семь ключевых участков (уч.) в горно-тундровом поясе на высотном профиле (см. рисунок). Общие концентрации углерода и азота в образцах почв измерены с помощью анализатора Carlo Erba EA-1100 CHN (Италия). Содержание карбонатов определено объемным методом с использованием кальциметра 08.53 Eijkelkamp (SA07, США-Нидерланды). Массовые доли неорганического азота измерены фотометрически (КФК-3, Россия), водорастворимого органического углерода и общего азота – методом высокотемпературного каталитического окисления с ИК-детектированием на ТОС-V_{СРН} (Shimadzu, Япония). Состав аминокислот в почве оценен с помощью анализатора ААА Т339 (Microtechna, Чехия). Антирадикальная активность (АРА) водно-спиртовых вытяжек почв определена в тесте с DPPH на спектрофотометре Thermo Spectronic Genesys 20 (США), их антиоксидантная активность (АОА) – по способности ингибировать процессы перекисного окисления липидов в органическом субстрате.

Целью работы являлось исследование отдельных характеристик почвенного органического вещества карбонатных почв Полярного Урала под различными растительными сообществами и факторов, влияющих на его накопление.



Месторасположение почвенных разрезов и растительных сообществ: 1 – кустарничково-дриадово-моховая тундра; 2 – высокотравный луг; 3 – дриадовая тундра; 4 – дриадово-травяная тундра; 5 – травяно-ивковая тундра; 6 – травяно-осоково-моховая тундра; 7 – дриадово-моховая тундра; 8 – номер почвенного разреза; 9 – резкое подстиление плит в нижней части почвенного разреза; 10 – мраморизованные известняки; 11 – горизонтальный масштаб.

Растительные сообщества участков различаются по степени сомкнутости. На уч. 1, 3 и 6 растительность представлена разреженными (общее проективное покрытие (ОПП) 25-60%) группировками с доминированием *Dryas octopetala*. Участки 2, 5, 7 и 8 характеризуются более развитым растительным покровом (ОПП до 100%) с более разнообразным доминирующим видовым комплексом (Шамрикова и др., 2020). Сочетание ландшафтно-геоморфологических условий территории наряду со спецификой карбонатных почвообразующих пород создает предпосылки для формирования большого разнообразия типов и подтипов почв. Рассмотрены почвы постлитогенного ствола из отделов криометаморфических (дерново-криометаморфические), литоземов (карболитоземы перегнойно-темногумусовые), органо-аккумулятивных (перегнойно-темногумусовые; перегнойно-темногумусовые квазиглеевые криометаморфические; перегнойно-криометаморфические глееватые), занимающие незначительные ареалы и мелкоконтурные сочетания.

Максимальное содержание органического углерода и азота свойственно поверхностным горизонтам почв (до 40 и до 3% соответственно). В нижележащих слоях значения этих показателей резко снижаются, хотя в отдельных минеральных горизонтах остаются су-

щественными. В наземной фитомассе растений масса органического углерода и азота близка к их содержанию в органогенных слоях почв. Доля водноэкстрагируемого органического углерода в фитомассе составляет 8–15% от общего содержания углерода. В почвах вклад органического углерода ниже: от 0.4–2.0% в органогенных горизонтах до 0.05–0.45% в минеральных. Меньшие значения относятся к почвам, формирующимся под сообществами с низким ОПП и доминированием дриады. Анализ гидролизатов объектов выявил наличие 19 аминокислот, содержание которых достигает 800 ммоль/кг и максимально для фитомассы. Наиболее обогащена аминокислотами фитомасса высокотравного луга и дриадово-травяной тундры, а также органогенные горизонты почв, развивающиеся под высокотравным лугом, травяно-ивковой и разнотравно-осоково-моховой тундрой (уч. 6, 3, 2). Во всех объектах доминируют нейтральные аминокислоты (60–70%), являющиеся наиболее устойчивыми (Василевич, Безносиков, 2015).

Антиоксидантный потенциал рассматриваемых типов почв зависит от продуктивности растительных сообществ. Максимальные значения показателей характерны для участков с наибольшими запасами наземной фитомассы. Важное значение имеет также и состав фитомассы. В частности, наивысшая антиоксидантная активность характерна для растительного материала, собранного на уч. 6, где обильно произрастает дудник. В пределах каждого разреза АРА и АОА зависят от глубины отбора почвенных проб и максимальны в верхних почвенных горизонтах, а также в пробах фитомассы. Регрессионный анализ выявил, что АОА и АРА объектов тесно коррелируют с содержанием в образцах органического углерода и азота, в том числе с водноэкстрагируемыми компонентами, а также с содержанием аминокислот, в частности, их ароматической фракцией. Полученные данные позволяют предположить, что АОА может рассматриваться в качестве одного из факторов накопления почвенного органического вещества.

Необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение свойств органического вещества почв полярных регионов, а также факторов их устойчивости к дальнейшей трансформации.

ЛИТЕРАТУРА

- Василевич Р.С., Безносиков В.А. Аминокислотный состав гумусовых веществ тундровых почв // Почвоведение, 2015. № 6. С. 685.
- Шамрикова Е.В. Почвы и почвенный покров горно-тундровых ландшафтов Полярного Урала на карбонатных породах: разнообразие, классификация, распределение углерода и азота // Почвоведение, 2020. № 9. С. 1053–1070.

Dymov A.A. Soil organic matter composition along altitudinal gradients in permafrost affected soils of the Subpolar Ural Mountains // *Catena*, 2015. V. 131. P. 140–148.

Rimmer D.L. Free radicals, antioxidants, and soil organic matter recalcitrance // *Eur. J. Soil Sci*, 2006. V. 57. P. 91–94.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ БУГРИСТЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ТОРФЯНИКОВ

Е.И. Лю-Лян-Мин

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: gruzdeva.katua94@yandex.ru

Липидные компоненты почв – это большая группа природных органических соединений, включающая липиды как простого, так и сложного строения, а также другие жироподобные вещества. Источниками липидов в почвах служат остатки высших растений, животные и микроорганизмы, обитающие в почве. Доля липидов от общего количества органического вещества в разных типах почв может варьировать от 2 до 20%. Липиды играют важнейшую роль в почвенных экосистемах, во многом определяя скорость превращения органического вещества и протекание других энергетических процессов (Jansen, Wiesenberg, 2017).

В силу своего строения липиды обладают более высокой термодинамической устойчивостью и в отличие от других сложных органических соединений (белки, углеводы и др.) могут быть надежно идентифицированы в почвах (Pennanen, 2001). Химически, липиды – это сложные эфиры жирных кислот с глицерином и другими многоатомными спиртами. В связи с этим наиболее распространенным методическим приемом для характеристики липидов в природных средах является анализ их жирнокислотного состава. Наличие специфических жирных кислот в липидах клеточных мембран микроорганизмов позволяет оценивать содержание почвенных микроорганизмов с применением метода газовой хроматографии. Следует отметить, что традиционные микробиологические методы не позволяют оценить полный видовой состав почвенных микроорганизмов, поскольку многие виды не культивируются на питательных средах. Так, например, 90% видов прокариотных микроорганизмов не растут на стандартных питательных средах (Willers et al., 2015).

Цель исследования – разработка методики определения жирнокислотного состава почвенных липидов методом газовой хроматографии и ее применение для оценки содержания почвенной микробиоты.

В качестве объекта исследования выбраны торфяные мерзлотные почвы бугристо-мочажинного комплекса, расположенного на юго-востоке Большеземельской тундры в бассейне р. Сейда. Образцы почв отбирали на разных глубинах сезонно-талого слоя и многолетнемерзлых пород.

В исследуемых торфах методом хромато-масс-спектрометрии были идентифицированы 13 биомаркерных жирных кислот (рис. 1). К ним относятся гидроксизамещенные и циклопропановые жирные кислоты (маркеры грамотрицательных бактерий), разветвленные насыщенные жирные кислоты (маркеры грамположительных бактерий) и линейные насыщенные жирные кислоты, сумма которых характеризует общее содержание бактерий.

Для определения биомаркерных жирных кислот в почве разработана методика, предполагающая извлечение, химическую модификацию, разделение и детектирование эфирных производных ис-

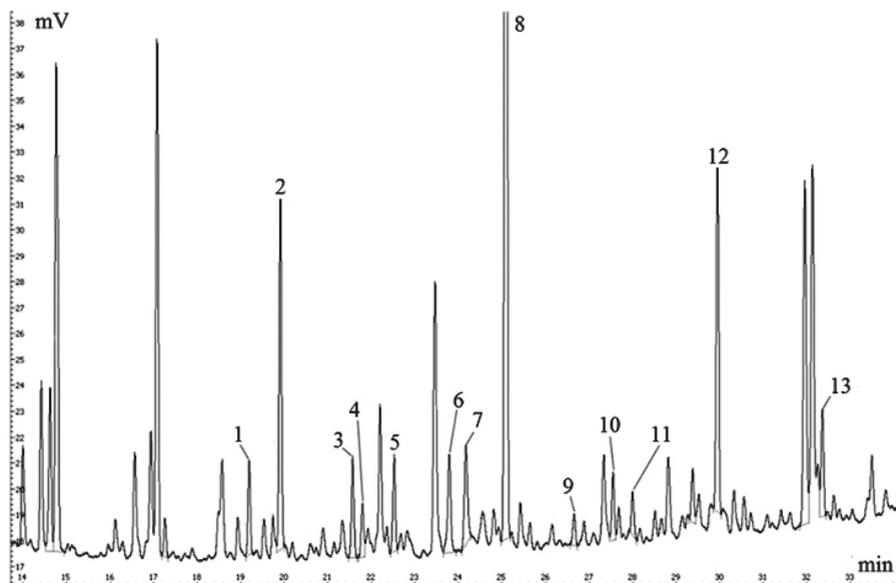


Рис. 1. Хроматограмма этиловых эфиров жирных кислот: 3-гидрокси-додекановая кислота (1), тетрадекановая кислота (2), 13-метил-тетрадекановая кислота (3), 12-метил-тетрадекановая кислота (4), пентадекановая кислота (5), 3-гидрокси-тетрадекановая кислота (6), 14-метил-пентадекановая кислота (7), гексадекановая кислота (8), 15-метил-гексадекановая кислота (9), гептадекановая кислота (10), 2-гидрокси-гексадекановая кислота (11), октадекановая кислота (12), цис-9,10-метиленоктадекановая кислота (13).

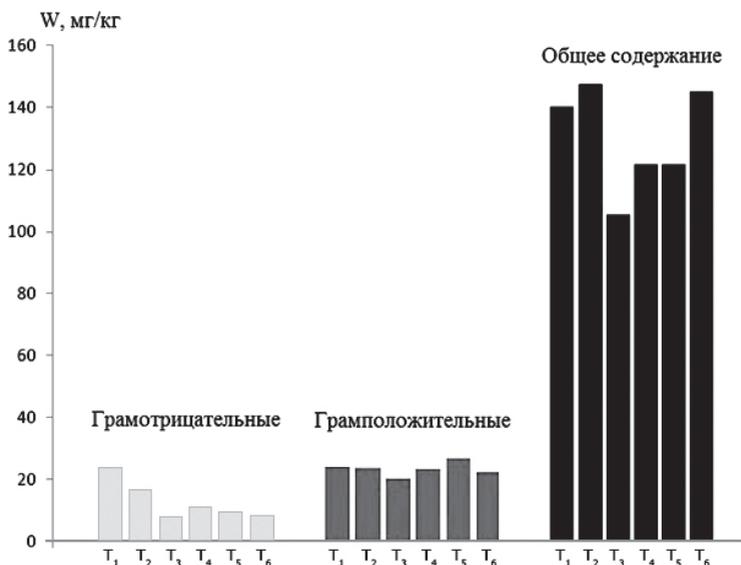


Рис. 2. Содержание биомаркерных жирных кислот и видовой состав бактерий по горизонтам торфяной почвы. T₁, 0–10 см; T₂, 10–20 см; T₃, 20–30 см; T₄, 40–50 см; T₅, 50–60 см; T₆, 60–70 см.

следуемых кислот методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором.

Методика была применена для оценки содержания биомаркерных жирных кислот по горизонтам торфяной почвы. Количественное содержание кислот затем было соотнесено с отдельными видами бактерий исследуемых почв (рис. 2).

На основании этих данных была проведена оценка общей численности бактерий в торфяных почвах. В зависимости от горизонта их количество составляет от 20 до 30 млрд. клеток/г. Грамотрицательные и грамположительные бактерии составляют примерно половину бактериального пула торфяных почв. Так, количество грамотрицательных бактерий варьирует от 1.6 до 4.6 млрд. клеток/г, грамположительных – от 3.9 до 5.1 млрд. клеток/г.

ЛИТЕРАТУРА

Jansen B., Wiesenberg G.L.B. Opportunities and limitations related to the application of plant-derived lipid molecular proxies in soil science // *Soil and Water Res.*, 2017. № 3. P. 211.

Pennanen T. Microbial communities in boreal coniferous forest humus exposed to heavy metals and changes in soil pH – a summary of the use of

PLFA, Biolog (R) and H-3-thymidine incorporation methods in field studies // *Geoderma*, 2001. № 100. P. 91.

Willers C., Jansen van Rensburg P.J. Phospholipid fatty acid profiling of microbial communities—a review of interpretations and recent applications // *Journal of Applied Microbiology*, 2015. № 119. P. 1207.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕНЗОЛПОЛИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ»

И.В. Паюсова¹, И.В. Груздев², В.В. Старцев², А.А. Дымов²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: irina.payusova2016@yandex.ru

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Пожары являются одним из ведущих факторов изменения большинства наземных экосистем планеты (Bento-Goncalves et al., 2012). Экосистемы северных широт содержат существенные запасы материалов, которые потенциально могут быть подвержены пирогенному воздействию. Они представляют собой лесную подстилку, торф, растения напочвенного покрова и древесного яруса.

Черный углерод (Black carbon – BC), или углерод пирогенного происхождения (PyC) образуется в результате неполного сгорания биомассы и ископаемого топлива. PyC обнаруживается почти повсюду благодаря атмосферному переносу и его высокой стойкости в окружающей среде. В настоящее время PyC рассматривается как один из наиболее стабильных пулов углерода. Считается, что PyC может сохраняться в почвах достаточно длительное время – до нескольких тысяч лет. Благодаря этому во многих современных работах он является важным пулом по секвестрированию углерода из атмосферы. Именно с ним связаны «перспективы» по сглаживанию влияния растущей концентрации углекислого газа в атмосфере (Forbes et al., 2006).

Содержание PyC определяют различными методами, однако последние мировые оценки основаны на методе определения бензолполикарбоновых кислот (БПКК) (Jones et al., 2020), при этом данные, касающиеся содержания PyC в торфяных почвах на территории европейского Севера, отсутствуют. В связи с этим цель данной работы заключалась в оценке содержания PyC методом определения БПКК в торфяной почве.

Полевые исследования проводили в августе 2019 г. В качестве объекта был подобран торфяник, развивающийся под сосняком багульниково-сфагновым в окрестностях национального парка «Кой-

городский». Согласно почвенно-географическому районированию, данная территория находится на границе среднетаежного Луза-Сысольского округа подзолистых и болотно-подзолистых почв и южно-таежного Летского округа дерново-подзолистых почв (Атлас почв..., 2010). Почва отнесена к торфяно-олиготрофной, представляет собой торфяную залежь с мощностью торфа 115 см, подстилаемую суглинистым минеральным горизонтом. На ряде глубин были выявлены пирогенные торфяные горизонты ($T_{\text{пир}}$), характеризующиеся наличием углистых включений различного размера, что может свидетельствовать о прохождении пожара. Наиболее четко пирогенные признаки наблюдались на глубинах 10-15 и 90-115 см.

Определение кислот проводили согласно методике (Glaser et al., 1998). Определение БПКК включает в себя ряд этапов. Для удаления поливалентных металлов около 1 г почвы обрабатывали трифторуксусной кислотой при 105 °С в течение 4 ч. После охлаждения остаток несколько раз промывали деионизированной водой и сушили в течение 3 ч. Затем остаток переносили в реакторы и сжигали в азотной кислоте при 170 °С в течение 8 ч в микроволновой системе MARS-5. Далее смесь количественно переносили и фильтровали в мерные колбы объемом 25 см³. Затем аликвоты разбавляли деионизированной водой и добавляли лимонную кислоту в качестве первого внутреннего стандарта. Раствор пропускали через катионообменную смолу. Водные образцы подвергали сублимационной сушке и повторному растворению в метаноле. В качестве второго внутреннего стандарта добавляли 2.2'-дифенилдикарбоновой кислоты в метаноле. После сушки в атмосфере азота образцы дериватизировались в течение 2 ч при 90 °С с использованием BSTFA и TSIM в соотношении 49:1.

По результатам анализа выявлено преобладание Р_{уС} именно в пирогенных горизонтах (см. таблицу). Показано, что суммарное содержание БПКК изменяется от 0.7 до 18.4% от массы, что составляет 0.6 до 14.4% от общего содержания углерода в горизонтах почвы. Установлено, что при определении БПКК в основном преобладают меллитовая и бензолпентакарбоновая кислоты. Вероятно, пожары способствуют возрастанию пяти- и шестизамещенных кислот.

Расчет запасов Р_{уС} с учетом плотности сложения отдельных горизонтов позволил выявить следующие значения: 4.78 кг/м², если рассчитывать по всем восьми БПКК, или 4.36 кг/м², если рассчитывать по пяти- и шестизамещенным кислотам. Считается, что более корректная оценка содержания Р_{уС} основывается на содержании БПКК и меллитовой кислот, поскольку трех- и четырехзамещенные кислоты могут выделяться из растительного материала.

Содержание бензолполикарбонových кислот (БПКК) в исследуемой почве

Гори- зонт	Глу- бина, см	Бк3*			Бк4			Бк5	Бк6	Сумма	C _{БПКК} /C _{Общ}	Рус запасы	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			C ₁ -C ₆	C ₄ -C ₆
		%										%	кг/м ²
T1	0-10	0.01	0.06	0.00	0.06	0.06	0.07	0.23	0.21	0.70	0.65	0.026	0.022
T _{ср}	10-15	0.45	0.67	0.00	0.96	1.82	1.41	6.58	6.46	18.36	14.42	0.78	0.72
T2	15-30	0.01	0.10	0.00	0.09	0.10	0.11	0.67	0.57	1.65	1.36	0.21	0.19
T3	30-50	0.02	0.17	0.01	0.18	0.20	0.20	1.40	1.19	3.37	3.05	0.63	0.59
T4	50-70	0.02	0.08	0.01	0.11	0.16	0.13	0.53	0.63	1.67	1.37	0.34	0.32
T5	70-90	0.01	0.06	0.00	0.09	0.14	0.10	0.46	0.57	1.44	1.16	0.33	0.31
T6 _{ср}	90-105	0.05	0.15	0.00	0.27	0.41	0.38	0.82	0.71	2.79	2.39	1.79	1.64
T7 _{ср}	105-115	0.08	0.12	0.00	0.04	0.04	0.03	0.71	0.57	1.58	6.92	0.67	0.57
Сумма												4.78	4.36

Примечание: C_{БПКК} – содержание углерода БПКК в горизонте. * Цифрой указано число карбоксильных групп в составе БПКК. I – гемимеллитовая; II – тримеллитовая; III – триметиновая; IV – пиромеллитовая; V – меллофаниковая; VI – пренитовая; VII – бензолпентакарбонная; VIII – меллитовая кислоты.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 19-29-05111мк и гранта академических обменов DAAD, проект № 91760908.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас почв Республики Коми. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2010. 356 с.

Bento-Goncalves A., Vieira A., Ubeda X., Martin D. Fire and soils: Key concepts and recent advances // Geoderma, 2012. V. 191, P. 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004>

Forbes M.S., Raison R.J., Skjemstad J.O. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems // Sci. Total Environ, 2006. V. 370. P. 190–206. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.06.007>.

Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers // Organic Geochemistry, 1998. V. 29, P. 811–819.

Jones M.W., Coppola A.I., Santun C., Dittmar T., Jaffé R., Doerr S.H., Quine T.A. Fires prime terrestrial organic carbon for riverine export to the global oceans // Nat. Commun, 2020 V. 11. P. 2791. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16576-z>

ВЛИЯНИЕ ПИРОГЕНЕЗА НА ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОДЗОЛОВ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ

Д.А. Севергина¹, В.В. Старцев², И.Н. Кутявин², А.А. Дымов²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питиримы Сорокина
E-mail: severgina.darja@gmail.com

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Сосновые леса и формирующиеся под ними иллювиально-железистые подзолы в наибольшей степени подвержены воздействию низовых пожаров, так как песчаный и супесчаный состав почвообразующих пород способствует иссушению почв и подстилочных горизонтов, хорошему дренажу и созданию пожароопасных условий (Dymov et al., 2015). Несмотря на широкое распространение подзолов, работы по сравнению подзолов, формирующихся в различных регионах России, отсутствуют. Пожары способствуют изменению морфологического строения и кислотности лесных почв, изменяют характер распределения водорастворимых органических веществ, увеличивают вклад пирогенно-модифицированного органического вещества (Дымов и др., 2014).

Цель работы – оценка влияния пирогенного фактора на почвенное органическое вещество в подзолах сосняков Республики Коми и Красноярского края.

Было исследовано восемь разрезов подзолов иллювиально-железистых, формирующихся в постпирогенных сосняках лишайниковых Республики Коми (Печоро-Ильчский заповедник) и Красноярского края (международная обсерватория ZOTTO), пройденных пожарами в разные годы: 1, 23, 45, 79, 109, 113, 121 и 131 год назад.

Диагностику генетических горизонтов и почв осуществляли согласно «Полевому определителю почв России» (2008). Определение pH – с помощью Edge HI2002-02 pH-метра (Hanna Instruments, Румыния). Обменные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}) были экстрагированы 1M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ на механическом экстракторе (Sampletek, Mavco Industries Inc., Lawrenceburg, USA) согласно методическим рекомендациям (Van Reeuwijk, 2002). Содержание органического углерода и азота определяли на анализаторе EA-1110 (Carlo Erba) в ЦКП «Хроматография» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Денсиметрическое фракционирование проводили согласно методике Cerly et al. (2012). Содержание стабильных изотопов ^{13}C и ^{15}N определяли в Институте почвоведения университета Лейбница (Ганновер, Германия).

Исследованные подзолы характеризуются типичным морфологическим строением с выделением пирогенных признаков в генетических горизонтах. При низовых пожарах в первую очередь выго-

рает подстилка, в результате в почвах «молодых» гарей формируются пирогенный горизонт $Q_{\text{пыр}}$. Важную диагностическую роль в постпирогенных почвах играют углистые включения. Установлено, что признаки пирогенного воздействия сохраняются в почвах более 130 лет после пожара. Наличие углей в подстилках и подзолистых горизонтах выявлено во всех почвах.

Почвы сильноокислые, наименее кислой является почва однолетней гари ($\text{pH} = 4.7\text{--}5.8$) из-за насыщения зольными элементами, сокращения потока органических кислот и образования углей. По мере восстановления растительности показатели кислотности приближаются к сильно- и среднекислым значениям. При этом в «старых» постпирогенных почвах наблюдается уменьшение степени насыщенности основаниями. Выявлено увеличение содержания углерода (1.18–8.0%) и азота (0.06–0.21%) в подзолистых пирогенных горизонтах $E_{\text{пыр}}$, обусловленное обогащением продуктами пиролиза. Показано, что запасы углерода варьируют в пределах от 6 до 10 кг/м^2 . Вклад горизонта $E_{\text{пыр}}$ в общие запасы составляет значительную часть – от 12 до 32%.

В результате денсиметрического фракционирования выявлено, что для всех исследованных почв характерно преобладание тяжелой фракции $\text{ТФ}_{>1.6}$ в верхних горизонтах (до 95% масс.), доли легких фракций свободного ($\text{СОВ}_{<1.6}$) и окклюдированного ($\text{ООБ}_{<1.6}$) органического вещества значительно ниже – от 0.7 до 10.6% масс (см. таблицу). Однако основной пул органического вещества сосредоточен в лёгких фракциях (до 43.9%), в тяжелой фракции концентрация углерода от 0.1 до 0.5%.

Показаны различия по содержанию изотопов ^{13}C и ^{15}N в разных денсиметрических фракциях. Наиболее низкие концентрации

Содержание углерода и изотопов углерода и азота в денсиметрических фракциях

Участок/ Горизонт	$\text{СОВ}_{<1.6}$				$\text{ООБ}_{<1.6}$				$\text{ТФ}_{>1.6}$			
	масс, %	С, %	$d^{13}\text{C}$, ‰	$d^{15}\text{N}$, ‰	масс, %	С, %	$d^{13}\text{C}$, ‰	$d^{15}\text{N}$, ‰	масс, %	С, %	$d^{13}\text{C}$, ‰	$d^{15}\text{N}$, ‰
1 Еруг	6.9	13.9	-22.4	2.6	0.7	21.9	-22.0	3.1	92.9	0.1	-21.7	4.2
23 Еруг	10.5	15.9	-22.9	3.9	1.7	10.1	-22.4	6.0	88.4	0.1	-22.2	2.5
45 Еруг	2.7	0.02	-23.8	3.7	4.1	1.1	-23.0	3.6	94.0	0.1	-22.3	0.7
79 Еруг	2.3	21.5	-22.8	3.8	2.8	6.2	-22.6	5.0	95.5	0.1	-22.4	2.4
109 Еруг	7.3	27.4	-23.0	3.5	1.1	28.1	-23.3	4.4	91.1	0.3	-22.5	2.4
113 Еруг	6.0	13.9	-22.9	2.9	1.2	43.9	-23.0	2.8	93.5	0.5	-22.8	2.2
121 Еруг	3.1	13.5	-22.7	2.8	2.8	0.002	-22.7	3.1	94.4	0.1	-22.5	2.7
131 Еруг	10.6	27.8	-23.2	2.6	1.8	41.3	-23.2	2.7	87.7	0.5	-22.6	2.5

Примечание: масс, % – содержание фракции в почве.

выявлены для легких фракций $\text{COB}_{<1.6}$ ($-23.8...-22.4\%$) и $\text{OOB}_{<1.6}$ ($-23.3...-22.0\%$), несколько более высокие значения ^{13}C характерны для тяжелой фракции $\text{TФ}_{>1.6}$: от -22.8 до -21.7% .

Анализ стабильных изотопов позволил выявить наиболее высокие отношения ^{13}C на участке в первый год после пожара и его постепенное уменьшение с восстановлением растений napочвенного покрова после прохождения пожара, что характерно для всех выделенных денсиметрических фракций органического вещества. При этом стоит отметить, что данная зависимость не является линейной. Однако причины этого неясны: возможно, действует сразу несколько механизмов – преимущественное потребление лёгкого углерода микроорганизмами при деструкции опада, прогрессивное увеличение доли микробного углерода в почвенном углероде (Тиунов, 2007). По содержанию изотопа ^{15}N выявлены близкие закономерности. Накопление тяжёлого азота вызывается комплексом взаимосвязанных механизмов, в том числе преимущественной минерализацией, а затем потреблением корнями растений лёгкого изотопа, в результате чего органическое вещество почвы накапливает тяжёлый изотоп азота.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк гранта академических обменов DAAD, проект № 91760908.

ЛИТЕРАТУРА

- Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение, 2014. № 2. С. 144–154. doi 10.7868/S0032180X14020051
- Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.
- Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН. Сер. биол., 2007. № 4. С. 475–489.
- Dymov A.A., Gabov D.N. Pyrogenic alterations of podzols at the north-east European part of Russia: morphology, carbon pools, PAN content // Geoderma, 2015. T. 241–242. P. 230–237.
- Cerli C., Celi L., Kalbitz K., Guggenberger G., Kaiser K. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil – Testing for proper density cut-off and dispersion level // Geoderma, 2012. V. 170. P. 403–416. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.10.009

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ
НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ
КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ
ЦЕЛЕВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Р.Р. Шошина, И.В. Маньшина, А.Г. Молодык, В.Е. Иванова
ООО фирма «Экоаналитика»
Центра экологических и физико-химических исследований
E-mail: rerish@inbox.ru

Калужская область имеет обширную и разветвленную речную систему, состоящую в основном из малых рек, поэтому крайне затратно реализовать достаточную сеть государственных наблюдений, включающую створы в местах сброса сточных вод, проживания населения сельских и поселковых образований, фоновых, устьевых и приустьевых створов. При проведении государственного мониторинга невозможно выделить техногенную составляющую из довольно обширного набора показателей качества воды, регламентированных общероссийскими требованиями. Влияние природных факторов загрязнения водных объектов (например, факторов геологической среды региона) может быть довольно значительным и маскировать техногенную составляющую воздействия на водные объекты. В то же время именно сведения о техногенном загрязнении являются необходимыми для разработки мероприятий по охране и восстановлению рек.

В связи с этим целью работы является изучение влияния антропогенных и природных факторов на гидрохимический состав малых водотоков Калужской области.

Поставленная нами цель легла в основу оригинального концептуального подхода целевого регионального мониторинга поверхностных водных объектов, разработанного в рамках исполнения работ по государственному мониторингу водных объектов на территории Калужской области. За основу сведений о техногенном влиянии на состояние водотоков принимаются результаты производственного контроля предприятий. Вторым источником данных о состоянии водных объектов являются результаты, полученные в рамках государственного экологического мониторинга водных объектов из 19 устьевых створов мониторинга по 15 обязательным показателям: растворенный кислород, БПК, ХПК, фенолы, нефтепродукты, нитриты, нитраты, аммоний, хлориды, сульфаты, железо, медь, цинк, никель, марганец. Первичные данные являются открытыми и размещены на портале Администрации Калужской области

по адресу <http://old.admoblkaluga.ru/ecology/>. В процессе выполнения работ по государственному мониторингу рек было установлено, что железо и марганец относятся к компонентам природного происхождения. Это обусловлено следствием природно-геохимических особенностей территории Калужской области. Поэтому в оценке качества воды маскируется составляющая техногенного влияния на воду. В то же время именно информация об антропогенной составляющей загрязнения воды является для региона наиболее важной, поскольку позволяет планировать водоохранные мероприятия. В связи с этим была поставлена задача по выделению показателей, наиболее значимых по уровню содержания в сточных водах и по решению проблемы совместимости данных, получаемых различными водопользователями. При этом руководствовались следующим:

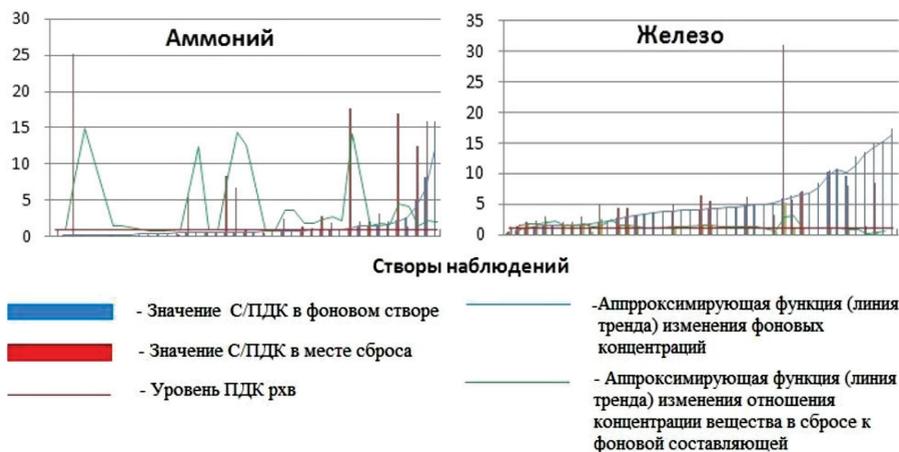
- выбранные показатели должны контролироваться всеми природопользователями и по ним должны быть значительные превышения ПДК_{рхв} в подавляющем большинстве створов;

- выбранные показатели должны определять основную долю валовой нагрузки на водотоки, а также иметь антропогенный характер;

- уровень значений техногенных показателей, выбранных на основании вышеуказанных критериев, должен быть выше по сравнению с их ПДК_{рхв} и естественным фоном в водном объекте.

Исходя из данного обоснования, при проведении государственного мониторинга водных объектов в Калужской области проведена работа по обобщению результатов отчетов 44 водопользователей для 16 наименований загрязняющих веществ (аммоний, нитриты, фосфаты, БПК, нефтепродукты, железо, АПАВ, взвешенные вещества, нитраты, сульфаты, хлориды, растворенный кислород, ХПК, цинк, медь, фенолы). Для этих веществ определено, что в большинстве сбросов водопользователей (82–100%) присутствуют аммоний, нитриты, фосфаты, БПК, нефтепродукты, железо, АПАВ, и значительная доля содержания этих показателей превышает допустимый уровень ПДК_{рхв} и естественные фоновые значения элементов. На рисунке показан пример соотношения уровней содержания аммония и железа в сточных водах к ПДК_{рхв} и их фоновому содержанию в водных объектах.

Из рисунка следует, что несмотря на то, что концентрации железа превышают установленные ПДК_{рхв}, они не превышают фоновых значений для территории региона. Поэтому, если будет учитываться концентрация железа при оценке техногенной доли загрязнения объекта, ухудшится показатель качества воды за счет значительной доли его (железа) фонового значения. При этом как отмеча-



Соотношение уровней содержания аммония и железа в сточных водах к ПДКрхв и их фоновому содержанию в водных объектах.

лось выше, высокое содержание железа и его сопутствующего компонента марганца в природных водах обусловлено геологическими особенностями территории Калужской области.

Таким образом, проведенный комплексный анализ и систематизация результатов позволили выявить оптимальный стандартный региональный набор антропогенных показателей, характерных для всех природопользователей, являющихся наиболее значимыми в загрязнении водных объектов: аммоний, нитриты, БПК, фосфаты, нефтепродукты, АПАВ. Обобщенные результаты оценки качества воды по региональным показателям в местах сброса сточных вод по данным 45 природопользователей показали, что качество воды в фоновых створах имеет градацию «условно чистая» – «слабо загрязненная». Качество воды в створах воздействия стоков на водные объекты сдвигается в сторону градаций «загрязненная» – «экстремально грязная». Это показывает, что недостаточно очищенные сточные воды в подавляющем числе случаев оказывают серьезное негативное воздействие на водные объекты в местах их сброса. Практическая реализация предложенного подхода позволила оценить экологическое состояние водотоков непосредственно в зоне проживания населения, что является одним из наиболее важных социальных факторов.

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

ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТА ЖИМОЛОСТИ ПАЛЛАСА
(*LONICERA PALLASII*) И ЦИАНИДИН-3-ГЛЮКОЗИДА
НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Д.А. Голубев, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: denismeatboy@gmail.com

В последние время люди начинают проявлять все больший интерес к здоровому питанию (Guasch-Ferré et al., 2017; Sandoval-Ramírez et al., 2020; Slavin, Lloyd, 2012), которое включает в себя разнообразные плоды растений. Последние способствуют не только профилактике некоторых заболеваний, но и увеличивают устойчивость организма к различным стрессовым воздействиям, способствуют увеличению продолжительности жизни (ПЖ). Благоприятное воздействие употребления плодов растений в пищу можно частично объяснить фенольными соединениями, содержащимися в них (Zhang, 2015), наиболее перспективным классом из которых являются антоцианы. Один из самых распространённых антоцианов в плодах растений – цианидин-3-глюкозид (ЦЗГ) (Yang et al., 2019). Плоды растения *Lonicera pallacii*, которое известно как жимолость Палласа (голубая), являются отличным источником антоцианов, а особенно ЦЗГ. Известно, что жимолость и ЦЗГ обладают широким спектром биологически активных свойств: противовоспалительное, антиоксидантное, нейрозащитное, антимикробное, противовирусное, антитромботическое и эпигенетическое действие (Tan et al., 2019).

Целью данной работы было изучить влияние экстракта жимолости и ЦЗГ на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster*. Для этого мы исследовали компонентный состав экстракта жимолости Палласа, оценили влияние ЦЗГ и экстракта жимоло-

сти в концентрациях 1, 10, 100 мкМ и 1 мМ на ПЖ дрозофил, их устойчивость к действию прооксиданта параквата, а также оценили возрастные изменения проницаемости кишечного барьера. Стоковый раствор экстракта жимолости был приготовлен в пересчете на эквивалентное содержание ЦЗГ в ягодах, оно составило 11.2 мг/мл, что соответствует 1 мМ концентрации ЦЗГ (табл. 1). Последующие концентрации были получены путем разбавления каждого последующего раствора в 10 раз. Сбор ягод проводили в осенний период (август-сентябрь) на территории Республики Коми на базе «Научной коллекции живых растений» (регистрационный № 507428) Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Образцы жимолости анализировали на системе ВЭЖХ Thermo Finnigan Surveyor, оснащенной диодно-матричным детектором (200-600 нм) и масс-селективным детектором (Thermo Fisher Scientific Inc., США). Детектирование проводили при длине волны 520 нм, скорости подачи элюента 1 мл/мин, времени анализа 40 мин в изократическом режиме. В качестве элюента использовали раствор ацетонитрила и 10%-ной муравьиной кислоты (7:93 (v/v) в воде. Колонка 4×250 мм с сорбентом Диасорб-130-С16Т (размер частиц 7 мкм). Для пробоподготовки 1 мг экстракта растворяли в 10 мл деионизированной воды, после чего полученный раствор наносили на подготовленный картридж с сорбентом Hypersep C18. Картриджи промывали 1 мл элюента, а затем 10 мл деионизированной воды. Масс-спектры получали с использованием масс-спектрометра Thermo Finnigan LCQ Fleet, оборудованного источником ионизации электрораспылением (Thermo Fisher Scientific Inc., США) в сочетании с ионизацией электрораспылением при кинетической энергии 40 эВ.

На поверхность питательной среды наносили экстракт жимолости и ЦЗГ в концентрациях 1, 10, 100 мкМ и 1 мМ. Мух содержали в стандартных условиях при температуре 25 °С, 12-часовом режиме освещения и 60%-ной влажности. Самцы и самки жили отдельно. По полученным данным анализировали параметры ПЖ.

Таблица 1

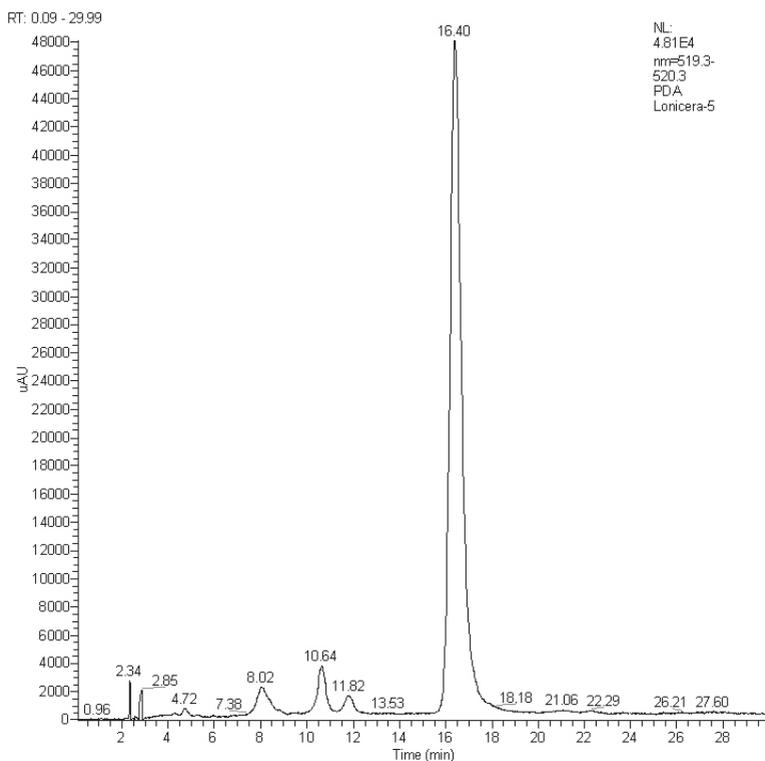
**Концентрация экстракта жимолости
в пересчете на содержание цианидин-3-глюкозида**

Концентрация цианидин-3-глюкозида, мг/мл	Концентрация экстракта цианидин-3-глюкозида, мг/мл
0.485 (1 мМ)	11.2 (1 мМ)
0.0485 (100 мкМ)	1.12 (100 мкМ)
0.00485 (10 мкМ)	0.112 (10 мкМ)
0.000485 (1 мкМ)	0.0112 (1 мкМ)

Нанесение исследуемых субстанций на поверхность питательной среды осуществляли в течение 10 сут., после чего проводили тесты на стрессоустойчивость. В качестве стресс-факторов применяли окислительный стресс, вызванный питательной средой, состоящей из 2% агары, 5% сахарозы и 20 мМ параквата (Sigma-Aldrich, США). На каждый вариант эксперимента использовали 120–150 особей. Самок и самцов анализировали раздельно.

Мух из контрольной и экспериментальной групп анализировали в возрасте четырех и девяти недель. Контрольных и опытных животных содержали в течение 16 ч на пищевой среде, содержащей 2.5% (масса/объем) синего пищевого красителя (Brilliant Blue FCF), после чего подсчитывали число окрашенных в синий цвет мух («Smurf») с нарушенной целостностью кишечника.

Методом ВЭЖХ получены хроматограммы экстрактов (см. рисунок) жимолости Палласа. Для анализа растений было приготовле-



Хроматограмма экстракта жимолости Палласа.

но спиртовое извлечение с целью изучения его компонентного состава с помощью ВЭЖХ. Пики и время удержания веществ определяли с помощью ВЭЖХ исследованием полученных фракций. Результаты исследования показали присутствие дельфинидина (10 мин), самбубиозида (12 мин), цианидина (16 мин), а также есть одно неидентифицированное вещество (8 мин).

Полученные результаты показали (табл. 2), что экстракт жимолости увеличивал медианную ПЖ самцов на 6% ($p < 0.01$) в концентрации 1 мкМ и на 7% ($p < 0.0001$) в концентрации 100 мкМ, а также максимальную ПЖ в концентрациях 100 мкМ на 8% ($p < 0.001$). Однако, экстракт жимолости в концентрациях 1 мкМ, 100 мкМ и 1 мМ снизил медианную ПЖ у самок на 3% ($p < 0.05$), но не оказал статистически значимых различий на максимальную ПЖ самок. Добавление ЦЗГ снижало медианную ПЖ самцов на 4% ($p < 0.01$) в концентрациях 1, 10 и 100 мкМ, но увеличивало макси-

Таблица 2

Влияние экстракта жимолости и ЦЗГ на ПЖ особей *Drosophila melanogaster*

Вещество	Вариант	Пол	М (сут)	dM, %	90% (сут)	d90%, %	N
Жимолость	Контроль	♂	55		64		295
	1 мкМ	♂	58	6*	66	3	305
	10 мкМ	♂	58	6*	66	3	293
	100 мкМ	♂	59	7***	69	8***	276
	1 мМ	♂	56	2	63	-2	257
	Контроль	♀	68		76		274
	1 мкМ	♀	68	0	74	-3	281
	10 мкМ	♀	66	-3*	73	-4	283
	100 мкМ	♀	66	-3*	74	-3	253
	1 мМ	♀	66	-3*	74	-3	243
Циана- идн-3-Глю- козид	Контроль	♂	57		65		388
	1 мкМ	♂	55	-4***	63	-3	144
	10 мкМ	♂	55	-4**	69	6**	143
	100 мкМ	♂	55	-4***	70	8***	145
	1 мМ	♂	55	-4	66	2	140
	Контроль	♀	65		74		410
	1 мкМ	♀	66	2	73	-1	140
	10 мкМ	♀	62	-5**	71	-4*	147
	100 мкМ	♀	66	2*	76	3	143
	1 мМ	♀	63.5	-2	73	-1*	146

Примечание. М – медианная продолжительность жизни (сут); 90% – возраст 90%-ной смертности (сут); dM и d90% – различия между медианной продолжительностью жизни и возрастом 90%-ной смертности у контрольных и экспериментальных мух соответственно (%). Различия статистически значимы при *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. При сравнении времени 90%-ной гибели особей использовали критерий Ванг-Аллисона, для медианной продолжительности жизни – критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона.

Таблица 3

Влияние экстракта жимолости и ЦЗГ на проницаемость кишечного барьера

Возраст	Вариант	Самцы				Самки			
		–	+	%	Ошиб-ка	–	+	%	Ошиб-ка
Четвертая неделя	Контроль	168	1	1%	0.006	206	3	1%	0.008
	Жимолость 100 мкМ	171	0	0%	0.000	175	2	1%	0.008
	ЦЗГ 100 мкМ	43	0	0%	0.000	98	1	1%	0.010
Девятая неделя	Контроль	64	2	3%	0.022	163	11	7%	0.020
	Жимолость 100 мкМ	51	1	2%	0.019	180	5	3%*	0.012
	ЦЗГ 100 мкМ	65	1	2%	0.015	130	7	5%	0.020

Примечание. «–» – количество неокрашенных мух, «+» – количество окрашенных мух («Smurf»), % – доля окрашенных мух, * $p < 0.05$ по точному критерию Фишера.

мальную ПЖ в концентрациях 10 и 100 мкМ на 6 и 8% ($p < 0.01$). У самок добавление ЦЗГ в основном уменьшало медианную и максимальную ПЖ: медианная ПЖ снижалась на 5% ($p < 0.01$) при концентрации 10 мкМ, при этом максимальная ПЖ снижалась на 4 и 1% ($p < 0.05$) при концентрации 10 мкМ и 1 мМ соответственно.

Добавление в пищу экстракта жимолости в эквиваленте 100 мкМ ЦЗГ и очищенного антоциана в той же концентрации дрозофилам в возрасте четырех и девяти недель привело к увеличению проницаемости кишечного барьера у самок в два раза (табл. 3). В остальных случаях значимых различий у самцов и самок не обнаружено.

В то же время в большинстве случаев экстракт жимолости и ЦЗГ повышали устойчивость дрозофилы к воздействию параквата (табл. 4). Медианная выживаемость у самцов, получавших экстракт жимолости, увеличилась на 9%, ЦЗГ не показал существенной разницы. Медианная ПЖ самок достоверно не различалась по сравнению с контролем. Обработка экстрактом жимолости и ЦЗГ увеличивала максимальную ПЖ у самцов на 7 и 4%. Однако у самок только ЦЗГ увеличивал максимальную ПЖ жизни на 19%, экстракт жимолости не показал значимых различий по сравнению с контролем.

Таблица 4

Влияние экстракта жимолости и ЦЗГ на устойчивость к окислительному стрессу, индуцированному паракватом

Вариант	Самцы					Самки				
	25%	50%	75%	90%	100%	25%	50%	75%	90%	100%
Контроль	36	45	52	59	72	47	60	76	86	116
Жимолость 100 мкМ	41	49*	58*	63*	95	52	66	85*	101	132
ЦЗГ 100 мкМ	42	46	58*	65*	83	46	62	80*	103*	136

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

Таким образом было выявлено, что наибольший положительный эффект был показан при концентрации экстракта жимолости и ЦЗГ в 100 мкМ. Экстракт жимолости и ЦЗГ в основном не оказывали негативного влияния на проницаемость кишечного барьера и в одном случае увеличили защиту в два раза. В большинстве случаев экстракт жимолости, так и ЦЗГ, увеличивал устойчивость самцов и самок дрозофил к параквату либо не оказывал негативного воздействия. Полученные данные показывают потенциал экстракта жимолости и ЦЗГ в качестве геропротекторных соединений.

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

ЛИТЕРАТУРА

Guasch-Ferre M., Merino J., Sun Q., Fito M., Salas-Salvado J. Dietary Polyphenols, Mediterranean Diet, Prediabetes, and Type 2 Diabetes: A Narrative Review of the Evidence // *Oxid. Med. Cell. Long.*, 2017. V. 2017. doi.org/10.1155/2017/6723931.

Sandoval-Ramirez B.A., Catalan U., Fernandez-Castillejo S., Pedret A., Llauro E., Sola R. Cyanidin-3-glucoside as a possible biomarker of anthocyanin-rich berry intake in body fluids of healthy humans: a systematic review of clinical trials // *Nutr. Rev.*, 2020. V. 78. № 7. P. 597–610.

Slavin J.L., Lloyd B. Health benefits of fruits and vegetables // *Adv. Nutr.*, 2012. V. 3. № 4. P. 506–516.

Tan J., Li Y., Hou D.X., Wu S. The Effects and Mechanisms of Cyanidin-3-Glucoside and Its Phenolic Metabolites in Maintaining Intestinal Integrity // *Antioxidants (Basel)*, 2019. V. 8. № 10. P. 479.

Yang L., Rong-rong C., Jili F., Ke Y. Total anthocyanins and cyanidin-3-O-glucoside contents and antioxidant activities of purified extracts from eight different pigmented plants // *Pharmacognosy Magazine*, 2019. V. 15. № 60. P. 124.

Zhang P.Y. Polyphenols in Health and Disease // *Cell Biochem. Biophys.*, 2015. V. 73. № 3. P. 649–664.

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ *DROSOPHILA KIKKAWAI* И *D. VIRILIS*

Н.В. Земская, Н.Р. Пакшина, Л.А. Коваль, Е.Ю. Платонова, М.В. Шапошников,
А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Email: zemnadezhd@gmail.com

Поиск геропротекторов – соединений, снижающих скорость старения и увеличивающих продолжительность жизни, – является одним из важных направлений биogerонтологии и профилактической

кой медицины. На сегодняшний день более 200 соединений продемонстрировали геропротекторные эффекты на модельных организмах, таких как дрожжи *S. cerevisiae*, нематода *C. elegans*, муха *D. melanogaster* и мышь *M. musculus*. Среди геропротекторов существуют вещества синтетического и природного происхождения. В настоящей работе рассмотрены два синтетических соединения (KU-60019 и NAC) и одно природное – экстракт черноплодной рябины (*Aronia melanocarpa*).

При клеточном старении функция лизосом ухудшается за счет фосфорилирования ν -АТФазы белком АТМ. Ингибитор KU-60019 подавляет активность АТМ, что способствует восстановлению митохондриальной функции, улучшается работа системы лизосом и аутофагии стареющих клеток (Kang, 2017). В связи с этим ингибитор АТМ KU-60019 можно рассматривать как потенциальный геропротектор. N-ацетил-L-цистеин (NAC) является сильным антиоксидантом, который увеличивает выработку глутатиона (GSH). Недавнее исследование продемонстрировало, что NAC защищает клетки, вызывая внутриклеточное производство H_2S и сульфановой серы (Ezerina, 2018). Результаты экспериментов предполагают потенциальную роль H_2S в долголетию и стрессоустойчивости в таких различных моделях, как дрожжи, черви, мухи и мыши (Kabil, 2011; Hine, 2015). Мы предположили, что добавление NAC может способствовать детоксикации свободных радикалов и стимулированию биосинтеза эндогенного H_2S , что будет способствовать увеличению продолжительности жизни (ПЖ) и стрессоустойчивости организма. Ягоды черноплодной рябины (*Aronia melanocarpa*) – богатый источник флавоноидов и антоцианов, которые обладают широким спектром положительных эффектов на здоровье и имеют большой геропротекторный потенциал. Одним из важных критериев, предъявляемых к геропротекторным соединениям, является воспроизводимость эффектов на разных моделях, в том числе и на долгоживущих. В связи с этим был проведен анализ геропротекторных эффектов (ПЖ и стрессоустойчивость) исследуемых веществ на особях видов рода *Drosophila* с разной ПЖ – короткоживущие (*D. kikkawai*) и долгоживущие (*D. virilis*).

Исследуемые вещества наносили на поверхность питательной среды в концентрациях 1 и 100 мкмоль/л KU-60019 и 5 мг/мл экстракт *Aronia melanocarpa* в растворе 96%-ного этанола; 1, 10 и 100 ммоль/л, 1, 10 и 100 мкмоль/л, 10 и 100 нмоль/л NAC в составе дрожжевой пасты. Изучали ПЖ при обработке всеми исследуемыми веществами и устойчивость дрозофил к действию прооксиданта параквата, гипертермии и голоданию после обработки KU-60019 и NAC.

Мы наблюдали увеличение медианной и максимальной ПЖ у самцов и самок *D. virilis* на 3-10% при концентрации КУ-60019 100 мкмоль/л ($p < 0.05$). При концентрациях 1 и 100 мкмоль/л наблюдали снижение медианной ПЖ самок *D. kikkawai* на 3% ($p < 0.001$) и максимальной ПЖ обоих полов до 12% ($p < 0.01$).

У особей *D. kikkawai* обработка КУ-60019 в обеих концентрациях вызывает снижение устойчивости к гипертермии (33 °C) до 47% ($p < 0.05$) у самцов и повышение устойчивости самок до 200% ($p < 0.05$). Медианное время выживаемости в условиях окислительного стресса (20 мМ паракват) повышается как у самцов (на 36%) после обработки 100 мкмоль/л КУ-60019, так и у самок на 28 и 16% после обработки 1 и 100 мкмоль/л КУ-60019 соответственно ($p < 0.05$). У *D. virilis* в условиях гипертермии предварительная обработка КУ-60019 вызывает увеличение медианного времени выживаемости у самцов (на 38% при 100 мкмоль/л КУ-60019) и самок (на 27 и 38% при 1 и 100 мкмоль/л КУ-60019 соответственно) ($p < 0.05$). Обработка самцов *D. virilis* КУ-60019 в концентрации 100 мкмоль/л приводит к увеличению медианного времени выживаемости в условиях окислительного стресса. В то же время было обнаружено снижение медианного времени выживаемости самок *D. virilis* в условиях голодания до 25% после обработки КУ-60019. В целом, в большинстве случаев КУ-60019 повышает выживаемость различных видов дрозофил в условиях гипертермии, окислительного стресса и голодания либо статистически значимо не влияет на данный показатель.

Влияние добавок НАС на медианную и максимальную ПЖ дрозофилы зависело от вида и пола. У *D. virilis* и *D. kikkawai* НАС увеличивал ПЖ обоих полов (за исключением самых высоких концентраций 10 и 100 ммоль/л), которые были токсичными и снижали как среднюю, так и максимальную ПЖ дрозофил в большинстве экспериментальных вариантов. Наибольший положительный эффект от добавления НАС, соответствующий увеличению средней ПЖ примерно на 30%, наблюдался у самцов *D. virilis* при концентрациях НАС ниже 10 ммоль/л. Эффект увеличения ПЖ при обработке НАС у других модельных организмов варьирует от 15–20% при обработке 10 г/л (приблизительно 60 ммоль/л) НАС у *M. musculus* (Flurkey, 2010) до 30.5% при обработке 5 ммоль/л НАС у *C. elegans* (Oh, 2015). Также нами было показано, что помимо увеличения продолжительности жизни добавление НАС положительно влияет на устойчивость к окислительному стрессу и голоданию, а при гипертермии увеличивает выживаемость особей *D. kikkawai*, но снижает ее у особей *D. virilis*.

Таким образом, НАС удовлетворяет критериям геропротектора с точки зрения воспроизводимости эффектов увеличения ПЖ у раз-

личных модельных организмов. Также нами установлено, что экстракт аронии в концентрации 5 мг/мл оказал негативный эффект на ПЖ короткоживущих особей *D. kikkawai* и привел к снижению медианной и максимальной ПЖ обоих полов до 15–24 и 6–8% соответственно. В то же время экстракт аронии не оказал статистически значимого эффекта на ПЖ долгоживущих самцов и самок *D. virilis*.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по темам «Молекулярно-генетические механизмы старения, продолжительности жизни и стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*» № АААА-А18-118011120004-5, «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов» № АААА-А19-119021590022-2, при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-515-51001.

ЛИТЕРАТУРА

Kang H. T., Park J. T., Choi K., Kim Y., Choi H. J. C., et al. Chemical screening identifies ATM as a target for alleviating senescence // Nat. Chem. Biol., 2017. V. 13. № 6. P. 616–623.

Hine C., Harputlugil E., Zhang Y., Ruckenstuhl C., Lee B.C., et al. Endogenous hydrogen sulfide production is essential for dietary restriction benefits // Cell, 2015. V. 160. № 1-2. P. 132–144.

Kabil H., Kabil O., Banerjee R., Harshman L.G., Pletcher, S.D. Increased transsulfuration mediates longevity and dietary restriction in *Drosophila* // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 2011. V. 108. № 40. P. 16831–16836.

Flurkey K., Astle C.M., Harrison D.E. Life extension by diet restriction and N-acetyl-L-cysteine in genetically heterogeneous mice // J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci., 2010. V. 65. № 12. P. 1275–1284.

Oh S.I., Park J.K., Park S.K. Lifespan extension and increased resistance to environmental stressors by N-acetyl-L-cysteine in *Caenorhabditis elegans* // Clinics (Sao Paulo), 2015. V. 70. № 5. P. 380–386.

Ezerina D., Takano Y., Hanaoka K., Urano Y., Dick T.P. N-Acetyl Cysteine Functions as a Fast-Acting Antioxidant by Triggering Intracellular H₂S and Sulfane Sulfur Production // Cell Chem. Biol., 2018. V. 25. № 4. P. 447–459.

ВЛИЯНИЕ ДЕЗОКСИНУКЛЕОТИДТРИФОСФАТОВ НА СТАРЕНИЕ-АССОЦИИРОВАННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Л.А. Коваль, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: lyubov.schilova@yandex.ru

С точки зрения биологии старение представляет собой процесс постепенного нарушения и потери важных функций организма или его частей, в частности, снижение показателей репродуктивной

функции (Gunes et al., 2016; Almeida et al., 2017), стрессоустойчивости (Alikhani et al., 2019; Semenchenko et al., 2004; Parsons, 1995), двигательной активности (Shin et al., 2018) и изменение поведенческих реакций (Altun et al., 2007). Вследствие старения организм становится менее приспособленным к условиям окружающей среды, уменьшает и теряет свою способность бороться с хищниками и противостоять болезням и травмам. На молекулярном уровне процесс старения заключается в изменении интенсивности репарации ДНК (Atamna et al., 2000; Cabelof et al., 2006), снижении транскрипционной и трансляционной активности (Anisimova et al., 2018) и нарушении внутриклеточных систем выработки энергии (Sun et al., 2016).

Одним из эффективных способов защиты от старения является контроль за питанием. С помощью регуляции количества и качества пищи можно влиять на скорость старения организма (Koval et al., 2021; Taormina et al., 2014).

В данном исследовании мы предположили, что дополнительное внесение предшественников нуклеиновых кислот дезокси-нуклеотидтрифосфатов (dNTP) – субстрата, который использует ДНК-полимераза для синтеза дочерних молекул ДНК в питание животных, – будет способствовать повышению эффективности работы системы репарации ДНК и приведет к продлению жизни *Drosophila melanogaster*, а также длительному поддержанию репродукции, двигательной активности и стрессоустойчивости.

Эксперимент проводили на плодовой мушке *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*. Особей каждого варианта содержали в термостате при 25 °C и 12-часовом режиме освещения в баночках объемом 100 мл с 25 мл агарно-дрожжевой питательной среды либо в пробирках объемом 20 мл с 5 мл агарно-дрожжевой питательной среды (в зависимости от задач эксперимента). С 30-го дня жизни питательную среду смазывали дрожжевой пастой с различным содержанием dNTP: 1) без добавления (контроль); 2) 50 нмоль/л; 3) 500 нмоль/л.

Для исследования продолжительности жизни на вариант эксперимента отбирали шесть баночек по 30 мух в каждой. Провели три независимых повторности. Самцы и самки жили отдельно. Два раза в неделю дрозофил пересаживали на свежую среду. Ежедневно проводили подсчет числа умерших мух. По полученным данным строили кривые выживаемости и подсчитывали медианную и максимальную продолжительность жизни. Для статистического сравнения распределения смертности в выборках применяли критерий Колмогорова-Смирнова. Для сравнения различий по медианной продолжительности жизни применяли критерий Гехана-Брес-

лоу-Вилкоксона. Достоверность различий по максимальной продолжительности жизни оценивали с помощью метода Ванг-Аллисона.

Для исследования плодовитости отбирали по 50 самок на вариант эксперимента, которых рассаживали в пробирки по пять особей вместе с пятью самцами. Раз в неделю мух пересаживали на свежую среду. Вели учет числа умерших самок. Раз в месяц самцов заменяли на молодых. Раз в неделю считали количество яиц, отложенных самками за одни сутки, и количество куколок, развившихся из яиц на 10-е сут. после кладки. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью критерия хи-квадрат.

Для оценки двигательной активности в каждом варианте эксперимента отбирали по 90 мух. Раз в неделю мух переносили на свежую среду. Двигательную активность самцов и самок оценивали отдельно. Измерения осуществляли с помощью аппаратно-программного комплекса *Drosophila Population Monitor (TriKinetics)*. Оценку спонтанной активности мух измеряли в течение 3 мин. Для проведения теста на отрицательный геотаксис мух предварительно стряхивали на дно пробирки и в течение 20 сек. проводили измерение. Этот тест повторяли трижды для каждой пробирки с интервалом в 10 сек. между измерениями. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью критерия хи-квадрат.

Для исследования стрессоустойчивости отбирали и культивировали особей как в эксперименте по продолжительности жизни. В течение семи дней начиная с 30-х сут. мух кормили дрожжевой пастой с добавлением dNTP, после чего подвергали окислительному стрессу, гипертермии или голоданию. Окислительный стресс индуцировали с помощью прооксиданта – параквата (Sigma). На фильтровальной бумагу наносили 20 ммоль/л раствора в 5%-ной сахарозе, на такой среде мух содержали при 25 °С до полной гибели выборки. Для оценки устойчивости к гипертермии использовали контрольную среду, однако мух содержали при 33 °С до полной гибели выборки. Для создания условий голодания особей содержали на смоченной дистиллированной водой фильтровальной бумаге при 25 °С до полной гибели выборки. Для оценки статистической значимости различий по стрессоустойчивости использовали критерий Фишера.

Исследования влияния добавления в пищу dNTP в концентрациях 50 и 500 нмоль/л на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S* показали отсутствие эффекта у самцов. Кривые выживаемости у самок, получавших dNTP, проходят ниже таковых у контрольной группы. Максимальная и медианная продолжительность жизни снижена по сравнению с группой контроль-

ных самок (рис. 1). Медианная продолжительность жизни снижена на 8.1 и 4.8 % у самок, получавших dNTP в концентрации 50 и 500 нмоль/л соответственно ($p < 0.01$, $p < 0.001$). Максимальная снижена на 8% при приеме 500 нмоль/л dNTP ($p < 0.001$).

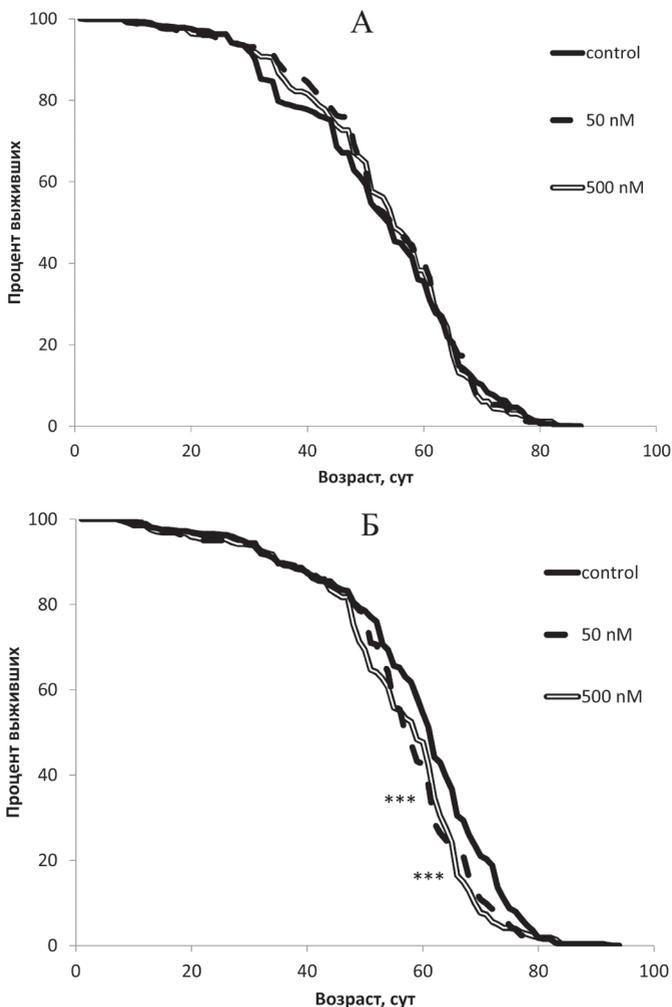


Рис. 1. Влияние dNTP в концентрациях 50 и 500 нМ на продолжительность жизни самцов (а) и самок (б) *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*; данные трех повторностей объединены; *** – $p < 0.001$ по критерию Колмогорова-Смирнова.

Таким образом, добавление в пищу dNTP не влияет на продолжительность жизни и не отсрочивает старение у самцов *Drosophila melanogaster*. Добавление самкам в пищу dNTP в концентрации 50 и 500 нмоль/л снижает продолжительность жизни и ускоряет старение самок дрозофил.

Одной из главнейших задач геронтологии является увеличение качества жизни. К одному из критериев, по которому можно его судить, относится длительность поддержания репродукции. Поэтому было изучено изменение плодовитости дрозофил после воздействия dNTP в разных концентрациях. У самок, получавших с пищей dNTP, по сравнению с самками, не получавших его, плодовитость была выше большую часть жизни (рис. 2). С 30-го дня жизни

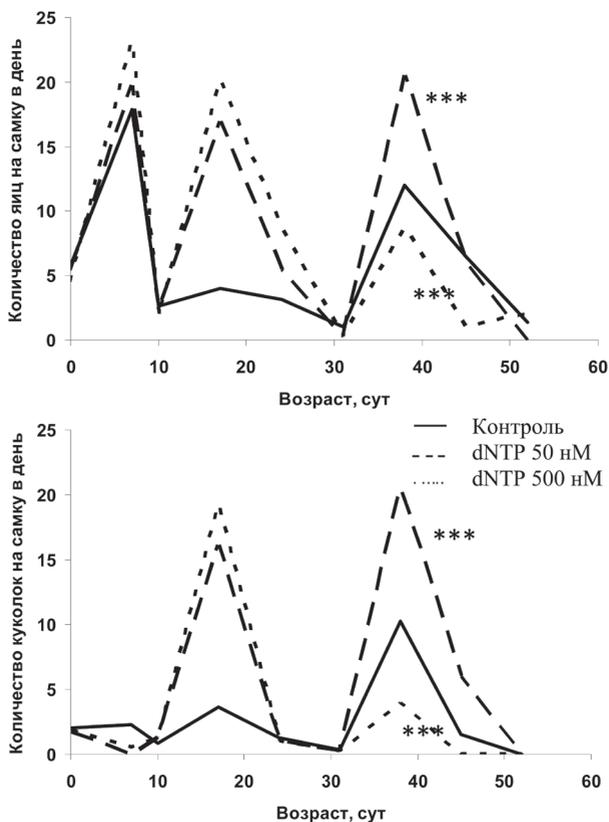


Рис. 2. Влияние dNTP на плодовитость самок *Drosophila melanogaster*, *** – $p < 0.001$ по критерию хи-квадрат.

ни в среднем количество яиц на самку, отложенных за одни сутки, повышено в 1.3 раза при добавлении dNTP в концентрации 50 нмоль/л и понижено в 0.6 раза при добавлении dNTP в концентрации 500 нмоль/л по сравнению с контрольными самками ($p < 0.001$). Количество куколок на самку изменилось в 2.0 и 0.35 раза соответственно ($p < 0.001$).

Таким образом, добавление в пищу dNTP в концентрации 50 нмоль/л повышает плодовитость самок *Drosophila melanogaster*, а dNTP в концентрации 500 нмоль/л – понижает.

Динамика двигательной активности также является возраст-зависимой характеристикой. Двигательная активность у самок, получавших dNTP в питательной среде, одинакова по сравнению с самками, не получавшими его на протяжении всей жизни, как по показателю спонтанной динамики активности, так и по тесту на отрицательный геотаксис. В то же время тест на спонтанную активность самцов показал ее снижение при добавлении dNTP в концентрации 50 нмоль/л ($p < 0.001$). При добавлении dNTP в концентрации 500 нмоль/л достоверных различий не выявлено. Тест на отрицательный геотаксис не выявил достоверных различий двигательной активности у самцов, получавших и не получавших dNTP.

Таким образом, добавление в пищу dNTP существенно не повлияло на показатели двигательной активности у самцов и самок *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*.

Устойчивость к любому физическому стрессу коррелирует с продолжительностью жизни и скоростью старения у многих видов. Например, долгоживущие особи часто имеют повышенную устойчивость к действию стрессоров (Lin et al., 1998; Amrit et al., 2010). Обратное также верно: короткоживущие мутанты различных модельных организмов гиперчувствительны к действию стрессоров (Moskalev, 2007). Было обнаружено, что добавление в пищу dNTP привело к снижению выживаемости самцов в условиях голодания. Наблюдали снижение выживаемости на 25% ($p < 0.01$) у особей, получавших dNTP в концентрации 500 нмоль/л через 24 ч после начала голодания (рис. 3). С другой стороны, добавление dNTP в концентрации 500 нмоль/л привело к повышению выживаемости самцов в 2.6 раза через 48 ч после начала воздействия окислительного стресса ($p < 0.0001$). У самок наблюдали повышение устойчивости к голоданию к 48-му ч в 1.4 раза при воздействии dNTP в концентрации 50 нМ ($p < 0.05$) (рис. 3). В остальных вариантах исследования добавление в пищу dNTP не оказало достоверного влияния на показатели стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*.

Различия в реакции самцов и самок на добавление в пищу dNTP могут быть связаны с физиологическими особенностями разных по-

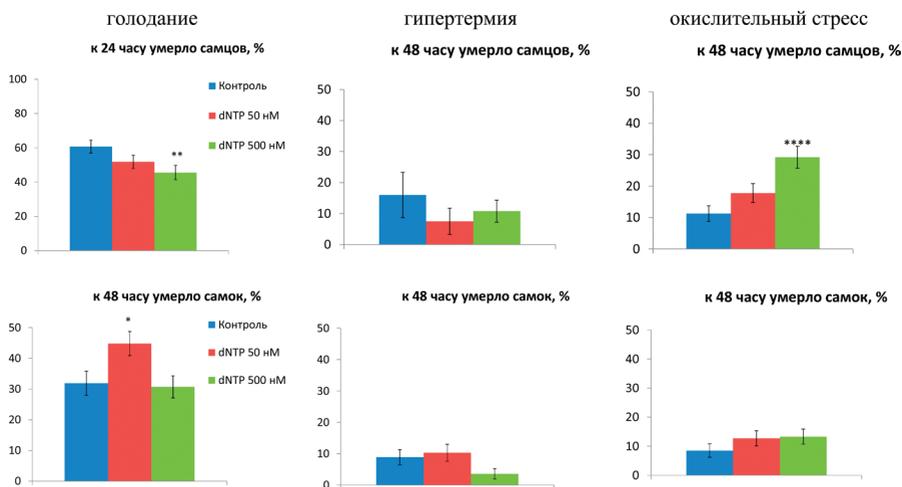


Рис. 3. Влияние dNTP на стрессоустойчивость особей *Drosophila melanogaster*; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, **** $p < 0.0001$ по критерию Фишера.

лов (Regan, Partridge, 2013). Реакция по продолжительности жизни, зависящая от пола, регулируется осью гормон роста / инсулиноподобный фактор роста 1 (GH-IGF1), mTOR (Garratt, 2020). Самки потребляют большее количество пищи, в результате чего они могли съедать и большее количество dNTP. Также возможно, что с возрастом у самок не так выражено снижается активность биосинтеза нуклеотидов. В связи с этим избыточные нуклеотиды накапливались в организме и приводили к токсическому эффекту, который привел к укорочению жизни. Избыток дезоксинуклеотидтрифосфатов в клетке также губителен, как и его недостаток. Например, у человека при их избыточном содержании может развиваться подагра. В мышцах и суставах таких больных обнаружены кристаллы мочевой кислоты. Мочевая кислота – продукт детоксикации нуклеотидов. Также полученные результаты согласуются с теорией Кирквуда (Kirkwood, 1977). В 1977 г. он сформулировал теорию расходуемой сомы, согласно которой при благоприятных условиях организм расходует энергию на поддержание жизнеспособности для увеличения длительности репродуктивной жизни, а при неблагоприятных условиях выгоднее направить ресурсы на быстрое размножение, чтобы успеть оставить потомство до своей гибели. Прием dNTP с питательной средой, с одной стороны, мог вызвать токсический эффект из-за избыточных количеств dNTP. Однако, с другой стороны, добавление в питательную среду dNTP могло стимулировать плодовитость, что

согласно теории расходуемой сомы привело к истощению энергии на поддержание жизнеспособности организма и снизило продолжительность жизни самок дрозофил.

Полученные данные свидетельствуют о том, что дезоксирибонуклеотидтрифосфаты не влияют на показатели продолжительности жизни самцов *Drosophila melanogaster*, но при этом снижают двигательную активность и устойчивость к голоданию. Дезоксирибонуклеотидтрифосфаты укорачивают жизнь самок *Drosophila melanogaster*, при этом может либо повышаться, либо понижаться плодовитость, двигательная активность не изменяется. Также у самок добавление в пищу dNTP привело к повышению устойчивости к голоданию.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-75-00043 «Исследование геропротекторных свойств метаболитов цикла Кребса на модели *Drosophila melanogaster*».

ЛИТЕРАТУРА

Alikhani S., Sheikholeslami-Vatani D. Oxidative stress and anti-oxidant responses to regular resistance training in young and older adult women // *Geriatr. Gerontol. Int.*, 2019. V. 19. №. 5. P. 419–422.

Almeida S., Rato L., Sousa M., Alves M.G., Oliveira P.F. Fertility and Sperm Quality in the Aging Male // *Curr. Pharm. Des.*, 2017. V. 23. №. 30. P. 4429–4437.

Altun M., Bergman E., Edstrom E., Johnson H., Ulfhake B. Behavioral impairments of the aging rat // *Physiol Behav.*, 2007. V. 92. № 5. P. 911–923.

Amrit F.R., Boehnisch C.M., May R.C. Phenotypic covariance of longevity, immunity and stress resistance in the caenorhabditis nematodes // *PLoS One*, 2010. V. 5. №. 4. P. e9978.

Anisimova A.S., Alexandrov A.I., Makarova N.E., Gladyshev V.N., Dmitriev S.E. Protein synthesis and quality control in aging // *Aging (Albany NY)*, 2018. V. 10. №. 12. P. 4269.

Atamna H., Cheung I., Ames B.N. A method for detecting abasic sites in living cells: age-dependent changes in base excision repair // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2000. V. 97. №. 2. P. 686–691.

Cabelof D.C., Raffoul J.J., Ge Y., Van Remmen H., Matherly L.H., Heydari A.R. Age-related loss of the DNA repair response following exposure to oxidative stress // *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 2006. V. 61. №. 5. P. 427–434.

Garratt M. Why do sexes differ in lifespan extension? Sex-specific pathways of aging and underlying mechanisms for dimorphic responses // *Nutrition and Healthy Aging*, 2020. V. 5. №. 4. P. 247–259.

Gunes S., Hekim G.N., Arslan M.A., Asci R. Effects of aging on the male reproductive system // *J Assist. Reprod. Genet.*, 2016. V. 33. №. 4. P. 441–454.

Kirkwood T.B. Evolution of ageing // *Nature*, 1977. V. 270. №. 5635. P. 301–304.

Koval L., Zemskaya N., Aliper A., Zhavoronkov A., Moskalev A. Evaluation of the geroprotective effects of withaferin A in *Drosophila melanogaster* // *Aging* (Albany NY), 2021. V. 13. №. 2. P. 1817.

Lin Y.J., Seroude L., Benzer S. Extended life-span and stress resistance in the *Drosophila* mutant methuselah // *Science*, 1998. V. 282. №. 5390. P. 943–946.

Moskalev A. Radiation-induced life span alteration of *Drosophila* lines with genotype differences // *Biogerontology*, 2007. V. 8. №. 5. P. 499–504.

Parsons P.A. Inherited stress resistance and longevity: a stress theory of ageing // *Heredity* (Edinb), 1995. V. 75. №. 2. P. 216–221.

Regan J.C., Partridge L. Gender and longevity: why do men die earlier than women? Comparative and experimental evidence // *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, 2013. V. 27. №. 4. P. 467–479.

Semenchenko G.V., Khazaeli A.A., Curtsinger J.W., Yashin A.I. Stress resistance declines with age: analysis of data from a survival experiment with *Drosophila melanogaster* // *Biogerontology*, 2004. V. 5. №. 1. P. 17–30.

Shin C.N., Lee Y.S., Belyea M. Physical activity, benefits, and barriers across the aging continuum // *Appl. Nurs. Res*, 2018. V. 44. P. 107–112.

Sun N., Youle R.J., Finkel T. The Mitochondrial Basis of Aging // *Mol Cell*, 2016. V. 61. №. 5. P. 654–666.

Taormina G., Mirisola M.G. Calorie restriction in mammals and simple model organisms // *Biomed Res Int*, 2014. V. 2014.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД *EMPETRUM NIGRUM* L. И *VACCINIUM ULIGINOSUM* L. НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Д.В. Кукумань, Д.А. Голубев, А.А. Москалев
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kukuman@ib.komisc.ru

Водяника черная (*Empetrum nigrum* L.) и голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.) относятся к семейству вересковых (*Ericaceae*). Эти виды встречаются во всех регионах Северного полушария. Ягоды этих растений обладают высокой антиоксидантной активностью и относятся к одним из лучших диетических источников биологически активных веществ, большая часть которых – флавонолы и антоцианы (Растительные ресурсы, 2009). Антоцианы проявляют противовоспалительную и противоопухолевую активность, способствуют укреплению здоровья и профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, а также улучшают когнитивные функции мозга (Zafra-Stone, 2007).

Целью данной работы было оценить влияние экстрактов ягод голубики обыкновенной и водяники черной на продолжительность жизни (ПЖ) на модели *Drosophila melanogaster*.

Плоды голубики и водяники были собраны в Печорском районе около р. Кожва в 2019 г. Эксперименты проводили на особях *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*, которые содержались в климатических камерах при постоянных условиях (25 °С и 12-часовом режиме освещения). На каждый вариант эксперимента отбирали 120–150 особей. Самки и самцы жили отдельно по 30 особей в пробирке. Полученные этанольные антоциановые ягодные экстракты доводили 96%-ным этанолом до концентраций 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 мг/мл. Экстракты в исследуемых концентрациях наносились на поверхность питательной кукурузной среды (Xia et al., 2016) в объеме 30 мкл. В качестве контроля на среду наносили 30 мкл 96%-ного этанола.

Эксперимент с экстрактом водяники черной проводили в двух независимых биологических повторностях. Показано, что ее экстракт в концентрациях 1 и 2.5 мг/мл вызывает увеличение медианной ПЖ самок на 6% ($p < 0.05$) и 11% ($p < 0.001$) соответственно. У самцов наблюдали увеличение медианной ПЖ на 5% при концентрациях экстракта в 0.01 и 1 мг/мл ($p < 0.001$ и $p < 0.05$ соответственно) и на 4% при концентрации 0.1 мг/мл ($p < 0.05$) (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние экстракта *Empetrum nigrum* L.
на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster***

Концентрация экстракта	Пол	М, сут.	dM, %	Тест Мантель-Кокса	Критерий Гехана-Вилкоксона	90%	d90%	Тест Ванг-Аллисона	N
Контроль	♀	64				79			279
0.01 мг/мл	♀	66	4	$p > 0.05$	$p > 0.05$	81	3	$p > 0.05$	284
0.1 мг/мл	♀	68	6	$p > 0.05$	$p > 0.05$	78	-1	$p > 0.05$	277
1.0 мг/мл	♀	68	6	$p < 0.05$	$p > 0.05$	75	-5	$p < 0.0001$	269
2.5 мг/мл	♀	71	11	$p < 0.01$	$p < 0.001$	81	3	$p > 0.05$	288
5.0 мг/мл	♀	68	6	$p > 0.05$	$p > 0.05$	78	-1	$p > 0.05$	273
Контроль	♂	57				65			288
0.01 мг/мл	♂	60	5	$p < 0.001$	$p < 0.01$	69	6	$p > 0.05$	287
0.1 мг/мл	♂	59	4	$p < 0.05$	$p > 0.05$	68	5	$p > 0.05$	284
1.0 мг/мл	♂	60	5	$p < 0.01$	$p < 0.01$	65	0	$p > 0.05$	281
2.5 мг/мл	♂	59	4	$p > 0.05$	$p > 0.05$	65	0	$p > 0.05$	291
5.0 мг/мл	♂	58	2	$p > 0.05$	$p > 0.05$	65	0	$p < 0.05$	275

Примечание. Здесь и в табл. 2: М – медианная ПЖ (сут.); dM – различия по медианной ПЖ (%); 90% – возраст 90%-ной смертности (сут.); d90% – различия по возрасту 90%-ной смертности (%); N – количество особей в выборке; ♀ – самки, ♂ – самцы. Представлены объединенные данные двух повторностей.

Таблица 2

**Влияние экстракта *Vaccinium uliginosum* L.
на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster***

Концентрация экстракта	Пол	М, сут.	dM, %	Тест Мантель-Кокса	Критерий Гехана-Вилкоксона	90%	d90%	Тест Ванг-Аллисона	N
Контроль	♀	65				77			735
0.01 мг/мл	♀	67	3	p > 0.05	p > 0.05	75	-3	p < 0.0001	450
0.1 мг/мл	♀	65	0	p > 0.05	p > 0.05	76	-1	p > 0.05	446
1.0 мг/мл	♀	68	5	p < 0.01	p < 0.01	78	1	p < 0.001	411
2.5 мг/мл	♀	66	2	p > 0.05	p > 0.05	78	1	p < 0.01	409
5.0 мг/мл	♀	67	3	p > 0.05	p > 0.05	78	1	p < 0.05	373
Контроль	♂	62				70			729
0.01 мг/мл	♂	62	0	p > 0.05	p > 0.05	68	-3	p > 0.05	445
0.1 мг/мл	♂	63	2	p > 0.05	p > 0.05	67	-4	p > 0.05	422
1.0 мг/мл	♂	64	3	p < 0.0001	p < 0.001	73	4	p < 0.0001	427
2.5 мг/мл	♂	61	-2	p < 0.0001	p > 0.05	74	6	p < 0.0001	409
5.0 мг/мл	♂	58	-7	p < 0.01	p > 0.05	74	6	p < 0.0001	394

Влияние экстракта голубики обыкновенной на ПЖ *D. melanogaster* было изучено в трех независимых биологических повторностях. Эксперименты показали, что у самок ее экстракт в концентрации 1 мг/мл приводит к увеличению медианной и максимальной ПЖ на 5% (p < 0.01) и 1.3% (p < 0.001) соответственно, а у самцов на 3% (p < 0.0001) и 4% (p < 0.0001) соответственно. Экстракт в концентрациях 2.5 и 5 мг/мл увеличивает параметры максимальной ПЖ у самок на 1.3% (p < 0.05) и у самцов на 6% (p < 0.0001). Однако наблюдается и отрицательный эффект на показатели ПЖ дрозофил. Так, у самок наименьшая исследуемая концентрация 0.01 мг/мл приводила к снижению максимальной ПЖ на 3% (p < 0.0001). У самцов концентрации 2.5 и 5 мг/мл приводили к снижению медианной ПЖ на 2% (p < 0.0001) и на 7% (p < 0.01) соответственно (табл. 2).

Результаты свидетельствуют, что экстракты *Empetrum nigrum* и *Vaccinium uliginosum* обладают геропротекторным потенциалом на модели *Drosophila melanogaster*. В связи с этим требуются дальнейшие исследования данных экстрактов на дрозофилах для изучения качества жизни и выявления механизмов воздействия на качество жизни: стрессоустойчивость, двигательная активность, проницаемость кишечного барьера.

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

ЛИТЕРАТУРА

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

Zafra-Stone S. et al. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention // *Molecular nutrition & food research*, 2007. V. 51. №. 6. P. 675–683.

ПРОБОПОДГОТОВКА ВОЛОС ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА МЕТОДОМ ИСП-МС

М.Б. Малышева, Д.С. Бернадская, И.Р. Елизарова

Институт проблем промышленной экологии Севера Карельского НЦ РАН
E-mail: tryam1977@mail.ru

Исследование биосубстрата волос необходимо для комплексного подхода в профилактике дисбаланса микро- и макроэлементов в регионах с различными климатогеографическими условиями и уровнем антропогенной нагрузки, что очень важно для оценки влияния изменений экологической обстановки и разработки стратегии укрепления здоровья и иммунитета человека. В условиях современного напряженного эпидемиологического фактора это становится особенно актуально.

Волосы отражают уровень поступления химических элементов в организм человека, дают информацию о сбалансированности биохимических процессов в организме и являются доступным для массовых исследований биосубстратом. Химический состав волос – маркер экологического состояния территории, он может использоваться как индикатор природно-техногенной обстановки, поскольку отражает региональные особенности в накоплении элементов на территории проживания.

Существуют различные методики пробоподготовки волос для элементного анализа. Основные литературные источники (Серегина, 2010) содержат сведения о применении для минерализации проб микроволнового разложения, другие (Дробышев, 2016) предлагают многооперационное открытое кислотное разложение с использованием специальной посуды и лабораторной пленки. Второй вариант приводит к потере летучих компонентов (As, B, Hg, Se), которые важны для оценки потенциального вреда здоровью и техногенного воздействия на человека.

Анализ биосубстрата волос с определением летучих компонентов крайне востребован, но его массовое применение сдерживает лабораторная практика, требующая наличия дорогостоящих систем микроволнового разложения. Мы поставили задачу предложить альтерна-

тивный вариант закрытого кислотного способа разложения проб волос без использования микроволнового излучения. Было предложено использование стерильных полипропиленовых градуированных пробирок на 10 мл Ахуген SCT-10ML-S с плотно закручивающейся пробкой, пригодных для автоклавирования при температуре 121 °С (<https://labsupply.ru/probirki/66-probirki-10-ml-pp-rezbovye-konicheskie-s-yubkoj-s-kryshkoj-sterilnye-25-shtup-axygen-sct-10ml-s.html>).

Для анализа были отобраны пробы волос жителей Мурманской области (города Апатиты и Кировск) разного возраста, мужского и женского пола. Процедура пробоподготовки включала в себя следующие операции:

- 1) промывка пробы в ацетоне квалификации ос.ч, марка 9-5 ОП-2 ТУ 2633-032-78119972-11, промывной раствор сливали;
- 2) обезжиривание ацетоном пробы в течение 15-20 мин;
- 3) высушивание до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре;
- 4) взятие навески массой 20–50 мг;
- 5) добавление в пробирку с навеской пробы волос 2 мл концентрированной HNO_3 (перегнанной из кислоты квалификации ос.ч) и H_2O_2 квалификации ос.ч;
- 6) выдерживание в пробирке с азотнокислым раствором и плотно завинченной крышкой при комнатной температуре 2–10 ч;
- 7) нагрев пробирки с пробой в течение 2 ч с плотно завинченной крышкой при термостатировании на водяной бане в сушильном шкафу, $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$;
- 8) охлаждение до комнатной температуры и доведение до объема 10 мл 2% HNO_3 .

После проведения процедуры № 6 через несколько минут наблюдали обесцвечивание волос, их размягчение и окрашивание раствора в желтый цвет, что характерно для реакции взаимодействия азотной кислоты с белками. При завершении процедуры выдерживания пробы в азотнокислом растворе в зависимости от длительности выдерживания менялось содержание нерастворенной пробы в растворе и интенсивность желтого окрашивания в сторону обесцвечивания раствора. Процедура № 7 приводила к полному растворению пробы без осадка, раствор обесцвечивался.

Для приготовления 2% HNO_3 использовали деионированную воду, очищенную в системе очистки воды Ultra Clear TP UV UF TM (Evoqua, Германия), электросопротивление 18.2 МОм. В качестве контрольного раствора (холостая проба, бланк) использовали раствор 2 мл HNO_3 с 1 мл H_2O_2 , разбавленный 2% HNO_3 с тем же фактором разбавления, что и растворы пробы. Градуировочные графики получали при анализе растворов многоэлементного калибровоч-

ного стандарта для ИСП-спектроскопии ICP-MS-68A-100 Solution A и Solution B, PerkinElmer. Пробы разбавляли с фактором разбавления от 1 до 10. Анализ методом ИСП-МС проводили на спектрометре ELAN 9000 (PerkinElmer, США). Так как мы не имели стандартного образца волос человека, то правильность построения градуировочных характеристик проверяли по результатам анализа ГСО 8923-2007, а контроль стабильности градуировки – по результатам анализа растворов градуирования.

Правильность проведения анализа проверяли методом добавки, для этого аликвоты 0.01–0.02 мл Standard Solution 68A(A) и

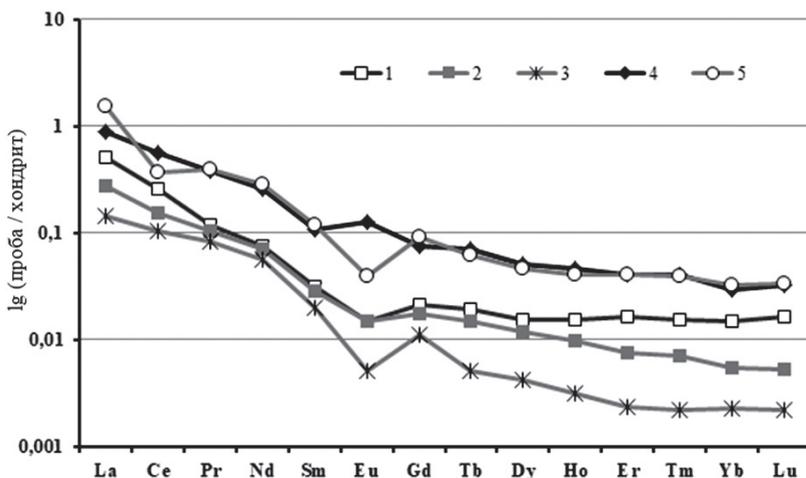
Элементный состав образцов волос

Элемент	Шифр пробы				
	1	2	3	4	5
Массовая доля, мкг/кг					
La	161.3	80.10	45.83	268.7	482.7
Ce	206.2	122.7	86.11	453.0	302.1
Pr	14.24	12.51	10.08	46.06	48.15
Nd	46.60	40.59	35.12	153.2	166.5
Sm	5.92	5.64	4.02	21.02	24.11
Eu	1.08	1.08	0.375	9.37	2.84
Gd	5.51	4.55	2.91	19.67	23.58
Tb	0.896	0.698	0.240	3.37	2.90
Dy	4.90	3.76	1.34	16.29	14.69
Ho	1.11	0.690	0.228	3.352	2.91
Er	3.41	1.56	0.489	8.54	8.58
Tm	0.501	0.229	0.0716	1.30	1.28
Yb	3.13	1.12	0.466	6.19	6.73
Lu	0.522	0.167	0.0703	1.03	1.08
Y	13.06	19.10	6.55	64.06	140.6
Pb	3110	2747	2651	3612	3201
Th	16.08	12.90	10.84	20.46	12.21
U	28.75	28.35	17.18	50.52	305.9
Hg	518.5	186.2	157.1	210.2	255.0
Массовая доля, мг/кг					
Ca	394.1	1099	312.0	408.6	1326
Si	68.66	179.3	111.9	98.37	50.88
Cu	13.08	16.22	19.78	11.77	10.01
Zn	190.6	141.0	181.3	41.02	337.2
Mg	60.16	768.4	136.0	60.42	81.00
Na	132.9	2757	702.7	337.9	60.24
K	43.11	895.0	968.9	293.4	12.23
Al	6.35	20.00	5.60	32.27	24.68
P	84.26	73.82	214.6	112.1	83.11
Mn	3.99	0.644	1.19	3.86	4.02

68A(B), PerkinElmer добавляли в пробирки к навеске пробы и в пробирку к контрольному раствору (холостой пробы). Контроль проводили как по концентрации добавки в контрольном растворе пробы, так и сопоставляя результаты определений в рабочих растворах, приготовленных для анализа для параллельных проб с добавкой и без добавки. Отклонения результатов анализа в обоих случаях не превышали 3–4%, для летучих компонентов не более 5%. Результаты анализа некоторых проб представлены в таблице.

Определение редкоземельных металлов в составе волос позволило получить распределение редкоземельных элементов в зависимости от изменения ионного радиуса (см. рисунок). Для этого проведено нормирование концентрации редкоземельных элементов в пробе волос на концентрацию РЗЭ в хондрите C1 (McDonough, Sun, 1995) так, как это обычно делают для получения таких распределений в геохимической практике для изучения геохимических процессов фракционирования, замещения и элементного обмена. Подобные распределения для биологического объекта могут дать новый интересный материал для изучения биохимических и биофизических процессов, протекающих в человеческом организме под воздействием окружающей среды.

Показано, что для анализа биосубстрата волос можно использовать метод пробоподготовки, исключающий использование системы микроволнового разложения, с закрытым кислотным разложением, обеспечивающим сохранение вещественного состава по лету-



Распределение РЗЭ в некоторых пробах (№ 1–5) волос человека, нормированное на состав хондрита C1 в порядке убывания ионного радиуса.

чим компонентам As, B, Hg, Se. Использование всего одной пробирки, с которой контактирует проба на этапе пробоподготовки, позволяет снизить возможность заражения проб. Полное переведение пробы волос в раствор позволило получить сведения по элементному составу, включая редкоземельные элементы.

ЛИТЕРАТУРА

Дробышев А.И., Рядчикова Н.А., Савинов С.С. Атомно-эмиссионный анализ волос человека на содержание микроэлементов // Журнал аналитической химии, 2016. Т. 71. № 7. С. 745–750.

Серегина И.Ф. Определение химических элементов в биологических жидкостях и диагностических субстратах детей методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Журнал аналитической химии, 2010. Т. 65. № 9. С. 986–994.

McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chem. Geol, 1995. V. 120. P. 223–253.

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ВОЗРАСТЗАВИСИМОЙ АКТИВАЦИИ АТМ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ

Н.Р. Пакшина, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: minikhanova.n.r@ib.komisc.ru

Наравне с многочисленными экспериментальными данными о решающей роли АТМ (серин/треонинная протеинкиназа) в таких процессах, как транскрипция, трансляция, репарация ДНК, апоптоз, недавно были получены сведения о его вкладе в клеточное старение (Chaudhary, 2014). Клеточное старение – явление, связанное с необратимой остановкой клеточного цикла, механизм которого направлен на предотвращение пролиферации клеток, подверженных малигнизации. При клеточном старении вакуолярная АТФаза (v-АТФаза), участвующая в регуляции активности лизосом, фосфорилируется белком АТМ, нарушая их функцию. Подавление активности АТМ ингибитором KU-60019 вызывает снижение фосфорилирования v-АТФазы, способствуя восстановлению митохондриальной функции, улучшая работу системы лизосом и аутофагии, а также стимулируя заживление ран у стареющих особей модельных видов животных (Kang, 2017). В связи с этим ингибитор АТМ KU-60019 можно рассматривать как потенциальный геропротектор.

У *Drosophila* описаны два белка ответа на повреждение из семейства киназ АТМ: MEI-41, который обладает наибольшим сход-

ством с ATR (Hari, 1995); CG6535/tefu, который сходен с АТМ человека (Pedersen, 2010), что позволяет использовать данную модель при оценке геропротекторных свойств KU-60019.

Для содержания дрозофил использовали климатические камеры Binder KBF720-ICH (Binder, Германия). Животных содержали при температуре 25 °С, относительной влажности воздуха 60% и 12-часовом режиме освещения. Состав питательной среды, на которой содержали контрольных и опытных животных при проведении всех экспериментов, был адаптирован из работы Xia и de Belle (Xia, 2016): вода – 1 л, кукурузная мука – 92 г, сухие дрожжи – 32.1 г, агар-агар – 5.2 г, глюкоза – 136.9 г.

Для изучения эффектов ингибитора АТМ наносили 30 мкл раствора KU-60019 (Sigma-Aldrich, США) в этиловом спирте в концентрациях 1 и 100 мкмоль/л на поверхность питательной среды дрозофил. На среду контрольной группы животных наносили 30 мкл этилового спирта.

У животных оценивали устойчивость к гипертермии (35 °С), окислительному стрессу и голоданию. При проведении эксперимента мух содержали на среде, содержащей 2% агар-агара и 5% сахарозы. В случае исследования устойчивости к окислительному стрессу в среду добавляли 20 ммоль/л парацета (#856177, Sigma-Aldrich). При оценке устойчивости к голоданию в питательную среду не добавляли сахарозу. В эксперименте использовали мух в возрасте 14 сут. Мух содержали в стресс-индуцируемых условиях до конца жизни. Для оценки динамики гибели мух по одной рассаживали в стеклянные капилляры диаметром 5 мм и анализировали в мониторе локомоторной активности DAM (*Drosophila* Activity Monitor, Trikinetics, США). Данные локомоторной активности от отдельных мух были объединены в 30-минутные периоды и проанализированы. Погибших мух идентифицировали по полному отсутствию локомоторной активности. На основании полученных данных было рассчитано время гибели по перцентилям (25, 50, 75 и 90 перцентилей) и построены кривые выживаемости. На каждый экспериментальный вариант анализировали по 32 самца и 32 самки. Каждый эксперимент повторяли не менее двух-трех раз.

Оценку возраст-зависимого изменения локомоторной активности проводили у мух в возрасте от одной до 10 недель с помощью аппаратно-программного комплекса LAM25 Locomotor Activity Monitor (TriKinetics Inc., США). Мух содержали в пробирках улучшенной прозрачности «*Drosophila* Vials, Narrow (KR)» (#32-118, Genesee Scientific, USA). Данные с монитора активности (количество срабатываний датчиков движения) записывали в течение 24 ч

и представляли в виде средней суточной активности на одну особь. Для анализа использовали по четыре-пять пробирок, каждую из которых считали повторностью эксперимента. В каждой пробирке содержали по 10 мух.

При анализе продолжительности жизни наблюдалось увеличение медианной продолжительности жизни у самок *D. melanogaster* на 3% при концентрации KU-60019 1 мкмоль/л ($p < 0.05$).

Поскольку стрессоустойчивость коррелирует с продолжительностью жизни, мы проводили оценку влияния ингибитора АТМ KU-60019 на выживаемость в условиях гипертермии (35 °C), окислительного стресса (параquat 20 ммоль/л) и голодания особей *D. melanogaster*. Показано, что у самцов и самок *D. melanogaster* обработка KU-60019 вызывает статистически значимое ($p < 0.001$) увеличение устойчивости к гипертермии. Медианное время выживаемости при этом увеличивается на 13% у самцов (после обработки KU-60019 в концентрациях 1 и 100 мкмоль/л) и на 7% у самок (после обработки KU-60019 в концентрации 100 мкмоль/л). Также у самцов *D. melanogaster* после обработки KU-60019 в концентрации 100 мкмоль/л наблюдается повышение устойчивости к голоданию (медианное время выживаемости увеличилось на 17%).

Поскольку локомоторная активность существенно снижается с возрастом, ее можно считать одним из показателей старения. Соединения с геропротекторным потенциалом могут замедлять снижение локомоторной активности и процесс старения. Однако показано, что обработка особей *D. melanogaster* KU-60019 не оказывает влияния на возраст-зависимое снижение локомоторной активности.

Таким образом, обработка ингибитором АТМ KU-60019 незначительно увеличила продолжительность жизни у самок и повысила устойчивость при гипертермии у обоих полов и при голодании у самцов, однако на возраст-зависимое снижение двигательной активности влияния не наблюдалось.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Молекулярно-генетические механизмы старения, продолжительности жизни и стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*» № АААА-А18-11 80-11120004-5.

ЛИТЕРАТУРА

Chaudhary M.W. Ataxia-telangiectasia: future prospects // Appl. Clin. Genet., 2014. V. 7. P. 159–167.

Hari K.L., Santerre A., Sekelsky J.J. et al. The mei-41 gene of *D. melanogaster* is a structural and functional homolog of the human ataxia telangiectasia gene // Cell, 1995. V. 82. P. 815–821.

Kang H., Park J., Choi K. et al. Chemical screening identifies ATM as a target for alleviating senescence // *Nat. Chem. Biol.*, 2017. V. 13. № 6. P. 616–623.

Pedersen M., Tiong S., Campbell S.D. Molecular genetic characterization of *Drosophila* ATM conserved functional domains // *Genome*, 2010. V. 53. № 10. P. 778–786.

Xia B., de Belle S. Transgenerational programming of longevity and reproduction by post-eclosion dietary manipulation in *Drosophila* // *Aging* (Albany NY), 2016. V. 8. №. 5. P. 1115.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ (*ARONIA MELANOCARPA*) И РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SORBUS AUCUPARIA*) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.Ю. Платонова^{1,2}, Н.В. Земская¹, М.В. Шапошников^{1,2}, А.А. Москалев¹

¹Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: Dega37@yandex.ru

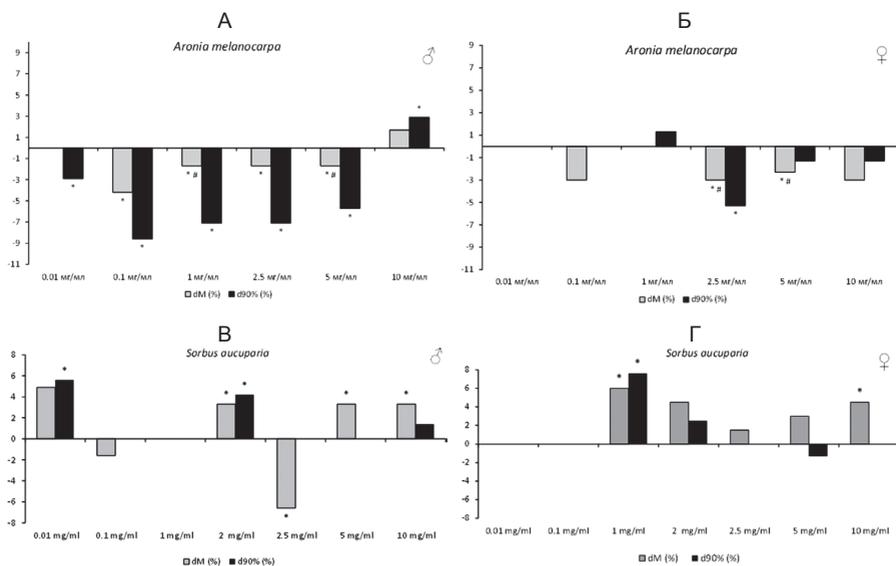
Арония черноплодная (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) – небольшие деревья семейства розовых (Rosaceae) (Lierpina, 2013), достигающие в высоту до 2 м. Их плоды содержат большое количество биологически активных веществ (флавоноиды, антоцианы и другие фенольные компоненты) (Растительные ресурсы, 2009), которые обладают многосторонним положительным эффектом на здоровье.

Целью работы являлось выявление геропротекторного потенциала ягодных экстрактов *Aronia melanocarpa* и *Sorbus aucuparia* на модели *Drosophila melanogaster*. Для реализации цели были поставлены следующие задачи: 1) оценить геропротекторный эффект этанольных экстрактов плодов аронии (АВЕ) и рябины обыкновенной (SBE) на продолжительность жизни (ПЖ) и стрессоустойчивость; 2) выявить зависимость геропротекторного эффекта от применяемых концентраций экстрактов на ПЖ и стрессоустойчивость.

Сбор материала проводился в осенний период (август-сентябрь) на территории Республики Коми на базе УНУ «Научной коллекции живых растений» Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, регистрационный № 507428. В экспериментах на дрозофилах использовали линию дикого типа *Canton-S* (#64349, Блумингтон, США). Мух содержали в камере постоянного климата Binder KBF720-ICH (Binder, Германия) при 25 °С и относительной влажности 60% при режиме освещения 12 ч свет/12 ч темнота. Растворы АВЕ и SBE добавляли на поверхность питательной сре-

ды. Для анализа ПЖ имаго разделяли по полу, на каждый вариант эксперимента отбирали по 150 особей. Эксперименты проводились в трех повторностях. Рассчитывались медианная и максимальная (возраст 90%-ной смертности особей) ПЖ. Перед анализом стрессоустойчивости мух содержали на среде с добавлением изучаемых концентраций экстрактов в течение 10-14 сут. Для оценки стрессоустойчивости мух содержали на среде, состоящей из 2%-ного агара-агара и 5%-ной сахарозы. При анализе устойчивости к окислительному стрессу в среду добавляли 20 мМ параквата (метилвиологен-дихлорид гидрат, Sigma-Aldrich, США). В эксперименте с голоданием мух содержали на среде, содержащей только 2% агар-агара. Для выявления устойчивости к гипертермии мух подвергали постоянно-му воздействию температуры 35 °С. В условиях действия неблагоприятных факторов дрозофил содержали до конца жизни. Все эксперименты проводились в двух-трех повторностях.

Было обнаружено, что добавление АВЕ во всех изученных концентрациях на питательную среду на протяжении всей жизни негативно влияло на медианную и максимальную ПЖ самцов и самок (см. рисунок), но увеличивало максимальную ПЖ самцов на 3%



Влияние АВЕ и SBE на изменение медианной (dM) и максимальной (d90%) продолжительности жизни на протяжении всей жизни самцов (А, В) и самок (Б, Г) *D. melanogaster*. * $p < 0.05$ критерий Колмогорова-Смирнова, * $p < 0.05$ критерий Мантель-Кокса, # $p < 0.05$ критерий Вилкоксона-Бреслоу-Гехана для медианной ПЖ, * $p < 0.05$ тест Ванг-Аллисона для максимальной ПЖ.

($p < 0.0001$) при концентрации АВЕ 10 мг/мл. Также было выявлено, что SBE увеличивал медианную ПЖ самцов на 3% ($p < 0.0001$) при концентрации 2, 5 и 10 мг/мл, но при концентрации 2.5 мг/мл медианная ПЖ снизилась на 7% ($p < 0.0001$). Увеличение максимальной ПЖ у самцов было обнаружено при концентрациях SBE 0.01 мг/мл на 6% ($p < 0.0001$) и 2 мг/мл на 4% ($p < 0.01$). В то же время у самок SBE при концентрации 1 мг/мл значительно увеличивал медианную ПЖ на 6% ($p < 0.001$), 10 мг/мл на 5% ($p < 0.05$), а максимальную ПЖ – на 8% ($p < 0.01$) при концентрации 1 мг/мл (см. рисунок).

Повышенная устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды взаимосвязана с высокой продолжительностью жизни (Ikeyama, 2002; Pandolf, 1997). Поэтому нас интересовало, как может повлиять добавление АВЕ и SBE на устойчивость дрозофилы в молодом возрасте к различным стрессовым факторам (паракеват, гипертермия и голодание). В проведенных экспериментах на стрессоустойчивость мы использовали АВЕ в концентрациях 0.1, 1 и 5 мг/мл и SBE в концентрациях 0.1, 1, 2 и 5 мг/мл, которые продемонстрировали наиболее эффективный геропротекторный потенциал. Было показано, что обработка особей *D. melanogaster* экстрактом аронии привела к увеличению устойчивости к голоданию у самок: 5 мг/мл, и гипертермии у самцов – 0.1 и 5 мг/мл, а у самок: 0.1 и 5 мг/мл. Однако обработка АВЕ в концентрации 1 мг/мл приводила к снижению устойчивости к голоданию у самцов. Экстракт SBE при концентрации 1 мг/мл увеличил устойчивость к оксидативному стрессу у самцов, но при этом 1 и 5 мг/мл снизили стрессоустойчивость к гипертермии. Кроме того, SBE при всех концентрациях оказал положительный эффект у самцов при голодании. У самок 5 мг/мл увеличил стрессоустойчивость как к голоду, так и к гипотермии, а 2 мг/мл повышал устойчивость только к гипотермии. Также SBE при концентрации 5 и 2 мг/мл снизил устойчивость к оксидативному стрессу.

В результате проведенных исследований было выявлено, что применяемый на протяжении всей жизни этанольный экстракт аронии в концентрациях 0.01, 0.1, 1, 2.5 и 5 мг/мл оказывает негативный эффект на продолжительность жизни *D. melanogaster*, но увеличивает устойчивость к гипотермии у самок и самцов. В то же время при добавлении на протяжении всей жизни этанольного экстракта рябины в концентрациях 0.01, 1, 2.5, 5 и 10 мг/мл выявлен положительный эффект на медианную и максимальную продолжительность жизни плодовых мушек, также обнаружено в разной степени изменение уровня стрессоустойчивости у особей *D. melanogaster*.

В дальнейших исследованиях планируется оценить эффекты экстрактов при кормлении мух в разном возрасте и выявить механизмы его положительного действия на стрессоустойчивость с помощью анализа уровня экспрессии генов стресс-ответа.

Исследование выполнено в рамках гос. задания № АААА-А19-119021 590022-2 при финансовой поддержке РФФИ и НИФ в рамках научного проекта № 19-515-51001.

ЛИТЕРАТУРА

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

Ikeyama S., Kokkonen G., Shack S., Wang X.T., Holbrook N.J. Loss in oxidative stress tolerance with aging linked to reduced extracellular signal-regulated kinase and Akt kinase activities // *Faseb J.*, 2002. V. 16. P. 114–116.

Liepina I., Nikolajeva V., Jakobson I. Antimicrobial activity of extracts from fruits of *Aronia melanocarpa* and *Sorbus aucuparia* // *Environmental and Experimental Biology*, 2013. V. 11. P. 195–199.

Pandolf K.B. Aging and human heat tolerance // *Exp Aging Res.*, 1997. V. 23. P. 69–105.

АНТИОКСИДАНТНЫЕ И РАДИОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ ПОРФИРИНОВ И КОМПЛЕКСОВ МЕДИ И СЕРЕБРА НА ИХ ОСНОВЕ

Е.Е. Расова¹, И.О. Велегжанинов¹, Т.К. Рочева², И.С. Худяева², Д.В. Белых²

¹Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

²Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: elrasova@mail.ru

Как известно, повреждения ДНК, вызванные активными формами кислорода, играют важную роль в этиологии множества заболеваний, в том числе онкологических. На сегодняшний день накоплено достаточно много сведений об антиоксидантных свойствах порфиринов и их производных. В работе (Endo et al., 1985) представлена роль хлорофиллов *a* и *b* в ингибировании самопроизвольного окисления метиллинолеата. В исследованиях с использованием гомогената печени крыс в качестве субстрата показана способность ряда порфиринов с разной степенью эффективности ингибировать окисление липидов (Sahyana et al., 1993). Также обнаружено, что металлсодержащие комплексы порфиринов проявляют значительно более выраженный антиоксидантный эффект по сравнению с производными хлорофиллов без металлов в структуре макроцикла (Endo et al., 1985, Ferruzzi et al., 2002).

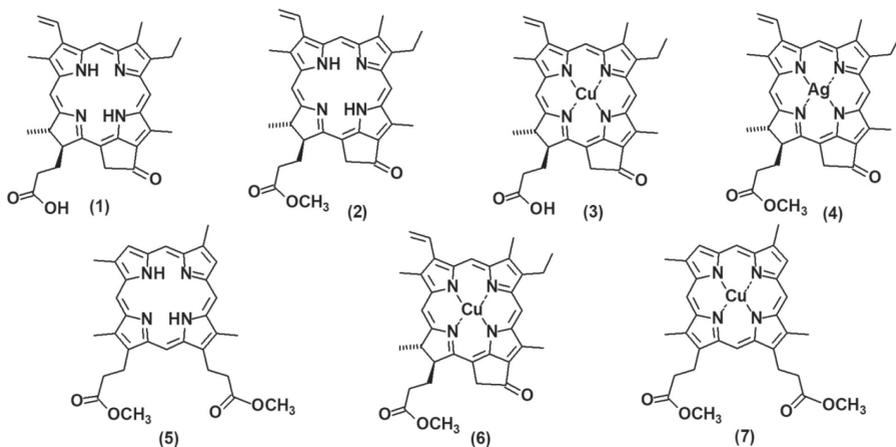


Рис. 1. Химически модифицированные природные порфирины и комплексы меди и серебра на их основе.

В связи с этим нами проведено тестирование производных хлорофилла *a*, дейтеропорфирина IX и их металлокомплексов (рис. 1) на наличие антиоксидантной и радиопротекторной активности в опухолевых клетках человека линии HeLa.

Для оценки собственной цитостатической активности соединений была определена выживаемость клеток линии HeLa после воздействия на них веществ в диапазоне концентраций от 0.01 до 100 мкмоль/л или до предела растворимости. На основании полученных значений были вычислены концентрации соединений, приводящие к 20%-ному подавлению роста культуры относительно контроля (IC_{20}), которые в дальнейшем использовались как максимальные концентрации при тестировании веществ на антиоксидантные и радиопротекторные свойства.

В первой группе экспериментов проводилась оценка влияния исследуемых соединений на выживаемость клеток при воздействии на них прооксиданта параквата. Клетки линии HeLa (5000 клеток на лунку планшета) с веществами в разных концентрациях (максимальная концентрация – IC_{20}) вносились в 96-луночные планшеты, после чего через один час инкубации в клетки был добавлен паракват в концентрации IC_{50} (46 ммоль/л). В качестве негативного контроля часть лунок была засеяна клеточной суспензией без добавления параквата и веществ. Позитивный контроль подвергался воздействию параквата, но без добавления исследуемых веществ. Через 72 ч инкубации при 37 °C оценивалась общая плотность живых клеток относительно интактной культуры с помощью FMCA (рис. 2).

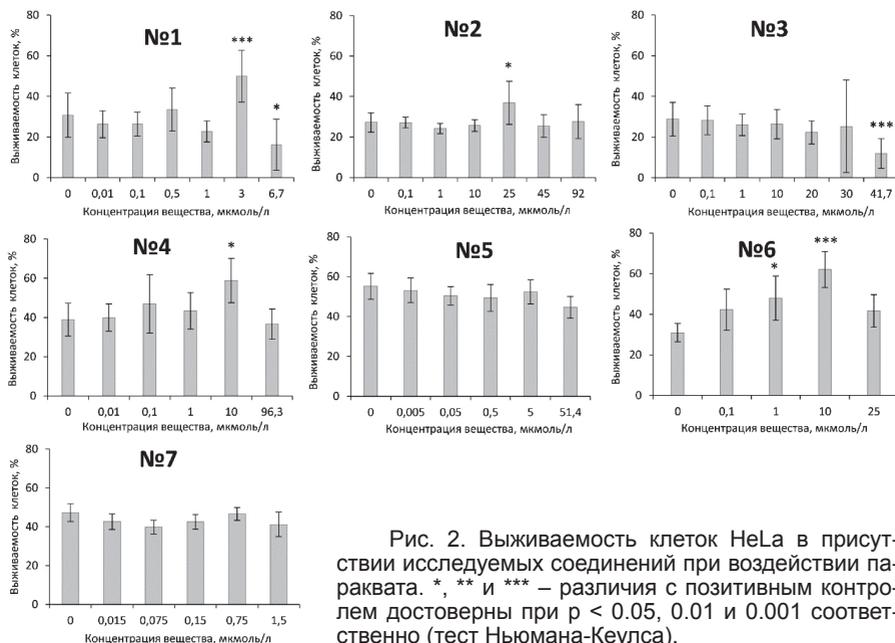


Рис. 2. Выживаемость клеток HeLa в присутствии исследуемых соединений при воздействии параквата. *, ** и *** – различия с позитивным контролем достоверны при $p < 0.05$, 0.01 и 0.001 соответственно (тест Ньюмана-Кеулса).

Среди исследованных соединений наличие в среде веществ № 4 в концентрации 10 мкмоль/л и № 6 в концентрациях 1 и 10 мкмоль/л привело к статистически достоверному снижению индуцированного паракватом подавления роста культуры. Антагонистическое действие данных соединений по отношению к параквату свидетельствует об их антиоксидантной активности. Что касается соединений № 1 (3 мкмоль/л) и № 2 (25 мкмоль/л), то в их присутствии индекс выживаемости клеток достоверно возрастал, однако отсутствие четкой тенденции возрастания эффекта при других концентрациях, который наблюдался для вещества № 6 и в меньшей степени – для вещества № 4, не позволяет утверждать, что эти соединения проявляли антиоксидантные свойства.

Как известно, основной биологический эффект ионизирующего излучения обусловлен радиоллизом воды и образованием свободных радикалов (Ward, 1988). В связи с этим мы предположили, что новые соединения, показавшие антагонистический эффект по отношению к параквату, могут иметь радиопротекторное действие. Эти свойства ранее были отмечены у таких антиоксидантов, как препараты селена, супероксиддисмутаза, мелатонин, а также фенольные соединения (Тарумов и др., 2012). К числу эффективных радиоза-

щитных средств относятся также серосодержащие препараты антиоксидантного действия (амифостин, цистамин, N-ацетилцистеин) (Citrin et al., 2010). Что касается порфиринов и их производных, то есть сведения, что медь-хлорофиллин натрия (пищевой краситель E141) оказывал радиопротекторный эффект, выраженный в снижении уровня радиационно-индуцированных повреждений ДНК в экспериментах *in vitro* (Santosh Kumar et al., 1999) и *in vivo* (Abraham et al., 1994).

В связи с этим во второй группе экспериментов была поставлена задача оценить, проявляют ли вещества № 4 и 6 радиопротекторные свойства. Для этого были взяты те же концентрации веществ, что в эксперименте с паракватом, но через один час инкубации клетки подвергались облучению в дозах 3 и 5 Гр (^{137}Cs , 0.75 Гр/мин). Выживаемость клеток анализировалась с помощью FMCA через 72 ч инкубации в сравнении с необлученным контролем. Результаты показали отсутствие радиопротекторного эффекта данных соединений – при увеличении дозы облучения индекс выживаемости клеток уменьшался в сравнении с контролем независимо от концентрации вещества в среде (рис. 3).

Известно, что цитотоксичность параквата напрямую связана с образованием свободных радикалов и перекисным окислением липидов в микросомальном и митохондриальном пространстве клетки (Tokunaga et al., 1997). Порфирины, способные проникать в клетку, накапливаются преимущественно в ее мембранных структурах, о чем свидетельствуют данные флуоресцентной микроскопии (Mal'shakova et al., 2021), где, по всей видимости, происходит их метаболизм. В то же время ионизирующее излучение повреждает все макромолекулы клетки, при этом критической мишенью становится

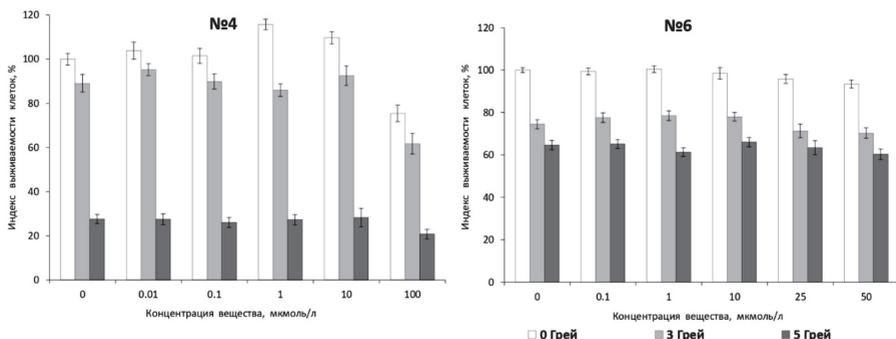


Рис. 3. Выживаемость клеток HeLa в присутствии исследуемых соединений при воздействии ионизирующего излучения.

ДНК. Поскольку исследуемые нами соединения предположительно не способны проникать в ядро, то они не оказывают защитного действия от свободных форм кислорода, генерируемых в ядре.

Таким образом, среди исследуемых нами химически модифицированных природных порфиринов и их металлокомплексов соединения № 4 и 6 проявляют антиоксидантный эффект в отношении парацетамола, однако не обладают радиопротекторными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

Тарумов Р.А., Башарин В.А., Гребенюк А.Н. Противолучевые свойства современных антиоксидантов // Рентгенология и радиология, 2012. Т. 13. С. 682–700.

Abraham S.K., Sarma L., Kesavan P.C. Role of chlorophyllin as an in vivo anticlastogen: protection against gamma-radiation and chemical clastogens // Mutation Research/Genetic Toxicology, 1994. № 322(3). P. 209–212. DOI:10.1016/0165-1218(94)90008-6

Cahyana A.H., Shuto Y., Kinoshita Y. Synergistic Antioxidative Effects of Porphyrin Derivatives with α -Tocopherol and Ascorbic Acid // Bio-science, Biotechnology, and Biochemistry, 1993. V. 57(10). P. 1753–1754. DOI:10.1271/bbb.57.1753

Citrin D., Cotrim A.P., Hyodo F., Baum B.J., Krishna M.C., Mitchell J. B. Radioprotectors and Mitigators of Radiation-Induced Normal Tissue Injury // The Oncologist, 2010. №15(4). P. 360–371. DOI:10.1634/theoncologist.2009-s104

Endo Y., Usuki R., Kaneda T. Antioxidant Effects of Chlorophyll and Pheophytin on the Autoxidation of Oils in the Dark. II. The Mechanism of Antioxidative Action of Chlorophyll // Journal of the American Oil Chemists. Society, 1985. V. 62. №9. P. 1387–1390. DOI:10.1007/BF02545965

Ferruzzi M.G., Böhm V., Courtney P.D., Schwartz S.J. Antioxidant and Antimutagenic Activity of Dietary Chlorophyll Derivatives Determined by Radical Scavenging and Bacterial Reverse Mutagenesis Assays // Journal Of Food Science, 2002. V. 67 (7). P. 2589–2595.

Mal'shakova M.V., Velegzhaninov I.O., Rasova E.E., Belykh D.V. Novel chlorophyll a derivatives with ester-linked galactose fragments for photodynamic therapy and fluorescence diagnostics of cancer // Journal of Porphyrins and Phthalocyanines, 2021. V. 25. P. 135–144. DOI: 10.1142/S1088424621500048

Santosh Kumar S., Chaubey R.C., Devasagayam T.P.A., Priyadarsini K.I., Chauhan P.S. Inhibition of radiation-induced DNA damage in plasmid pBR322 by chlorophyllin and possible mechanism(s) of action // Mutation Research, 1999. V. 425. P. 71–79. DOI: 10.1016/s0027-5107(98)00250-4

Tokunaga I., Kubo S., Mikasa H., Suzuki Y., Morita K. Determination of 8-hydroxy-deoxyguanosine formation in rat organs: Assessment of paraquat-evoked oxidative DNA damage // Biochem Mol Biol Int., 1997. V. 43. № 1. P. 73–77. DOI:10.1080/15216549700203831

Ward J.F. DNA Damage Produced by Ionizing Radiation in Mammalian Cells: Identities, Mechanisms of Formation, and Reparability // Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology, 1988. V. 35. P. 95–125. DOI:10.1016/s0079-6603(08)60611-x

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ

А.В. Рыбак, Т.А. Майстренко
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kaneva@ib.komisc.ru

При изучении биологических эффектов у растений и животных, обитающих на радиоактивных территориях, одним из этапов радиоэкологических исследований является адекватная оценка дозовых нагрузок на организмы.

Цель настоящей работы заключалась в оценке интенсивности радиационного воздействия на дождевых червей из природной популяции с использованием двух дозиметрических моделей и сравнении результатов полученных оценок.

В расчетах использовали средние значения удельных активностей тяжелых естественных радионуклидов ($^{228-232}\text{Th}$, ^{238}U , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra) с двух импактных (1, 2) и двух фоновых (3, 4) участков, расположенных на территории вблизи пос. Водный (Ухтинский район, Республика Коми) (табл. 1), где в 1931–1956 гг. осуществлялась добыча радия из пластовых вод.

Модель 1. Расчет мощностей поглощенных доз радиации осуществили в программном комплексе ERICA Tool 1.3 (Brown et al., 2008) на основании средних значений удельных активностей радионуклидов в почвах участков (табл. 1). Референтный организм – кольчатые черви наземных экосистем, геометрия и параметры кото-

Таблица 1
Удельные активности радионуклидов в почвах участков (в Бк/кг)

Радионуклид	Участки			
	1	2	3	4
^{228}Th	7 ± 1	9 ± 2	6.8 ± 0.4	9 ± 3
^{230}Th	2794 ± 563	153 ± 10	30 ± 1	18.9 ± 0.3
^{232}Th	13 ± 2	7 ± 1	4.3 ± 0.3	7 ± 5
^{238}U	59 ± 9	16 ± 1	9 ± 1	9 ± 1
^{210}Po	46800 ± 9257	909 ± 185	430 ± 96	129 ± 2
^{210}Pb	1686 ± 416	210 ± 42	92 ± 16	46 ± 4
^{210}Ra	14299 ± 2054	770 ± 150	117 ± 27	33 ± 1

рых соответствовали стандартным данным библиотеки ERICA ($m = 0.00524$ кг, $K_{si} = 0.1$, $Chi = 0.1$, высота над землей = 0.0 м). Коэффициенты накопления (КН) для этих беспозвоночных также взяты из библиотеки ERICA (КН: Ra – 0.0433, Pb – 0.4807, Po – 0.00996, Th – 0.0092, U – 0.0337). Коэффициент местообитания (в почве) – 1.

Модель 2 подробно описана в работе (Thomas, Liber, 2001). Референтный организм – дождевой червь *Aporrectodea caliginosa* со следующими параметрами: $m = 0.815 \pm 0.039$ г (наши данные) и $m_{ЖКТ(в.в.)} = 0.319$ г (пересчет по данным литературы). В расчетах использовали удельные активности радионуклидов в дождевых червях, спрогнозированные в программном комплексе ERICA Tool 1.3 на основании удельных активностей тяжелых естественных радионуклидов в почвах исследуемых участков. Оценку мощностей взвешенных поглощенных доз по двум моделям осуществили с помощью коэффициентов биологической эффективности для биоты: $\alpha = 10$, низкоинтенсивное $\beta = 3$, $\gamma = 1$.

Полученные результаты показали, что наибольшему воздействию ионизирующего излучения подвергаются дождевые черви, обитающие на наиболее загрязненном ТЕРН участке 1, наименьшему – на фоновом участке 4 (табл. 2).

Для почвенной мезофауны всех исследованных участков инкорпорированные источники радиации вносили намного больший вклад в суммарные дозовые нагрузки, чем внешние источники облучения: от 88 до 99.97% по двум моделям (рис. 1).

По Модели 1 основными дозообразующими радионуклидами являлись ^{226}Ra , а также ^{210}Po , вклад в дозовые нагрузки ^{210}Pb , изото-

Таблица 2
Суммарная дозовая нагрузка на дождевых червей (в мкГр/ч)

Модель	Участок			
	1	2	3	4
1	113	5.6	1.0	0.3
2	161	4.3	1.5	1.0

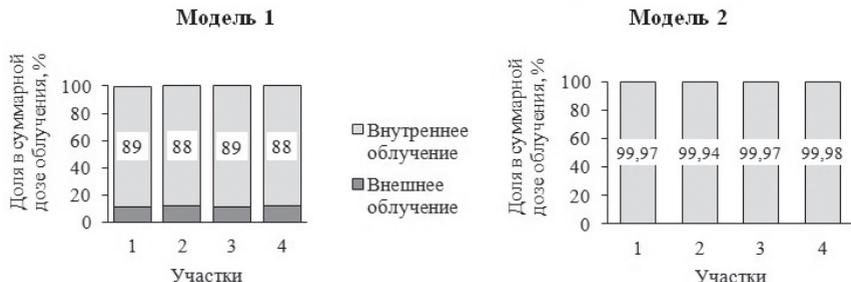


Рис. 1. Соотношение доз внутреннего и внешнего облучения в суммарной дозовой нагрузке на дождевых червей (в %).

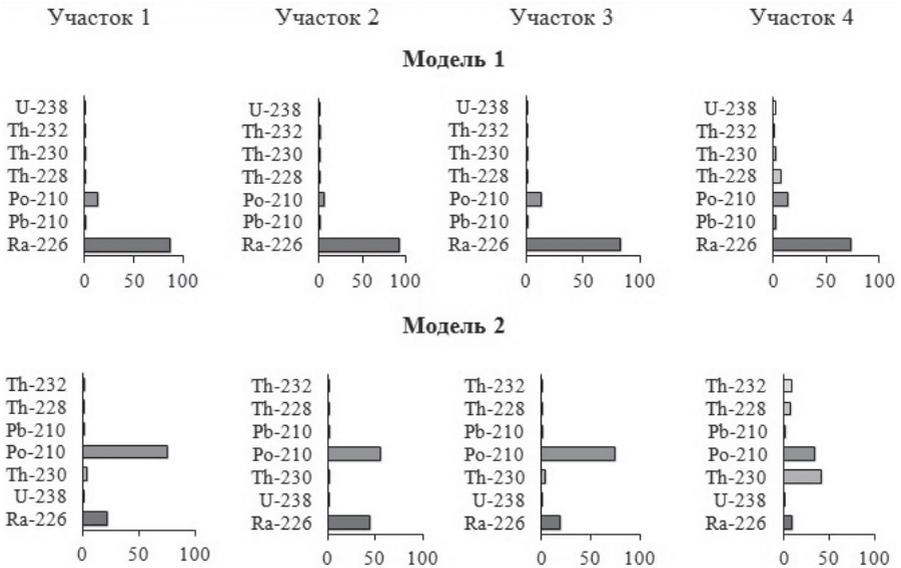


Рис. 2. Вклад радионуклидов в суммарную дозовую нагрузку (в %).

пов Th, ^{238}U минимален на всех участках (рис. 2). Напротив, по Модели 2 главным радионуклидом является ^{210}Po и только потом – ^{226}Ra .

Рассчитанные по двум моделям дозовые нагрузки на дождевых червей оказались соизмеримыми, за исключением соотношения вклада радионуклидов в суммарную дозовую нагрузку. Основной вклад в дозу облучения почвенных беспозвоночных на радиоактивных участках при оценке по Модели 1 вносит ^{226}Ra , а по Модели 2 – ^{210}Po . Таким образом, показано, что обе дозиметрические модели могут быть использованы для оценки дозовых нагрузок для дождевых червей в условиях загрязнения почвы тяжелыми естественными радионуклидами.

ЛИТЕРАТУРА

Brown J.E., Alfonso B., Avila R. et al. The ERICA Tool // Journal of Environmental Radioactivity, 2008. V. 99. P. 1371–1383.

Thomas P., Liber K. An estimation of radiation doses to benthic invertebrates from sediments collected near a Canadian uranium mine // Environment International, 2001. V.27. Iss. 4. P. 341–353.

КРИПТОХРОМ КАК МИШЕНЬ ДЛЯ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕРВЕНЦИЙ: ЭФФЕКТЫ МОЛЕКУЛ KL001, KS15 И РИБОФЛАВИНА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

И.А. Соловьёв^{1,2}, М.В. Шапошников^{1,2}, А.А. Москалев¹

¹ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: soloviev@ib.komisc.ru

Роль флавопротеина криптохрома в патогенезе заболеваний различной этиологии в настоящий момент пристально изучается на модельных организмах и тканях человека, однако, известно не так уж много молекул-лигандов, способных эффективно взаимодействовать с криптохромом и выступать в качестве лекарств. Еще меньше известно об их альтернативных эффектах, обусловленных аффинностью к другим белкам.

В настоящей работе предпринята попытка сравнить биологические эффекты воздействия различных лигандов криптохрома (KL001, KS15, рибофлавина) и сопоставить методами молекулярного моделирования энергетические показатели их взаимодействия с рецепторной молекулой (dCRY, PDB ID: 4GU5).

В качестве интегрального показателя использовалась медианная продолжительность жизни дрозофил линии *Canton-S*, получавших вещества с пищей. Состав среды в расчете на 1 л воды: 7 г – агар-агар, 8 г – сухие дрожжи, 30 г – сахарный песок, 30 г – манная крупа, 10 мл – 50%-ная пропионовая кислота (в качестве фунгицида), 10 мл – 10%-ный раствор нипагина в этаноле. Оценка активности KL001 проводилась при добавлении к питательной среде по 30 мкл растворов на базе 0.1% DMSO с концентрациями активного вещества в 0, 1, 5, 10 и 50 мкмоль/мл. Для оценки эффектов KS15 брали растворы с концентрациями 0, 1, 5 и 10 мкмоль/мл, концентрация в 50 мкмоль/мл оказывает цитотоксический эффект, поэтому не изучалась. Эффекты рибофлавина на продолжительность жизни были изучены в различных концентрациях, однако суспензия с концентрацией в 120 мг/мл ранее не изучалась. Для содержания дрозофил использовали климатические камеры Binder KBF720-ICH (Binder, Германия). Животных содержали при температуре 25 °С, относительной влажности воздуха 60% и 24-часовом режиме освещения в случае эксперимента с рибофлавином и в цикле 12/12 свет/темнота в случае с KL001 и KS15.

В целях предотвращения распада рибофлавина в процессе сушки питательной среды для дрозофил с нанесенным веществом использовался 2%-ный раствор, приготовленный из натриевой со-

ли EDTA (Панэко, РФ) и дистиллированной воды. Суспензию рибофлавина готовили в концентрации 120 мг/мл в 2% EDTA. Суспензию добавляли в пробирки по 30 мкл, затем распределяли кистью по субстрату, после чего оставляли до полного высыхания без доступа света. Емкость с раствором хранили в бытовом холодильнике, плотно обернутой в светонепроницаемую ткань, в коробке. В качестве отрицательного контроля использовали бидистиллят и в качестве основного контроля был взят раствор 2% EDTA на основе бидистиллята. Высокая концентрация рибофлавина в суспензии оправдана крайне низкой стабильностью молекул при постоянном освещении. Мух со сверхэкспрессией *cry* (*tim-GAL4>UAS-cry24*) и без сверхэкспрессии (особи родительских линий *tim-GAL4* и *UAS-cry24*) в течение 24 ч после вылупления имаго разделяли по полу и помещали по 30–35 особей в пробирки с питательной средой. Подсчет числа умерших мух проводили ежедневно. Два раза в неделю совершалась пересадка насекомых на свежую среду без наркотизирования. Статистическая обработка результатов экспериментов по оценке выживаемости проводилась в приложении OASIS2 (Han, 2016). Энергетические показатели взаимодействия лигандов с криптохромом плодовой мухи оценивались в программе AutoDock Vina (Trott, Olson, 2010).

Результатом исследования стало обнаружение гормональных эффектов соединений KL001 и KS15. Прирост в 2% для медианной ПЖ, 50% – перцентиль, $p < 0.001$, согласно критерию Гехана-Бреслоу-Уилкоксона, наблюдался на самцах, получавших KL001. На 14% увеличился возраст 90%-ной смертности популяции, получавшей 5 мкмоль/мл KL001 с пищей, $p < 0.05$, согласно критерию Ванг-Аллисона. Время 90%-ной смертности популяции подверглось статистически значимому влиянию KL001 во всех вариантах эксперимента, отмечалось увеличение показателя на 9–14%, $p < 0.05$, согласно критерию Ванг-Аллисона. Единственным статистически достоверным эффектом стало 18%-ное увеличение медианной ПЖ в случае с группой самок, получавшей KL001 в виде раствора с концентрацией 1 мкмоль/мл в 0.1% DMSO, * $p < 0.05$ согласно критерию Ванг-Аллисона. В опыте, где применялась концентрация KL001 в 5 мкмоль/мл, отмечена тенденция к увеличению медианной продолжительности жизни на 18% при $p = 0.0534$, однако, статистически достоверной при данном размере выборке она не является. Отмечается увеличение средней продолжительности жизни самцов, получавших KS15 в концентрации 10 мкмоль/мл ($p < 0.05$). Зарегистрировано увеличение медианной продолжительности жизни на 8% ($p < 0.05$). Рибофлавин в концентрации 120 мг/мл не проявил себя в качестве фото- или геропротектора в условиях сверхэкспрессии криптохрома при постоянном освещении.

Результаты молекулярного докинга ФАД, рибофлавина, KL001 и KS15 с белком dCRY

№	ФАД (Референ)			Рибофлавин			KL001			KS15					
	Аффинность	Кі	Единицы измерения	Аффинность	Кі	Единицы измерения	Аффинность	Кі	Единицы измерения	Аффинность	Кі	Единицы измерения			
1	-16.4	0	-	-0.31	-10.0	46.77	nM	-0.37	975.81	nM	-0.29	-7.3	4.46	uM	-0.28
2	-16.4	0	-	-0.31	-9.8	65.55	nM	-0.36	1.16	uM	-0.29	-7.1	6.25	uM	-0.27
3	-16.2	0	-	-0.3	-7.7	2.27	uM	-0.29	1.62	uM	-0.28	-7.1	6.25	uM	-0.27
4	-16.2	0	-	-0.31	-7.6	2.69	uM	-0.28	1.62	uM	-0.28	-7.1	6.25	uM	-0.27
5	-16.0	0	-	-0.3	-7.3	2.46	uM	-0.27	1.92	uM	-0.28	-6.8	10.37	uM	-0.26
6	-13.4	0.15	nM	-0.2	-7.0	7.40	uM	-0.26	2.27	uM	-0.28	-6.8	10.37	uM	-0.26
7	-13.0	0.30	nM	-0.2	-6.7	12.27	uM	-0.25	2.27	uM	-0.28	-6.7	12.27	uM	-0.26
8	-11.0	8.65	nM	-0.2	-6.6	14.53	uM	-0.24	2.69	uM	-0.27	-6.6	14.53	uM	-0.25
9					-6.4	20.3	uM	-0.24	3.18	uM	-0.27	-6.6	14.5	uM	-0.25
10					-5.1	0.18	nM	-0.19	3.18	uM	-0.27	-6.6	14.53	uM	-0.25

Следует заключить, что наилучшим образом с dCRY взаимодействует рибофлавин, на что указывают низкие значения свободной энергии связывания и оценка эффективной концентрации, однако геропротекторный эффект был достигнут только в случае KL001 и KS15 – соединений, имеющих меньшую аффинность к dCRY. Наличие гормонального эффекта может быть объяснено стабилизацией белковых элементов циркадного осциллятора, ведущей к повышению экспрессии генов циркадных ритмов, способных продлевать жизнь дрозофилы. Полученные результаты могут быть использованы для планирования экспериментов по фармакологическому воздействию на циркадный осциллятор с целью коррекции возрастного десинхроноза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90058; в рамках государственного задания по темам «Молекулярно-генетические механизмы старения, продолжительности жизни и стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*» № AAAA-A18-118011120004-5 и «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов» № AAAA-A19-119021590022-2.

ЛИТЕРАТУРА

Han S.K., Lee D., Lee H. et al. OASIS 2: online application for survival analysis 2 with features for the analysis of maximal lifespan and healthspan in aging research // *Oncotarget*, 2016. V. 7. № 35. P. 56147.
Trott O., Olson A. J. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization and multithreading // *Journal of Computational Chemistry*, 2010. V. 31. P. 455–461.

ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВ, СТИМУЛИРУЮЩИХ РЕПАРАЦИЮ ДНК, НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Н.С. Уляшева, Н.Р. Пакшина, Е.Н. Прошкина, А.А. Москалев
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: ulyasheva-1309@yandex.ru

Нарушение механизмов поддержания целостности генома – это одна из причин и центральных характеристик старения. Поэтому возможными путями для увеличения продолжительности жизни (ПЖ) и замедления темпов старения является предотвращение повреждений ДНК, улучшение ответа на повреждение ДНК (ОПД) и восстановление этих повреждений (репарации ДНК), а также удаление клеток с повреждениями. Реализация этих путей возможна с помощью фармакологических препаратов и биологически активных веществ.

Мы обратили внимание на вещества, стимулирующие репарацию ДНК. Ранее проведенный анализ литературы выявил наличие таких веществ, для части из которых уже доказан геропротекторный эффект (Proshkina et al., 2020). Большинство из них – это вещества природного происхождения с неспецифичным механизмом действия. Согласно биоинформационному анализу, среди синтетических веществ есть более специфичные вещества, стимулирующие репарацию ДНК без побочного генотоксического действия.

Целью данной работы было исследовать влияние ретиноевой кислоты, эноксацина, KN-93 и UNC-0646 на ПЖ *Drosophila melanogaster*.

Мы изучили влияние указанных препаратов на ПЖ самцов и самок дрозофил линии дикого типа *Canton-S*. Эксперимент проводили в двух биологических повторностях.

В нашем исследовании положительное действие на ПЖ оказали не все четыре вещества, а только эноксацин и ретиноевая кислота. Антибиотик эноксацин в концентрациях 100 и 500 мкМ увеличивал медианную ПЖ самцов на 3.6–6.2% ($p < 0.001$) и возраст 90%-ной смертности (показатель максимальной ПЖ) на 4.5–6.1% ($p < 0.001$). Действие вещества на ПЖ самок менее выражено. Отмечается увеличение максимальной ПЖ на 1.4% ($p < 0.05$) при его применении в концентрациях 100 и 500 мкМ (рис. 1).

Ретиноевая кислота у самок оказала положительное влияние при всех изучаемых концентрациях. Увеличение максимальной ПЖ составило 1.4–5.5% ($p < 0.001$), медианной ПЖ при применении вещества в концентрациях 100 и 500 мкМ – на 3.2% ($p < 0.001$). У самцов обработка ретиноевой кислотой также в концен-

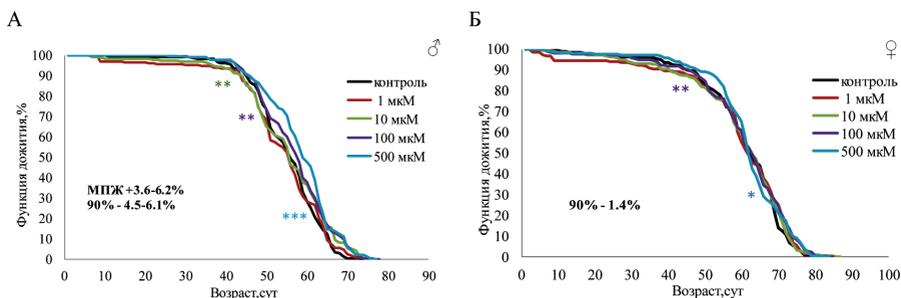


Рис. 1. Влияние энзоксина на продолжительность жизни самцов (А) и самок (Б) *Drosophila melanogaster*. Здесь и далее: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ по критерию Колмогорова-Смирнова, МПЖ – медианная продолжительность жизни, 90% – возраст 90%-ной смертности.

трациях 100 и 500 мкМ увеличила медианную ПЖ на 3.6–5.4% ($p < 0.001$) и максимальную ПЖ на 1.5–3% ($p < 0.001$) (рис. 2).

Вероятно, оба соединения стимулируют ОПД и репарацию ДНК за счет влияния на эпигенетическую регуляцию. Недавние исследования показали, что ретиноевая кислота контролирует экспрессию генов с помощью нескольких взаимосвязанных механизмов. Ретиноевая кислота способствует эпигенетическим изменениям, в частности, влияет на уровень метилирования ДНК, модификации гистонов, формированию комплексов с белками Polycomb, активность транскрипционных факторов. Она может усиливать репрессивную структуру гетерохроматина, обеспечивая защиту генетического материала (Proshkina et al., 2020). За счет указанных механизмов данное вещество способно оказывать влияние на баланс некоторых сигнальных путей и активность отдельных генов, в том числе вовлеченных в ОПД (например, сенсора повреждений ДНК – АТМ).

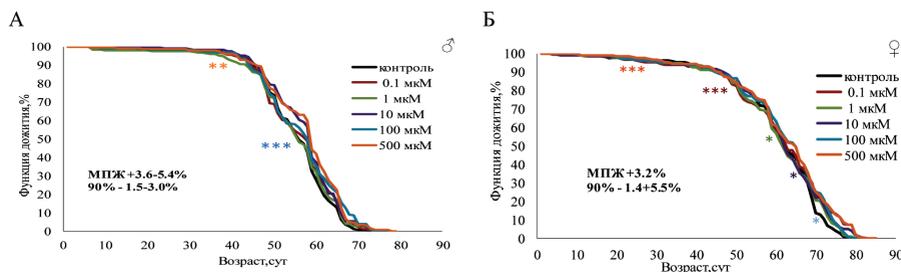


Рис. 2. Влияние ретиноевой кислоты на продолжительность жизни самцов (А) и самок (Б) *Drosophila melanogaster*.

Эноксацин является регулятором биогенеза микроРНК и потенциальным стимулятором репарации ДНК. Ранее уже сообщалось, что данный антибиотик способен увеличивать ПЖ *Caenorhabditis elegans* (Pinto et al., 2018). Одной из его мишеней является РНК-связывающий белок ADAR, который непосредственно взаимодействует с механизмами биогенеза и функционирования микроРНК. Более того, в клеточной линии преадипоцитов мыши эноксацин подавляет эволюционно консервативную *miR-34a*, которая повышает экспрессию при старении организма и влияет на уровень репарации ДНК (Pinto et al., 2018). Также показано, что в человеческих клетках ОПД и репарация ДНК могут быть усилены фармакологически эноксацином благодаря его способности стимулировать биогенез некодирующих РНК, связанных с ОПД, за счет нацеливания на белок TRBP и активации DICER. Усиление образования данных некодирующих РНК способствует рекрутированию 53BP1 в места повреждения, ускоряя репарацию ДНК путем негомлогичного воссоединения концов и, в конечном счете, увеличивая выживаемость клеток после генотоксического воздействия (Gioia et al., 2019). Мы предполагаем, что у дрозофил могут действовать похожие механизмы, так как пути биогенеза микроРНК эволюционно консервативны.

В то же время соединения KN-93 и UNC-0646 не оказывали выраженного геропротекторного действия на самцов и самок дрозофил. KN-93 увеличило медианную ПЖ самцов на 5.4% ($p < 0.001$) в концентрации 0.1 мкМ и не оказало статистически значимого влияния на максимальную ПЖ самцов и самок дрозофил (рис. 3).

Вещество UNC-0646 в концентрациях 1 и 10 мкМ увеличило медианную ПЖ самцов на 3.6–5.4% ($p < 0.001$) и снизило максимальную ПЖ на 1.5–3.0% ($p < 0.01$) в концентрации 0.1 и 100 мкМ. У самок наблюдается увеличение максимальной ПЖ на 1.4% ($p < 0.01$) в концентрации 1 и 100 мкМ (рис. 4).

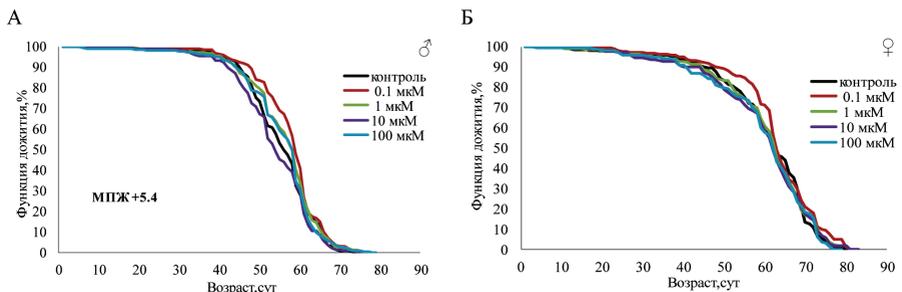


Рис. 3. Влияние KN-93 на продолжительность жизни самцов (А) и самок (Б) *Drosophila melanogaster*.

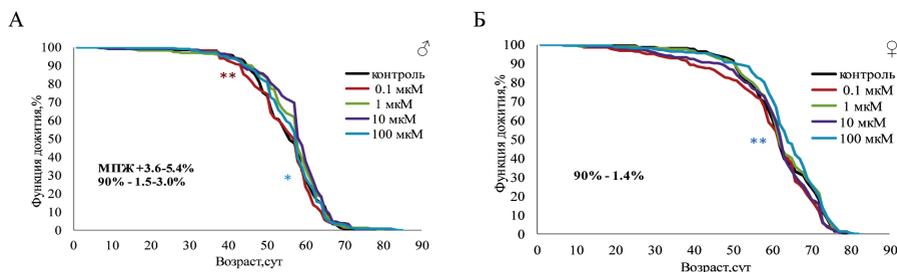


Рис. 4. Влияние UNC-0646 на продолжительность жизни самцов (А) и самок (Б) *Drosophila melanogaster*.

Ранее полученные данные говорят о потенциальном геропротекторном эффекте соединений KN-93 и UNC-0646, но в нашем эксперименте на дрозофилах изучаемые соединения не оказывали воспроизводимого влияния на ПЖ особей.

KN-93 – новый мембрано-проницаемый синтетический ингибитор очищенного нейронального СаМК-II (Tombes et al., 1995). В ранее проведенном исследовании выявили влияние KN-93 на экспрессию двух регуляторов клеточного цикла и важных белков ОПД p53 и p21 (An et al., 2007). Кроме того, данное вещество способно влиять на активность центрального фермента эксцизионной репарации оснований APE1 (Yang et al., 2010).

UNC-0646 является мощным селективным ингибитором метилтрансферазы G9a (Gu et al., 2019). G9a рекрутируется в участки повреждения ДНК АТМ-дозозависимым образом, при котором происходит фосфорилирование G9a в серин 569 АТМ. Также может способствовать эффективной локализации разрывов ДНК и индуцировать локальное метилирование гистонов в H3K9 и H3K56 (Ginjala et al., 2017). Есть исследования, где показано, что G9a является транскрипционным репрессором, который способствует p53-зависимой активации PUMA, запуская апоптоз клеток (Yang et al., 2017).

Таким образом, наиболее эффективное геропротекторное действие на длительность жизни особей *Drosophila melanogaster* оказали эноксацин и ретиноевая кислота в концентрациях 100 и 500 мкМ. Их дальнейшее изучение открывает перспективы для разработки подходов к увеличению ПЖ и замедлению старения за счет стимуляции защитных механизмов, нацеленных на поддержание стабильности генома.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-74-00083 «Эффекты активации генов репарации ДНК на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*».

ЛИТЕРАТУРА

An P. et al. KN-93, a specific inhibitor of CaMKII inhibits human hepatic stellate cell proliferation in vitro // World J Gastroenterol., 2007. V. 13(9). P. 1445–1448.

Gioia U. et al. Pharmacological boost of DNA damage response and repair by enhanced biogenesis of DNA damage response RNAs // Scientific reports, 2019. V. 9(1). P. 6460.

Ginjala V. et al. Protein-lysine methyltransferases G9a and GLP1 promote responses to DNA damage // Scientific reports, 2017. V. 7(1). P. 16613.

Gu M. et al. Nanodiamond-Mediated Delivery of a G9a Inhibitor for Hepatocellular Carcinoma Therapy // ACS Appl Mater Interfaces., 2019. V. 11(49). P. 45427–45441.

Proshkina E. et al. Genome-Protecting Compounds as Potential Geroprotectors. International journal of molecular sciences., 2020. V. 21(12). P. 4484.

Pinto S. et al. Enoxacin extends lifespan of *C. elegans* by inhibiting miR-34-5p and promoting mitohormesis // Redox Biol., 2018. V. 18. P. 84–92.

Yang J. et al. Neurons efficiently repair glutamate-induced oxidative DNA damage by a process involving CREB-mediated up-regulation of apurinic endonuclease 1. J Biol Chem., 2010. V. 285(36). P. 28191–28199.

Yang Q. et al. G9a coordinates with the RPA complex to promote DNA damage repair and cell survival // Proc Natl Acad Sci USA., 2017. V. 114(30). P. 6054–6063.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СМЕРТНОСТЬ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM* ДВУХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП

Е.Е. Черкасова¹, Г.В. Лаврентьева^{1,2}, Л.А. Трофимова¹

¹Обнинский институт атомной энергетики

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(Калужский филиал)

E-mail: CaterinaCherkasova@yandex.ru

В настоящее время всё большую актуальность приобретает экоцентрический принцип нормирования радиационного фактора, который основан на предложенной МКРЗ концепции. Вышеуказанная концепция, предложенная в Публикациях МКРЗ (ICRP, 2008; ICRP, 2009), основана на оценке радиоэкологической ситуации с учетом релевантных эффектов у условных (референтных) животных и растений (RAPs – reference animals and plants). Также комиссией предложены релевантные показатели, одним из которых является смертность. В данной работе представлены результаты лабораторных исследований, направленных на выявление влияния гамма-облучения на показатели смертности наземного моллюска *F. fruticum* разных возрастных групп.

Объектом исследований является наземный моллюск *F. fruticum* (улитка кустарниковая). Пробоотбор моллюсков осуществлялся на территории без антропогенного влияния, вдали от населенных пунктов, автодорог и предприятий. Всего было отобрано 620 особей без видимых внешних повреждений раковины. Для исследований были выбраны моллюски двух возрастных групп – сеголетки и половозрелые особи третьей возрастной группы. Возраст моллюсков определялся по количеству оборотов раковины (Гребенников, Хохуткин, 2000; Сычев, Снегин, 2016). После пробоотбора моллюски содержались в пластиковых контейнерах с настилом из кокосового субстрата. Перед облучением моллюски находились в лаборатории для адаптации к новым условиям обитания. Облучение моллюсков осуществлялось на гамма-установке ГУР-120 в диапазоне доз от 10 до 300 Гр с шагом 10 Гр.

Смертность моллюска определялась по следующим признакам: не реагирует на орошения водой, мягкое тело находится глубоко в раковине и отсутствует эпифрагма, мягкое тело становится бесформенным, улитка источает неприятный запах, мягкое тело отсутствует в раковине.

После облучения каждые 10 сут. определяли смертность моллюсков в пробах.

Показатель $LD_{50/60}$ определялся расчетным способом посредством пробит-анализа с применением метода наименьших квадратов (Платонов, Ахалая, 2010).

На основании данных эксперимента был определен показатель $LD_{50/60}$, т.е. доза облучения, при которой отмечается 50% смертности особей через 60 дней после облучения. $LD_{50/60}$ для моллюсков первой возрастной группы равна 118.7 ± 62.2 Гр, для третьей возрастной группы – 141.4 ± 26.3 Гр.

Следует отметить, что на протяжении всего эксперимента смертность в контрольной группе не отмечается.

Через 30 сут. после облучения отмечается повышение показателя смертности с увеличением дозы облучения. Так, при облучении дозами до 150 Гр максимальные значения смертности равны 20% для первой и третьей возрастной группы при облучении дозами 30, 60, 80, 110, 140, 150 Гр и 50, 130 Гр соответственно. В диапазоне доз 160–300 Гр максимальные значения смертности – 40 и 33% при облучении дозами 180, 190, 230, 250, 270, 300 Гр и 210, 230, 290 Гр для первой и третьей группы соответственно. Отмечается отсутствие смертности во всех группах при облучении дозами 20 и 100 Гр.

Через 60 сут. смертность после облучения 100 Гр – 100% для первой и третьей возрастной группы. Максимальные значения

смертности достигают 100% при облучении дозами 100, 180, 200, 240-260, 280, 300 Гр и 280, 300 Гр для первой и третьей возрастной группы соответственно. При облучении дозами 280 и 300 Гр смертность 100% отмечается в двух группах, на основании этого можно сделать о летальных дозах для особей наземного моллюска.

Через 90 сут. после облучения отмечается увеличение смертности с повышением дозы облучения. В первой возрастной группе в диапазоне от 160 до 300 Гр во всех группах облученных моллюсков отмечается 100%-ная смертность (за исключением 190 Гр), а при облучении в диапазоне 10-150 Гр максимальная смертность отмечается только при облучении дозой 100 Гр. Также в данном диапазоне отмечается отсутствие смертности при облучении дозой 40 Гр. Максимальные значения смертности (100%) в третьей возрастной группе приходятся на диапазон от 210 до 300 Гр (210, 240, 280, 300 Гр). В диапазоне от 10 до 100 Гр максимальные значения смертности 27%, а в диапазоне от 110 до 200 Гр – 93%.

Третья возрастная группа наземного моллюска *F. fruticum* является более резистентной. При этом показатель ЛД_{50/60} для моллюсков первой возрастной группы равна 118.7 ± 62.2 Гр, для третьей возрастной группы – 141.4 ± 26.3 Гр. Отмечается увеличение показателя смертности наземного моллюска с повышением дозы облучения в отдаленный период на фоне нулевой смертности в контрольной группе. 100%-ная смертность отмечается через 60 сут. после облучения в дозах более 100 и 280 Гр для первой и третьей возрастной группы соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

Гребенников М.Е., Хохуткин И.М. Содержание тяжелых металлов в наземных моллюсках в районе Среднеуральского медеплавильного завода // Материалы научно-практической конференции «Экологические основы стабильного развития Прикамья». Пермь, 2000. С. 43.

Платонов А.Г., Ахалая М.Я. Применение метода пробит-анализа в радиобиологии. Расчет полублетальной дозы ЛД₅₀: учебно-методическое пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. 36 с.

Сычев А.А., Снегин Э.А. Микропространственная изменчивость демографических и конхиологических параметров в популяциях *Helicopsis striata* (Mollusca; Pulmonata; Hygromiidae) в условиях юга Среднерусской возвышенности // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2016. Т. 36. № 4. С. 127–146.

ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2008. 251 p.

ICRP Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. 111 p.

Секция 5

ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

ВЛИЯНИЕ МИКРОМИЦЕТА РОДА *FUSARIUM* И ЕГО АНТАГОНИСТОВ (ТРИХОДЕРМА И ЦИАНОБАКТЕРИИ) НА СОСТАВ ВЕЩЕСТВ МЕЛИССЫ

П.И. Гущина, М.А. Загоскин, Я.Ю. Благодатских
Вятский государственный университет
E-mail: p.gushchina07@gmail.com

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis*) – лекарственное растение, обладающее многими полезными свойствами (седативное, противовоспалительное, антиоксидантное, антибактериальное и др.) и содержащее множество полезных для здоровья человека веществ (антиоксиданты, витамины, микроэлементы и т.д.). При выращивании чаще всего не задумываются о возможном влиянии почвенных микроорганизмов на качество продукции. Одними из фитопатогенных микроорганизмов являются микромицеты рода *Fusarium*. Их антагонистами могут быть некоторые виды цианобактерий и триходермы (Фокина, 2020). Выяснение механизмов формирования устойчивости растений к грибным болезням (патогенным микроорганизмам) неизменно приводит к необходимости анализа биохимических факторов устойчивости (Лоскутов, 2019). Для того, чтобы понять, как лучше бороться с болезнями растений для повышения продовольственной безопасности, специалисты по защите растений должны проводить исследования, определяя ключевые биохимические процессы и факторы, влияющие на их изменения. Одной из групп веществ, обладающих важными фармакологическими свойствами и одновременно маркерами состояния растений, являются фенольные соединения. Кроме того, маркером стрессового состояния растений является интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клетках. Однако данных о влиянии микромицетов изучаемого рода в присутствии антагонистов и без них на эти показатели в литературе практически нет, поэтому целью ра-

боты было установить влияние присутствующих при выращивании растений *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc. в присутствии его антагонистов *Trichoderma viride* Pers. и *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom. на накопление фенольных соединений в зеленой части растений мелиссы лекарственной.

Семена мелиссы лекарственной сорта Лимонный аромат промывали 1%-ным раствором перманганата калия. Проращивали в стерильных условиях в чашках Петри на увлажненной дистиллированной водой фильтровальной бумаге в течение недели. Далее проростки пересаживали в питательный грунт (стерильный). В грунт перед посадкой растений были добавлены суспензия *F. culmorum* ($T = (5.00 \pm 0.05) \cdot 10^9$ кл/мл, 1 мл на 60 г грунта), а также суспензия микромицета в присутствии цианобактерии *F. muscicola* ($T = (3.00 \pm 0.05) \cdot 10^9$ кл/мл, 5 мл на 60 г грунта), гриба *T. viride* ($T = (5.0 \pm 0.1) \cdot 10^9$ кл/мл, 5 мл на 60 г грунта) и смеси *F. muscicola* с *T. viride* в аналогичных количествах. В качестве контроля использовали мелиссу, выращенную на грунте без добавления микроорганизмов. Мелиссу выращивали при температуре 20–22 °С и световом режиме: 12 ч – день, 12 ч – ночь. Содержание фенольных соединений в экстрактах из зеленой части растений определяли с помощью реактива Фолина-Чокальтеу. Результаты выражали как эквивалент 1 г галловой кислоты на 1 г массы (Алексеева, Болотник, 2013). Интенсивность ПОЛ была определена спектрофотометрическим методом по содержанию малонового диальдегида (Лукаткин, 2002).

Установлено, что достоверно увеличивается по сравнению с контролем интенсивность ПОЛ и содержание фенольных соединений в листьях растений, выращенных с внесением в грунт микроорганизмов (см. таблицу). При этом коэффициент корреляции между данными показателями составляет 0.75 (степень взаимосвязи выше среднего).

**Влияние микроорганизмов
на химический состав растений мелиссы лекарственной**

Вариант	МДА, нмоль/г сырой массы	Фенольные соединения, мг/г	
		Сырой массы	Сухой массы
Контроль	20.0±2.5	7.4±0.1	64.5±5.7
<i>F. culmorum</i>	118.7±2.5	24.9±0.7	95.1±0.2
<i>F. culmorum</i> + <i>F. muscicole</i>	100.8±5.1	13.95±0.14	89.0±4.0
<i>F. culmorum</i> + <i>T. viride</i>	88.6±6.3	13.3±0.8	88.6±3.3
<i>F. culmorum</i> + <i>F. muscicole</i> + <i>T. viride</i>	91.1±4.7	9.41±0.08	84.8±1.0

Примечание. В качестве погрешности использовалось среднее квадратическое отклонение.

Известно, что в стрессовых условиях в клетках происходит увеличение содержания активных форм кислорода, которые вызывают изменения в метаболизме. В ответ на повышенное содержание высокореактивных форм кислорода в клетках происходит активация антиоксидантной системы, действие которой направлено на снижение уровня АФК. Рост интенсивности процессов ПОЛ в клетках растений мелиссы свидетельствует о том, что присутствие микроорганизмов в среде выращивания оказывает стрессовое действие на растения. В ответ на активацию процессов ПОЛ в растительных клетках происходит накопление фенолов, которые выполняют роль антиоксидантов, способствуют повышению устойчивости растений в стрессовых условиях (Полярова, Сапарклычева, 2019). В большей степени инициирует развитие окислительных процессов в клетках мелиссы *F. culmorum* в монокультуре и в меньшей степени в вариантах, где добавлена культура *T. viride*, о чем свидетельствуют данные по накоплению МДА и фенолов. Присутствие *F. muscivole* снижает стресс, обусловленный микромицетом, однако незначительно. Также стоит отметить, что в сухой мелиссе содержание фенольных соединений в 4–8 раз превышает содержание в сыром виде.

Полученные данные свидетельствуют о том, что присутствие в грунте для выращивания патогенного микромицета *F. culmorum* оказывает стрессовое действие на растения. Повысить устойчивость растений в условиях загрязнения грунтов *F. culmorum* можно путем внесения микроорганизмов – антагонистов *F. muscivole* + *T. viride*.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеева Л.И., Болотник Е.В. Розмариновая кислота и антиоксидантная активность *Prunella grandiflora* и *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) // Растительный мир Азиатской России, 2013. № 1(11). С. 121–125.

Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Конарев А.В., Хорева В.И., Шаварда А.Л., Блинова Е.В., Гнутиков А.А. Биохимические аспекты взаимодействия грибов и растений на примере фузариоза овса // Сельскохозяйственная биология, 2019. Т. 54. № 3. С. 575–588.

Лукаткин А.С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений. 1. Образование активированных форм кислорода при охлаждении растений // Физиология растений, 2002. Т. 49. С. 697–702.

Полярова Н.М., Сапарклычева С.Е. Физиологическая роль фенольных соединений // Аграрное образование и наука, 2019. № 4. 14 с. (электронный журнал).

Фокина А.И., Скугорева С.Г., Домрачева Л.И., Ковина А.Л. Антагонистическая и сорбционная активность моно-, бинарных и трёхвидовых биоплёнок почвенных цианобактерий // Теоретическая и прикладная экология, 2020. № 3. С. 119–125.

АДАПТАЦИЯ РАСТЕНИЙ *TRITICUM DICOCOIDES* И *TRITICUM AESTIVUM* К ДЕФИЦИТУ ЦИНКА В СУБСТРАТЕ

А.А. Игнатенко, Н.М. Казнина

Институт биологии ФИЦ Карельского НЦ РАН

E-mail: angelina911@ya.ru

Дефицит цинка в почве является одним из наиболее часто встречающихся дефицитов микроэлементов в мире. При этом он еще и наиболее опасен для растений, что связано с большой функциональной ролью цинка в клеточном метаболизме. Известно, что в условиях недостатка цинка в почве у растений замедляется скорость фотосинтеза и дыхания, нарушается водный обмен, тормозится рост и развитие, что приводит к снижению их продуктивности (Sadeghzadeh, 2013; Казнина, Титов, 2019). Вместе с тем, способность растений к адаптации к дефициту цинка различна у разных видов (сортов, генотипов), что во многом связано с разной эффективностью функционирования у них механизмов, действующих в том числе на уровне физиологических процессов.

Пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.) является одной из главных сельскохозяйственных культур, входящих в рацион питания человека и животных в большинстве стран мира. Поэтому постоянно ведется работа по селекции этого вида, направленная на создание высокопродуктивных сортов. Однако при этом довольно часто снижается устойчивость растений к стресс-факторам. Напротив, дикорастущая пшеница (*Triticum dicoccoides* Schrank ex Schübl.) характеризуется более высокой устойчивостью, например, к разного рода болезням, резким колебаниям температуры в течение вегетационного сезона и полеганию. Способность же этого вида адаптироваться к дефициту цинка в субстрате не изучена. Вместе с тем такого рода данные важны с точки зрения создания новых устойчивых к недостатку этого микроэлемента сортов мягкой пшеницы. Исходя из вышеизложенного, задачей работы явилось изучение адаптации *Triticum dicoccoides* и *T. aestivum* сорта Фестивальная к дефициту цинка в субстрате.

Опыты проводили в вегетационных условиях в песчаном субстрате. Полив осуществляли питательным раствором Хогланда-Арнона с добавлением микроэлементов, в том числе цинка в концентрации 2 мкМ (контроль). В опытном варианте цинк в раствор не добавляли. Оценку воздействия дефицита цинка на растения проводили в фазу выхода в трубку и в фазу созревания семян. В фазу выхода в трубку у растений изучали морфометрические показатели (высота побега, площадь пятого листа) и параметры фотосинтетической

активности (содержание хлорофиллов, интенсивность фотосинтеза, устьичная проводимость). В фазу созревания семян измерялась высота побега и площадь шестого (флагового) листа, анализировалась семенная продуктивность. Семена растений были предоставлены сотрудниками Института цитологии и генетики НАН Беларуси.

В ходе исследования выявлены некоторые сходства и различия в ответной реакции растений на дефицит цинка между двумя изученными видами. Так, в фазу выхода в трубку высота побега у обоих видов при дефиците цинка оставалась на уровне контроля (см. таблицу). Вместе с тем в этих условиях у *T. dicoccoides* увеличивалась (по сравнению с контролем) площадь пятого (подфлагового) листа, который играет важную роль в снабжении формирующегося колоса ассимилятами, тогда как у *T. aestivum*, она, напротив, уменьшалась.

Анализ содержания хлорофиллов в подфлаговом листе выявил снижение их концентрации в опытных вариантах у обоих видов, причем у *T. dicoccoides* даже в большей степени (на 11% по сравнению с контролем), чем у *T. aestivum* (на 5%) (см. таблицу). Однако при этом скорость фотосинтеза у растений сорта Фестивальная замедлялась и составила лишь 76% от контроля, тогда как у дикорастущей пшеницы она, наоборот, возрастала (на 28% по сравнению с контролем). Известно, что поддержанию необходимой скорости фо-

Влияние дефицита цинка на ряд показателей роста, фотосинтетического аппарата и семенной продуктивности растений *T. dicoccoides* и *T. aestivum*

Показатель	<i>T. dicoccoides</i>		<i>T. aestivum</i>	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Фаза выхода в трубку				
Высота побега, см	43.83 ± 1.12	43.48 ± 0.77	39.38 ± 1.41	40.65 ± 1.00
Площадь пятого листа, см ²	6.34 ± 0.45	8.56 ± 0.41*	14.05 ± 0.68	12.10 ± 1.01*
Содержание хлорофиллов, у.е. SPAD	37.82 ± 1.07	33.54 ± 1.00*	39.85 ± 0.73	37.88 ± 0.43*
Интенсивность фотосинтеза, мкмоль/(м ² с)	3.54 ± 0.18	4.54 ± 0.14*	5.07 ± 0.31	3.85 ± 0.42*
Устьичная проводимость, ммоль/(м ² с)	41.25 ± 2.31	38.68 ± 1.95	61.5 ± 6.87	45.25 ± 7.69*
Фаза созревания семян				
Площадь шестого листа, см ²	5.27 ± 0.32	6.32 ± 0.36	7.32 ± 0.54	7.07 ± 0.58
Количество семян на колосе главного побега, шт.	15.78 ± 0.56	17.10 ± 0.53*	20.63 ± 2.47	21.45 ± 1.78
Общее количество семян, шт.	27.21 ± 1.86	32.60 ± 2.09*	22.84 ± 2.43	21.84 ± 1.78
Биомасса семян, г	0.51 ± 0.05	0.73 ± 0.05*	0.83 ± 0.09	0.94 ± 0.08

* Различия с контролем статистически значимы при $p < 0.05$.

тосинтеза способствует сохранение активности устьичного аппарата и размеров устьичной щели. В нашем опыте у *T. dicoccoides* при дефиците цинка устьичная проводимость была на уровне контроля, что может свидетельствовать об отсутствии изменений в степени раскрытия устьиц, тогда как у *T. aestivum* она заметно снижалась (на 26% по сравнению с контролем).

В фазу созревания семян у растений пшеницы обоих видов в условиях дефицита цинка отмечалось некоторое уменьшение высоты побега, при этом площадь шестого (флагового) листа была на уровне контроля. Вместе с тем у опытных растений *T. dicoccoides* увеличивалось по сравнению с контрольными количество семян в колосе главного побега, а также повышалось общее количество семян и их биомасса (на 20 и 43% соответственно) (см. таблицу).

В целом, результаты исследований позволяют заключить, что *T. dicoccoides* лучше адаптируется к дефициту цинка в субстрате, чем *T. aestivum* сорта Фестивальная. Увеличение у опытных растений *T. dicoccoides* площади листовой пластинки подфлагового листа, сохранение устьичной проводимости и усиление интенсивности фотосинтеза в фазу выхода в трубку способствовало не только дальнейшему росту и развитию в неблагоприятных условиях среды, но и увеличению их семенной продуктивности.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант Бел_а № 20-516-00016) и средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0074).

ЛИТЕРАТУРА

Sadeghzadeh B. A review of zinc nutrition and plant breeding // J. Soil Sci. Plant Nutr., 2013. V. 13. № 4. P. 905–927.

Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние дефицита цинка на физиологические процессы и продуктивность культурных злаков // Успехи современной биологии, 2019. Т. 139. № 3. С. 280–291.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ЭКСПЛАНТОВ *PINUS SYLVESTRIS* L. В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

Р.В. Игнатенко, М.А. Ершова, В.М. Прокопюк, Н.А. Галибина
Отдел комплексных научных исследований ФИЦ Карельского НЦ УрО РАН
E-mail: ocean-9@mail.ru

Представители рода *Pinus* широко распространены по всему Северному полушарию и являются экономически важными древесными видами. Биотехнология соматического эмбриогенеза перспектив-

на для массового размножения сосен и позволяет производить клоны данных древесных пород для целей промышленности и лесовосстановления (Шуклина, Третьякова, 2019). Соматический эмбриогенез – это асексуальный способ микроклонального размножения, который основан на тотипотентности растительных клеток (Третьякова и др., 2014). В результате такого способа размножения образуется множество генетически идентичных соматических зародышей, которые могут быть получены в течение всего года, не ожидая следующего вегетативного сезона. Однако на стадии инициации существует ряд трудностей: короткий промежуток времени, в течение которого экспланты вводятся в культуру *in vitro*, низкая частота инициации эмбрионного каллуса (Шуклина, Третьякова, 2019). Кроме того, важную роль играет генотип растения – не все экспланты обладают компетентностью к соматическому эмбриогенезу.

В вегетативный сезон 2019 г. на Петрозаводской лесосеменной плантации I порядка (подзона средней тайги, Республика Карелия) было проведено контролируемое опыление семи деревьев *Pinus sylvestris* L. Данные клоны являются кандидатами в элитные растения. В летний период 2020 г. (23–25 и 29 июня, 7–8 и 21 июля, 3 августа) с исследуемых клонов были собраны незрелые семена. В лабораторных условиях семена стерилизовали по протоколу № 7, который указан в таблице. Затем мегагаметофиты в асептических условиях извлекали из семян и помещали на питательную среду DCR с модификациями (Burg et al., 2005). Стадию развития зародыша определяли с использованием стереомикроскопа.

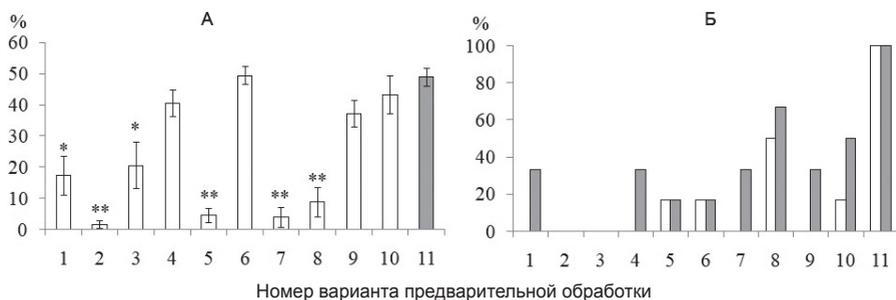
После 2 мес. культивирования инициация соматического эмбриогенеза (экструзия эмбрионной ткани) наблюдалась лишь у эксплантов, собранных 21 июля 2020 г. Инициация каллусообра-

Варианты стерилизующей обработки растительного материала

№	Мыло	KMnO ₄ 10%	Белизна	C ₂ H ₅ OH 70%	H ₂ O ₂ 15%	H ₂ O ₂ 20%	HCl 0.1N
1	10 мин	–	10 мин	5 мин	5 мин	–	–
2		–	10 мин	5 мин	–	–	–
3		–	–	5 мин	5 мин	–	–
4		–	5 мин	–	–	–	–
5		–	–	5 мин	–	–	–
6		–	–	–	5 мин	–	–
7		10 мин	–	10 мин	5 мин	–	–
8		–	10 мин	–	–	7 мин	10 мин
9		–	10 мин	–	–	10 мин	–
10		–	10 мин	–	5 мин	–	–
11	–	–	–	–	–	–	–

зования у клонов *P. sylvestris* протекала с разной частотой – от 43 до 85%, однако дальнейшее образование каллуса не происходило. В результате предварительных исследований было установлено, что 70%-ный этанол оказывал губительное воздействие на растительные организмы. В связи с этим были проведены эксперименты, направленные на исследование влияния различных стерилизующих растворов (см. таблицу) на всхожесть зрелых семян *P. sylvestris*, которые были собраны в природных популяциях Олонецкого района Республики Карелия в 2017 г. и предоставлены отделом «Карельская лесосеменная станция» филиала ФБУ Рослесозащита ЦЗЛ Ленинградской области.

В результате предварительной оценки влияния различных концентраций перекиси водорода (5, 7, 10, 15, 20%), а также длительности обработки по времени (5–8, 10 мин.) было установлено, что ни один вариант не оказывает сильного влияния на всхожесть семян, и опытные образцы значительно не отличаются от контрольных (не обработаны стерилизующими растворами, № 11). В ходе исследования было установлено, что из 10 апробированных вариантов предварительной стерилизации (см. таблицу) на всхожесть зрелых семян *P. sylvestris* в сравнении с контролем не оказали воздействия протоколы № 4, 6, 9 и 10 (см. рисунок). Стоит отметить, что на 15-е сут. после предварительной обработки контаминация наблюдалась во всех чашках Петри, кроме тех, которые стерилизовали в соответствии с протоколами № 2 и 3. В некоторых опытных образцах контаминация была зарегистрирована на 7-е сут. после начала эксперимента (см. рисунок).



Лабораторная всхожесть семян (А) (белые столбики – опытные варианты; серый столбик – контроль) и доля чашек Петри, подвергшихся контаминации (Б) (белые столбики – 7-е сут.; серые столбики – 15-е сут.) при разной стерилизующей обработке. Статистически значимые различия между контролем и анализируемыми вариантами предварительной обработки: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$.

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что для достижения максимального обеззараживания семян *P. sylvestris*, произрастающих в среднетаежных фитоценозах Карелии, а также сохранения их жизнеспособности необходимо использовать коммерческое средство жидкое отбеливающее «Белизна» и 20% -ную перекись водорода.

ЛИТЕРАТУРА

Третьякова И.Н. Ворошилова Е.В., Шуваев Д.Н. Каллусогенез и индукция соматического эмбриогенеза у гибридных семян *Pinus sibirica* / Физиология растений, 2014. Т. 61. № 2. С. 297–303.

Шуклина А.С. Третьякова И.Н. Соматический эмбриогенез видов рода *Pinus* в культуре *in vitro* // Успехи современной биологии, 2019. Т. 139. № 2. С. 184–195.

Burg K., Helmersson A., Bozhkov P., von Arnold S. Developmental and genetic variation in nuclear microsatellite stability during somatic embryogenesis in pine // Journal of Experimental Botany, 2007. V. 58. № 3. P. 687–698.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ У САЖЕНЦЕВ *PICEA ABIES* L. ПРИ РАЗНЫХ ВАРИАНТАХ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЯ

А.В. Кикеева, Е.В. Новичонок, В.А. Харитонов
Институт леса Карельского НЦ РАН
E-mail: avkikeeva@mail.ru, enovichonok@inbox.ru

На северо-западе России и странах Северной Европы лесовосстановление после сплошных рубок проводится как естественным, так и искусственным путем (Цветков, 2008; Kuuluvainen et al., 2012). Наиболее быстрым и экологичным способом восстановления хозяйственно ценных хвойных пород на вырубленной площади является сохранение подроста. В условиях его отсутствия или недостаточного количества сократить сроки лесовосстановления может создание подпологовых культур до рубки. Данный способ позволит ускорить восстановление лесной среды на вырубках, что будет способствовать сохранению биологического разнообразия, обеспечению устойчивости сообществ и поддержанию всего спектра экосистемных услуг (Felton et al., 2010). Одним из доминирующих видов в коммерческом лесном хозяйстве является ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.). В многочисленных работах, проведенных на вырубках, показана положительная роль обработки почвы на рост и приживаемость саженцев *P. abies* (Соколов, 2006). Под пологом древостоя такие исследования практически не проводились. Приживаемость и рост саженцев после посадки определяются главным образом раз-

витием корневой системы. Определяющая роль в поглощении питательных веществ принадлежит ассоциации с эктомикоризными грибами (Шубин, 1973).

Целью работы было изучение влияния обработки почвы на развитие корневой системы и формирование эктомикоризы у культур *P. abies* под пологом древостоя.

Опытный участок размером 42×50 м был заложен в смешанном насаждении. Тип леса – черничный свежий, общая формула состава древостоя: I ярус – 6Ос₈₀2Е₁₂₀1С₁₂₀1Б₈₀, II ярус – 10Е₈₀. Обработка почвы включала: 1) создание микроповышений высотой 10–15 см из перемешанных лесной подстилки (А0), гумусового (А1) и минеральных (В1) горизонтов, 2) удаление лесной подстилки и гумусового горизонта и 3) контроль (без обработки почвы). Отобранные по размерам и состоянию трехлетние сеянцы ели с открытой корневой системой высаживались в мае. В конце третьего вегетационного периода выкапывали по пять саженцев с каждого варианта. Корневую систему промывали водой и разделяли на проводящие корни (не имеющие корней последнего порядка) и тонкие (имеющие сосущие корни). Определяли массу, объем и диаметры сырых корней. Затем часть тонких корней фиксировали в смеси этилового спирта, глицерина и дистиллированной воды, взятых в пропорциях 1:1:1. На основании полученных данных рассчитывали площади поверхностей корней (Рожков и др., 2008). Для изучения морфолого-анатомических параметров корней последнего порядка готовили срезы и исследовали их под микроскопом. С каждого варианта опыта исследовано не менее 100 корней, каждый из которых представлен тремя срезами. Статистическая обработка проведена с использованием однофакторного дисперсионного анализа в программе STATISTICA с последующим использованием теста Бонферрони для множественного сравнения. Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$.

Лучшее развитие и рост демонстрировали саженцы в варианте с микроповышениями (см. таблицу), здесь же отмечено и увеличение общей площади боковой поверхности корневой системы (рис. 1). На

Биометрические показатели четырехлетних подпологовых культур *P. abies*

Вариант	Показатели		
	Высота, см	Прирост в высоту, см	Диаметр _{к.ш.} , мм
Контроль (без обработки)	20.5 ± 0.79	2.8 ± 0,17	3.7 ± 0.15
Удаленная подстилка	17.8 ± 0.74	2.2 ± 0,34	3.1 ± 0.17
Микроповышение	20.9 ± 0.84	3.7 ± 0,41	4.0 ± 0.14

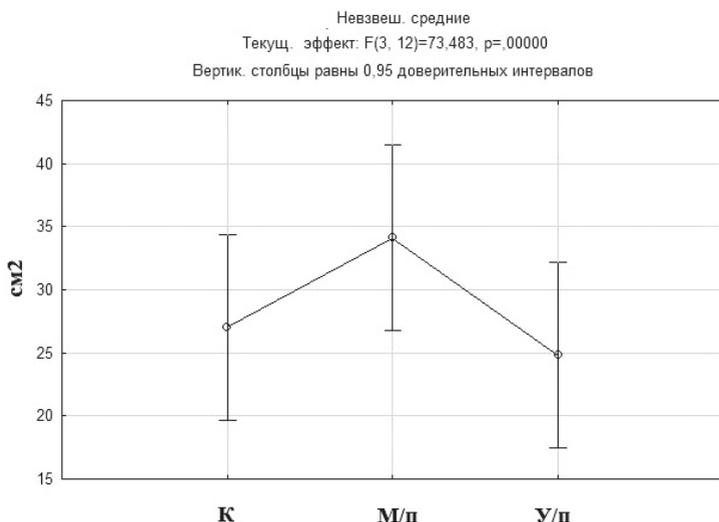


Рис. 1. Общая площадь боковой поверхности (см²) корневой системы *P. abies* при разных вариантах обработки почвы. Здесь и далее: К – контроль, М/п – микрорышения, У/п – удаленная подстилка.

площадках с необработанной почвой и удаленной подстилкой площадь боковой поверхности тонких корней составляет примерно 2/3 от общей площади боковой поверхности корневой системы, тогда как в варианте с микрорышениями оно приближается к 50% (рис. 2).

Площадь боковой поверхности корневой системы саженцев на участках необработанной почвы и с удаленной подстилкой увеличивается за счет роста тонких корней. Особенно четко это проявляется



Рис. 2. Соотношение средних площадей боковых поверхностей проводящих и тонких корней *P. abies* при разных вариантах обработки почвы (%).

ся на участках с удаленной подстилкой. Вероятно, в условиях недостатка питательных веществ происходит развитие тонких корней для увеличения площади поглощения. В условиях микроповышений, по-видимому, нет недостатка и отмечается уравнивание в процентном отношении поверхностей тонких и проводящих корней. Отмечено, что корни последнего порядка представлены не только эктомикоризой, но и микоризованными структурами, которые нельзя идентифицировать как эктомикоризу (рис. 3). Эти структуры не имеют оформленного грибного чехла. Они имеют четко выраженную практически во всех случаях доходящую до цилиндра сеть Гартига и везикулы с мицелием в клетках корня.

В участках контроля большинство корней последнего порядка (60%) представлено эктомикоризой, чуть больше четверти корней – микоризованными структурами (26%). На участке с микроповышениями доля корней, представленных эктомикоризами, резко снижается (19%) и увеличивается доля микоризованных структур (51%) и корней с нарушенной структурой (30%) (рис. 4).

Грибной чехол служит поверхностью активного поглощения пи-

тательных веществ и способен увеличивать свою долю в объеме корневого окончания в стрессовых условиях. Вероятно, микоризованные структуры корней последнего порядка являются промежуточным вариантом строения. В условиях, когда растение не нуждается в большой поверхности поглощения (нет недостатка питательных веществ), не происходит развитие полноценных эктомикоризных структур или происходит их инволюция. На участке микроповышений созданы более благоприятные для роста саженцев условия, не требующие интенсивного развития тонких корней и в целом создания большой поверхности поглощения.

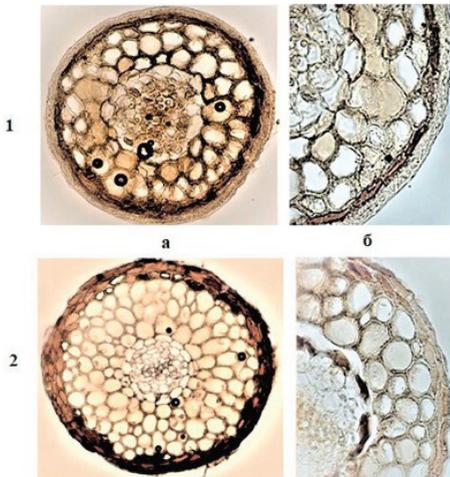


Рис. 3. Срезы корней последнего порядка: 1 – эктомикориза, 2 – микоризованная структура; а – целый срез (увеличение $\times 20$), б – фрагмент края среза (увеличение $\times 40$).

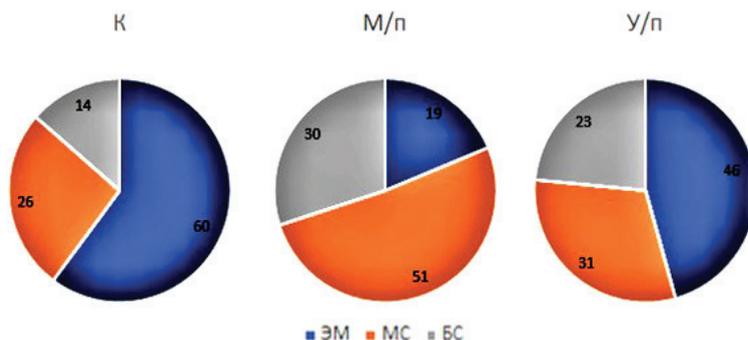


Рис. 4. Соотношение (%) эктомикорризовых (ЭМ) корней, микорризованных структур (МС) и корней с нарушенной структурой (БС) среди корней последнего порядка *P. abies* при разных вариантах обработки почвы.

Финансирование осуществлялось за счет средств РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00485 и из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института леса Карельского НЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории: учеб.-методич. пособие. 2-е изд. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.

Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках северо-запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.

Цветков В.Ф. Лесовозобновление: природа, закономерности, оценка, прогноз. Архангельск, 2008. 212 с.

Шубин В.И. Микотрофность древесных пород, ее значение при разведении леса в таежной зоне. Л.: Наука, 1973. 263 с.

Felton A., Lindbladh M., Brunet J., Fritz O. Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe // *Forest Ecology and Management*, 2010. V. 260 P. 939–947.

Kuuluvainen T. Even-aged and uneven-aged forest management in boreal Fennoscandia: a review // *Ambio*, 2012. V. 41. P. 720–737.

**ОПТИМИЗАЦИЯ БИОСИНТЕЗА ЦЕЛЛЮЛАЗ
ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИМ ГРИБОМ *FOMITOPSIS PINICOLA* (Sw.) P. KARST
ПРИ ТВЕРДОФАЗНОМ И ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ
НА ОПИЛКАХ ЛИСТВЕННЫХ И ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ**

В.В. Мартынов¹, Е.Ю. Кожевникова², Н.Н. Шергина³

¹ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

² Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина

³ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: martynov.v.v@ib.komisc.ru

Одним из многообещающих биотехнологических подходов к получению биотоплива второго поколения является ферментативный гидролиз целлюлозосодержащих древесных отходов до глюкозы с последующей переработкой в биоэтанол (Кожевникова, 2018).

В природе встречается большое количество бактерий, микро- и макромицетов, способных разрушать целлюлозу до глюкозы за счет действия целлюлолитических ферментов. По сравнению с грибами бактерии характеризуются более высокой скоростью роста, однако грибы обладают повышенной проникающей способностью в субстрат, что делает их более эффективными деструкторами целлюлозы, а следовательно, дает возможность использовать их в промышленных масштабах (Socol et al., 2017; Farinas, 2015).

Известно, что базидиальные грибы делятся на две группы: грибы белой и бурой гнили. Основное различие между ними заключается в различной способности разрушать компоненты древесины: лигнин и целлюлозу. Грибы бурой гнили, к которым относится объект нашего исследования *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst, способны более активно разрушать целлюлозу, не разрушая при этом лигнин.

В работе использовали дереворазрушающий гриб *F. pinicola* штамм 5.21 из коллекции Российского государственного университета нефти и газа (национальный государственный университет) им. И.М. Губкина.

Цель исследования заключалась в варьировании концентрации минеральных компонентов в питательной среде при культивировании гриба на целлюлозосодержащих субстратах (опилках лиственных и хвойных пород) для повышения выхода ферментов целлюлазного комплекса.

Культивирование продуцента целлюлаз *F. pinicola* проводили на среде Норкранса с добавлением опилок хвойных и лиственных пород двумя способами:

– глубинное культивирование в колбах Эрленмейера объемом 250 мл, 50 мл рабочей объем, 1.5 г опилок, в течение 14 сут. на шейкере при 120-130 об./мин. при температуре 25-26 °С;

– твердофазная ферментация в чашках Петри, 4 г опилок, степень увлажнения 70–75%, в течение 14 сут. в стационарном режиме.

Определение общей целлюлазной активности проводили по осаживанию фильтровальной бумаги (АФБ-активность), основанному на определении восстанавливающих сахаров, образующихся при действии ферментов целлюлазного комплекса на фильтровальную бумагу. Содержание восстанавливающих сахаров определяли по методу Шомоди-Нельсона.

Установлено, что удовлетворительный рост штамма-продуцента наблюдается на опилках обеих пород как при глубинном, так и при твердофазном культивировании. Образование плотного мицелия наблюдалось на 7–9-е сут. со дня посева. Максимальная АФБ-активность наблюдалась на 10-е сут. при глубинном культивировании на опилках лиственных пород деревьев и на 14-е сут. – при культивировании на опилках хвойных пород (табл. 1).

Оптимизацию состава питательной среды проводили с применением методов математического планирования эксперимента путем построения матрицы планирования, что позволило подобрать концентрации опилок и минеральных компонентов питательной среды для достижения максимального выхода целлюлаз при глубинном культивировании штамма-продуцента. Математическая обработка полученных экспериментальных данных позволила вывести уравнение регрессии:

$$P = 4.48 + 0.49b_1 + 0.16b_2 - 0.6b_3 - 0.22b_4,$$

связывающее содержание компонентов минерального питания с выходом ферментов в среду. Показано, что все исследуемые факторы значимы, при этом положительный эффект отмечен для количества опилок лиственных пород (b_1) и концентрации виннокислого аммония (b_2) в питательной среде, в то время как отрицательный эффект

Таблица 1

**Общая целлюлазная активность (АФБ-активность)
при твердофазном культивировании *Fomitopsis pinicola*
на опилках хвойных и лиственных пород деревьев**

Опилки \ Сутки	АФБ-активность (ед./мл) (по количеству глюкозы, образовавшейся в реакционной смеси)				
	3	5	7	10	14
Хвойные	7.4±0.4	11.2±1.0	12.2±1.2	12.7±0.4	13.6±1.4
Лиственные	7.2±0.3	7.7±0.8	10.3±1.0	10.9±0.5	10±0.7

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента по оптимизации питательной среды

Параметр	Наименование факторов (концентраций компонентов среды)				
	Фактор 1 (b1) Опилки, г	Фактор 2 (b2) Аммоний виннокис- лый, мг/ мл	Фактор 3 (b3) КН ₂ РО ₄ , мг/ мл	Фактор 4 (b4) MgSO ₄ ·7H ₂ O, мг/ мл	
Основной уровень (S) ₀	2.5	0.05	0.05	0.025	
Максимальный уровень (S) _{max}	5	0.1	0.1	0.05	
Минимальный уровень (S) _{min}	0	0.0	0.0	0.0	
Интервал варьирования λ _i	1	0.02	0.02	0.01	
Матрица планирования эксперимента	1	(-) 1.5	(-) 0.03	(-) 0.03	(-) 0.015
	2	(+) 3.5	(-) 0.03	(-) 0.03	(+) 0.035
	3	(-) 1.5	(+) 0.07	(-) 0.03	(+) 0.035
	4	(+) 3.5	(+) 0.07	(-) 0.03	(-) 0.015
	5	(-) 1.5	(-) 0.03	(+) 0.07	(+) 0.035
	6	(+) 3.5	(-) 0.03	(+) 0.07	(-) 0.015
	7	(-) 1.5	(+) 0.07	(+) 0.07	(-) 0.015
	8	(+) 3.5	(+) 0.07	(+) 0.07	(+) 0.035

наблюдался для концентраций гидрофосфита калия (b3) и сернокислого магния семиводного (b4) (табл. 2).

Полученные данные по оптимизации питательной среды свидетельствуют о перспективности дальнейшей работы с грибом *F. pinicola* в качестве продуцента целлюлаз.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории биохимии и биотехнологии ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН за проявленный интерес к работе.

Работа выполнена по теме государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № АААА-А17-117121270025-1.

ЛИТЕРАТУРА

Кожевникова Е.Ю. Прямая конверсия лигноцеллюлозного сырья в биоэтанол с использованием базидиальных грибов: Дисс. ... канд. хим. наук. М., 2018.

Socol C.R., Costa E.S.F., Letti L.A.J., Karp S.J., Woiciechowski A.L., Vandenberghe L.P.S. Recent developments and innovations in solid state

fermentation // Biotechnology Research and Innovation, 2017. V. 1. № 1. P. 52–71.

Farinas C.S. Developments in solid-state fermentation for the production of biomass-degrading enzymes for the bioenergy sector // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. V. 52. P. 179–188.

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКАРИОТИЧЕСКОГО БЕЛКА СЕМЕЙСТВА АРГОНАВТОВ

В.А. Пантелеев^{1,2}, Е.В. Кропачева¹, Л.А. Лисицкая¹, А.В. Кульбачинский¹,
Д.М. Есюнина¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт»

² Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –
МВА им. К.И. Скрябина

E-mail: pantelev.vova205@yandex.ru

Белки-аргонавы – металл-зависимые эндонуклеазы, использующие короткие гидовые нуклеиновые кислоты для узнавания и специфического расщепления нуклеиновых кислот-мишеней. Эукариотические белки-аргонавы (eAgo) широко распространены у эукариот и известны как участники РНК-интерференции (Олина и др., 2018). Гомологичные им прокариотические аргонавы (pAgo) более разнообразны и менее исследованы. Изучение прокариотических аргонавов важно, так как они имеют большой потенциал использования *in vitro* и *in vivo*, например, для геномного редактирования (Enghiad et al., 2017; Hegge et al., 2018). Недавние исследования показывают, что аргонавы могут играть важную роль у прокариот (Kuzmenko et al., 2020).

Цель нашей работы – охарактеризовать особенности эндонуклеазной активности бактериального аргонава EmaAgo из мезофильной бактерии. Важность исследования мезофильных pAgos по сравнению с термофильными обусловлена слишком малой активностью термофильных pAgos при физиологических температурах, что является лимитирующим фактором для их применения *in vivo*.

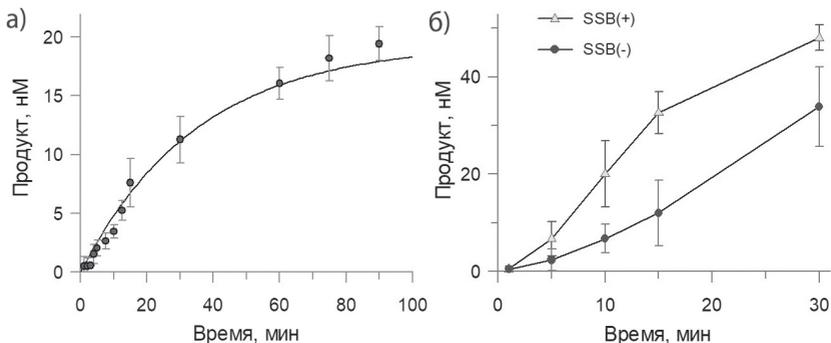
В процессе получения белка плазида pBAD с геном аргонава была трансформирована в клетки *E. coli* BL21(DE3), затем белок был оверэкспрессирован и очищен с помощью металл-аффинной хроматографии и хроматографии на гепариновой колонке. С полученным образцом ставили опыты *in vitro*.

Первую серию экспериментов проводили на линейной одноцепочечной мишени, использовали химически синтезированные линейные одноцепочечные мишени и гиды, комплементарные участку мишени. Уровень активности аргонава оценивали по количеству специфических продуктов разрезания мишени. Было показано, что

EmaAgo является ДНК-зависимой ДНК-нуклеазой, обладает активностью в промежутке 37–65 °С, предпочитает Mn^{2+} в качестве бивалентного катиона металла, имеет максимальную активность при 100 мМ концентрации NaCl и при pH = 7.4–8. EmaAgo имеет предпочтение к дезоксиаденозину в качестве 5'-концевого нуклеотида в гиде и использует 5'-фосфорилированный гид, как и большинство других аргонавтов. Оптимальная длина гида для EmaAgo составляет 18 нуклеотидов. Наличие мисматчей между гидом и мишенью влияет на уровень активности аргонавта и может приводить к сдвигу сайта разрезания мишени, причем это воздействие зависит от положения некомплементарного нуклеотида в гиде.

Также были измерены кинетические параметры работы аргонавта в условиях однораундной реакции, когда комплекс аргонавт–гид представлен в большом избытке по сравнению с мишенью. Использовалась флуоресцентно-меченая мишень с красителем Су5 на 5'-конце. Была получена кривая зависимости количества продукта от времени (см. рисунок) и вычислена наблюдаемая константа скорости, равная $0.029 \pm 0.003 \text{ мин}^{-1}$.

Для проверки способности аргонавтов работать на двуцепочечной ДНК мишени был поставлен опыт с кольцевой плазмидной ДНК и комплементарными ей гидами. По результатам опыта было доказано наличие у EmaAgo гид-независимой эндонуклеазной активности, которой также обладают некоторые другие прокариотические аргонавты, в то время как специфической эндонуклеазной активности детектировано не было. Способность аргонавта осуществлять направленное разрезание двуцепочечных мишеней требует дальнейшего исследования.



Кинетика разрезания мишени аргонавтом в однораундных условиях (а); влияние SSB-белков на активность аргонавта (б).

В предыдущих работах *in vitro* было доказано, что активность Argos может быть стимулирована белками, вовлеченными в процессинг ДНК (Hunt et al., 2018). Нами была проверена возможность взаимодействия SSB-белков с аргонавтом. SSB-белки предварительно инкубировали с мишенью отдельно от аргонавтов и гидов, после этот раствор смешивали с раствором аргонавта, загруженного гидом. Было показано, что SSB-белки увеличивают скорость реакции, катализируемой аргонавтом (см. рисунок). Можно предположить, что эти белки функционально связаны с аргонавтом *in vivo*.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что EmaArgo является ДНК-зависимой ДНК-нуклеазой и способен специфично расщеплять однонитевую ДНК при физиологической температуре *in vitro*. Получены данные об оптимальных условиях для работы аргонавта *in vitro*, исследованы кинетические параметры его работы и показана стимуляция активности аргонавта SSB-белками. Результаты нашей работы могут помочь глубже понять принципы функционирования прокариотических белков-аргонавтов и приблизиться к их применению для генетических манипуляций.

ЛИТЕРАТУРА

Олина А.В., Кульбачинский А.В., Аравин А.А., Есюнина Д.М. Белки аргонавты и механизмы РНК-интерференции у эукариот и прокариот // Биохимия, 2018. Т. 83. № 5. С. 483–497.

Enghiad B., Zhao H. Programmable DNA-Guided Artificial Restriction Enzymes // ACS Synthetic Biology, 2017. V. 6. № 5. P. 752–757.

Hegge J.W., Swarts D.C., van der Oost J. Prokaryotic Argonaute proteins: novel genome-editing tools? // Nature Reviews Microbiology, 2018. V. 16. № 1. P. 5–11.

Hunt E.A., Evans T.C. Jr., Tanner N.A. Single-stranded binding proteins and helicase enhance the activity of prokaryotic argonautes *in vitro* // PLoS One. 2018. V. 13. № 8.

Kuzmenko A., Oguienko A., Esyunina D., Yudin D., Petrova M., Kudina A., Maslova O., Ninova N., Ryazansky S., Leach D., Aravin A.A., Kulbachinskiy A. DNA targeting and interference by a bacterial Argonaute nucle- ase // Nature. 2020. V. 587. № 7835. P. 632–637.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В КЛЕТКАХ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLOROMONAS RETICULATA* (GOROSCHANKIN) GOBI

А.А. Петухов^{1,2}, В.Н. Серебрякова¹, И.В. Новаковская², О.В. Дымова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: prutyaa@gmail.com

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: dymovao@ib.komisc.ru

Микроводоросли – важные возобновляемые сырьевые ресурсы планеты. Интерес к каротиногенным микроводорослям в последние годы сильно возрос. Эти одноклеточные микроводоросли способны в неблагоприятных условиях накапливать вторичные каротиноиды (ВКар). ВКар не участвуют в фотосинтезе и локализованы во внеклеточных структурах (Del Campo et al., 2007). Основные функции ВКар у микроводорослей: 1) экранирование избыточной радиации, 2) создание стока для избыточных фотоассимилятов, 3) детоксикация уже образовавшихся активных форм кислорода.

У некоторых микроводорослей конечным продуктом биосинтеза ВКар является астаксантин – красный пигмент из группы кислородсодержащих каротиноидов (ксантофиллов). Астаксантин обладает мощными антиоксидантными свойствами и в клетках водорослей выступает в роли защитного фильтра от излучения (Bidigare et al., 1993). Благодаря своей антиоксидантной активности он может служить мощным поглотителем свободных радикалов (Hussen et al., 2006). Астаксантин защищает клетки от фотоповреждения путем оптического экранирования поглощающих свет фотосинтетических пигментов.

Данная работа является разделом комплексных исследований, направленных на изучение морфофизиологических, экологических и молекулярно-генетических особенностей штамма *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi (SYKOACh-054-11) из коллекции живых штаммов микроводорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Водоросль была выделена с поверхности снега, окрашенного в красный цвет, в июле 2010 г. на территории Приполярного Урала (Novakovskaya et al., 2018). *Chloromonas reticulata* – зеленая водоросль с широким ареалом, встречается в воде и почвенной среде, вызывает цветение снега и льда. Представлена одиночными двужгутиковыми клетками с эллипсоидной или яйцевидной формой, 11-20 мкм в длину и 5–15 мкм в ширину.

Ранее нами было установлено (Дымова и др., 2020), что при сильном освещении (500 мкмоль/(м²с) ФАР) в клетках водоросли содержание каротиноидов на порядок повышалось. Среди пигментов преобладал β-каротин (36% от суммы каротиноидов), присутствовали ксантофиллы неоксантин и лютеин (по 24% каждый) и компоненты виолаксантинового цикла (ВКЦ): виолаксантин, антераксантин и зеаксантин. Повышение освещенности способствовало синтезу астаксантина (0.5% от суммы каротиноидов).

Целью настоящей работы было изучить влияние разных температур и окислительного стресса на состав и содержание индивидуальных каротиноидов в клетках штамма *Chloromonas reticulata* при культивировании в лабораторных условиях.

Предварительно нами были подобраны оптимальные условия для культивирования штамма. Наибольший прирост биомассы был отмечен при культивировании водоросли на среде BG 11 (pH ≈ 7.1) при температуре 10 °С и освещенности 45 мкмоль/(м²с) ФАР. Было выполнено две серии экспериментов. Все эксперименты проводили в двух повторностях для каждого варианта. В первой серии экспериментов изучали влияние двух температур (10 и 20 °С) на накопление каротиноидов в клетках водоросли. Во второй серии изучали воздействие окислительного стресса на клетки и содержание каротиноидов. Для этого зелёную биомассу нарастили, перевели её на среду BG-11, добавили 200 ммоль/л H₂O₂ и 20 ммоль/л FeCl₂, воздействовали светом 220 мкмоль/(м²с) (день/ночь 16/8 ч) трое суток.

При росте культуры клеток водорослей при разных температурах выявили, что при 10 °С концентрация каротиноидов (41 мкг/мл) была на порядок выше, чем при 20 °С (см. таблицу). При низкой температуре наблюдали накопление всех каротиноидов – β-каротина (на 28%), неоксантина (на 27%), лютеина (на 27%) и компонентов ВКЦ (на 18%). Содержание астаксантина в клетках штамма достигало 1% и было выше при 20 °С.

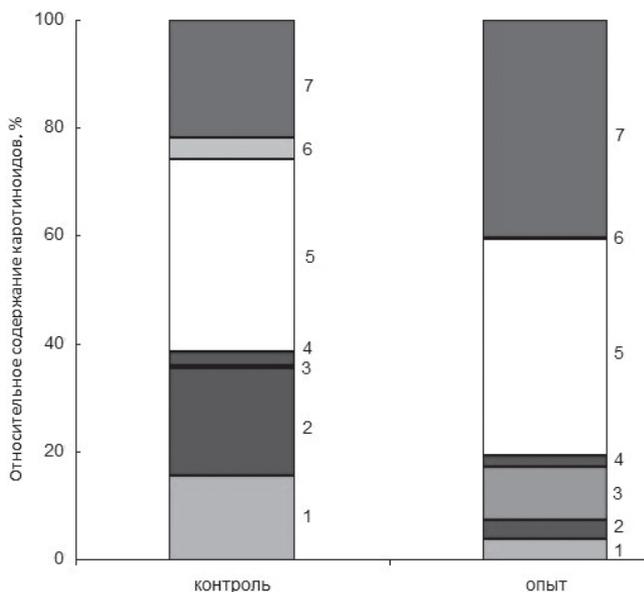
**Влияние температуры на содержание каротиноидов
в клетках водоросли *Chloromonas reticulata*, выращенной на среде BG-11,
мкг/мл (n = 3)**

T, °C	Нео	Вио	Ант	Лют	Зеа	β-кар	Аст	Сумма Кар
10	11±1	6±1	0.29±0.03	11±1	1.04±0.01	11±1	0.16±0.01	41±4
20	0.8±0.1	0.82±0.03	0.05±0.01	1.2±0.1	0.10±0.01	0.9±0.1	0.04±0.01	4.0±0.3

Пигменты: Нео – неоксантин, Вио – виолаксантин, Ант – антераксантин, Лют – лютеин, Зеа – зеаксантин, β-кар – β-каротин, Аст – астаксантин, сумма Кар – сумма каротиноидов.

В эксперименте с воздействием экзогенной перекиси на клетки водоросли показана способность зеленых вегетативных клеток переходить в устойчивые к фотоокислительному стрессу покоящиеся клетки – цисты красно-бурого цвета. Они содержали мало хлорофилла и отличались высоким содержанием β -каротина и непосредственно астаксантина (до 0.5%) (см. рисунок). В данном эксперименте нельзя исключить вероятность фотоокислительного повреждения клеток водорослей на свету, о чем свидетельствовала гибель некоторых клеток и выцветание пигментов.

Итак, получены первые сведения о составе и количестве каротиноидов на примере штамма SYKOA Ch-054-11 (Коллекция живых культур водорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН). В клетках зеленой криофильной водоросли *Chloromonas reticulata* синтезируются β -каротин (предшественник астаксантина), ксантофиллы неоксантин и лютеин и пигменты виолаксантинового цикла (виолаксантин, антераксантин, зеаксантин). Установлено значительное (на порядок выше) накопление каротиноидов при пониже-



Влияние фотоокислительного стресса на содержание каротиноидов в клетках *Chloromonas reticulata*. Варианты: контроль – экспозиция клеток к свету 200 мкмоль/(м² с) ФАР; опыт – воздействие на клетки экзогенной перекиси при освещении 200 мкмоль/(м² с) ФАР. Пигменты: 1 – неоксантин, 2 – виолаксантин, 3 – астаксантин, 4 – антераксантин, 5 – лютеин, 6 – зеаксантин, 7 – β -каротин.

нии температуры культивирования от 20 до 10 °С. Наблюдали тенденцию к индукции синтеза астаксантина при высокой освещенности. Выявлена устойчивость клеток к окислительному стрессу.

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).

ЛИТЕРАТУРА

Дымова О.В., Новаковская И.В., Патова Е.Н., Постельный Д.А., Петухов А.А. Влияние света и температурного режима на содержание каротиноидов в клетках микроводоросли *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi // Биомика, 2020. Т. 12, № 3. С. 359–366.

Bidigare R., Ondrusek M., Kennicutt M., Iturriaga R., Harvey H., Hoham R., Macko S. Evidence a photoprotective for secondary carotenoids of snow algae // Journal of Phycology, 1993. V. 29. P. 427–434.

Del Campo J.A., Garcia-Gonzales M., Guerrero M.G. Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives // Applied Microbiology and Biotechnology, 2007. V. 74(6). P. 1163–1174.

Hussein G., Sankawa U., Goto H., Matsumoto K., Watanabe H. Astaxanthin, a carotenoid with potential in human health and nutrition // Journal of Natural Products, 2006. V. 69. P. 443–449.

Novakovskaya I.V., Patova E.N., Boldina O.N., Patova A.D., Shadrin D.M. Molecular phylogenetic analyses, ecology and morphological characteristics of *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi which causes red blooming of snow in the Subpolar Urals // Cryptogamie, Algologie, 2018. V. 39(2). P. 199–213.

ВНУТРИКЛОНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛЕТОК ХЛОРОФИЛЛОНОСНОЙ ПАРЕНХИМЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. В ЛЕСОСЕМЕННЫХ ПЛАНТАЦИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Н.В. Туманик

Институт леса Карельского НЦ РАН

E-mail: natali.damka@mail.ru

Для получения форм растений с заданными характеристиками огромное значение имеют клоновые лесосеменные плантации. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – евразийский вид, распространенный на территории Евразии от западной части Пиренейского п-ова до побережья Охотского моря. Обладая такой широкой географической амплитудой, сосна является полиморфным видом, образующим множество форм и разновидностей как в пределах одной популяции, так и в пределах географических зон и ареала (Козу-

бов, Муратова, 1986). Вместе с тем, широкая экологическая амплитуда распространения делает этот вид хорошим объектом для исследования механизмов адаптации растений. Исследования, связанные с изучением вариабельности функциональных признаков растений, являются на сегодняшний день крайне важными (Kattge et al., 2020), поскольку дают понимание о широте адаптивных способностей видов, основу для прогнозирования реакций на изменяющиеся условия среды и создают базу для построения долгосрочных программ использования растительных ресурсов, в частности, лесных (Тараканов, 2003).

Хлоренхима является основной тканью, характеризующейся содержанием в клетках фотосинтетических структур – хлоропластов. Клетки хлоренхимы, расположенные в разных слоях ассимиляционной ткани растений, в частности, хвое *Pinus sylvestris*, могут сильно отличаться формой и размерами (Туманик, Зверева, 2020). Вариабельность пространственной организации хлоренхимы наиболее видна на поперечных срезах. Отмечают также, что мезофилл хвои *Pinus sylvestris* представлен одним типом клеток, схожих по строению со срединными клетками фотосинтетической паренхимы листьев злаков (Зверева, 2020).

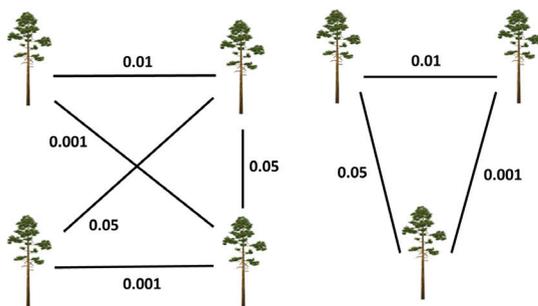
Целью настоящей работы была оценка внутриклональной изменчивости клеток хлорофиллоносной паренхимы *Pinus sylvestris*.

Определение показателей структуры мезофилла проводили у двухлетней хвои с укороченных побегов деревьев *Pinus sylvestris* L., произрастающих на клоновых лесосеменных плантациях, созданных в лесостепной зоне Алтайского края в 1988 г. Отбор проб осуществляли с южной стороны в нижней части кроны. Выборка представлена 11 деревьями – по три-четыре раметы от каждого из трех клонов. Проекции клеток хлоренхимы изучали на поперечных и продольных срезах средней части хвои, фиксированной в смеси Гаммалунда (Гродзинский, Гродзинский, 1973) с помощью микроскопа. Толщину клеток мезофилла измеряли на продольных срезах, высоту, ширину, а также размеры складок мезофилла – на поперечных срезах. Изображения мезоструктуры листа обрабатывали в 30-кратной повторности. Для обработки экспериментальных данных применяли программный комплекс SNEDECOR. Сравнение показателей проводили с помощью параметрического критерия Стьюдента. Для оценки уровня изменчивости признаков использовали шкалу С.А. Мамаева (1973): очень низкий ($CV < 7\%$), низкий ($CV = 8-12\%$), средний ($CV = 13-20\%$), повышенный ($CV = 21-30\%$), высокий ($CV = 31-40\%$), очень высокий ($CV > 40\%$).

Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что размер клеток хлорофиллоносной паренхимы у всех рассмотренных клонов в большинстве случаев имеет средний уровень изменчивости. Среди исследуемых характеристик мезоструктуры были выделены как более, так и менее вариабельные признаки. Так, например, высота клеток первого ряда от эндодермы является более вариабельным признаком, тогда как толщина клеток субгиподермального слоя – наименее вариабельным. В целом следует отметить более высокий уровень изменчивости признаков для клеток первого ряда, расположенных у эндодермы, по сравнению с клетками субгиподермального слоя, что указывает на разнообразие форм и размеров этих клеток. Среди размеров складок ассимиляционных клеток в большей и меньшей степени изменчивыми признаками были соответственно глубина рассечения со стороны гиподермы и эндодермы. Ширина выступов у клеток в рассмотренных слоях хлоренхимы имеет преимущественно средний уровень изменчивости.

В ходе сравнительного анализа размеров складок ассимиляционных клеток были выявлены достоверные различия по всем исследуемым параметрам.

В большинстве случаев внутри клона одно дерево имело более высокую значимость различий от других ветвей клона (см. рисунок). В данном случае можно отметить тенденцию к изменчивости размеров складок ассимиляционных клеток хлорофиллоносной паренхимы хвои *Pinus sylvestris* внутри всех рассмотренных клонов.



Наиболее часто встречаемые схемы уровня значимости различий по размерам складок хлоренхимы между ветвями клоновых деревьев *Pinus sylvestris*.

ЛИТЕРАТУРА

Зверева Г.К. Клетки хлоренхимы сложной формы у растений из семейств *Poaceae* и *Pinaceae* // Растительный мир Азиатской России, 2020. № 1. С. 11–17.

Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев: Наукова думка, 1973. 591 с.

Козубов Г.М., Муратова Е.Н. Современные голосеменные (морфолого-систематический обзор и кариология). Л.: Наука, 1986. 192 с.

Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1973. 283 с.

Тараканов В.В. Структура изменчивости, селекция и семеноводство сосны обыкновенной в Сибири: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Красноярск, 2003. 44 с.

Туманик Н.В., Зверева Г.К. Сравнительная оценка изменчивости размеров ассимиляционных клеток хвой внутри клонов *Pinus sylvestris* L. в лесосеменных плантациях Алтайского края // Научное обозрение. Биологические науки, 2020. № 3. С. 108–113.

Kattge J., Bönisch G., Diaz S. et al. TRY plant trait database-enhanced coverage and open access // Global change biology, 2020. V. 26(1). P. 119–188.

ВЛИЯНИЕ РЕДОКС-СОСТОЯНИЯ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНОЙ ЦЕПИ НА АКТИВНОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПУТИ ДЫХАНИЯ В ЗЕЛЕНЕЮЩЕМ ЛИСТЕ ПШЕНИЦЫ

М.А. Шелякин, М.В. Кырнышева, Р.В. Малышев, Е.В. Гармаш
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: shelyakin@ib.komisc.ru

Митохондриальная электрон-транспортная цепь растений (мЭТЦ) помимо основного цитохромного пути (ЦП) содержит альтернативные нефосфорилирующие пути (НФП). Основными переносчиками по НФП являются альтернативная оксидаза (АОХ), внутренние и внешние НАД(Ф)Н дегидрогеназы (NDs) и разобщающие белки. Считается, что АОХ участвует в окислении избытка восстановителей, экспортируемых из хлоропластов, тем самым «разгружая» фотосинтетическую ЭТЦ и предотвращая развитие окислительного стресса (Vanlerberghe et al., 2020).

Целью данной работы было изучить влияние ингибиторов компонентов мЭТЦ на дыхательную активность и содержание белков НФП в зеленеющем листе пшеницы для оценки роли АОХ в регуляции редокс-баланса митохондриальной цепи. Деэтиоляция включает в себя комплекс изменений, происходящих на разных уровнях организации этиолированных тканей при их переходе в световые условия роста. Основным процессом является светоиндуцируемый биогенез хлоропластов из этиопластов. В процессе этой структурной реорганизации активность защитных систем динамично изменяется. Ранее в наших исследованиях установлена связь альтернативного дыхания со степенью развития фотосинтетического аппарата. Подъем общего дыхания, активности АП и экспрессии *АОХ1а* обнаружен в период 4–12 ч освещения, когда тилакоидная система хло-

ропластов сформирована, но фотосистемы еще полностью не развиты, что способствовало синтезам *de novo* в период быстрого развития хлоропластов и защите от окислительного стресса (Garmash, 2021).

В экспериментах пятисуточные этиолированные проростки пшеницы экспонировали к непрерывному свету интенсивностью 190 мкмоль/м²с фотонов ФАР в течение 48 ч. Для исследований отбирали среднюю часть первого листа этиолированных проростков и спустя 1, 2, 4, 6, 12, 24 и 48 ч экспозиции к свету. Проводили в течение 5 мин вакуумную инфльтрацию с антимицином А (АнтА) (5 мкМ) (ингибитор Комплекса III мЭТЦ и циклического транспорта электронов в фотосистемах), ротеноном (10 мкМ) (ингибитор Комплекса I мЭТЦ) и салицилгидроксамовой кислотой (СГК) (3мМ) (специфический ингибитор АОХ). Общее время экспозиции образцов в растворах ингибиторов – около 1 ч. Определяли дыхательную способность по поглощению O₂, активность альтернативного (АП) и цитохромного (ЦП) путей дыхания с использованием специфических ингибиторов, показатели индуцированной флуоресценции хлорофилла фотосистемы II (ФС II) определяли на флуориметре РАМ 2100, относительное количество белков – методом Вестерн-блоттинга (Garmash et al., 2017).

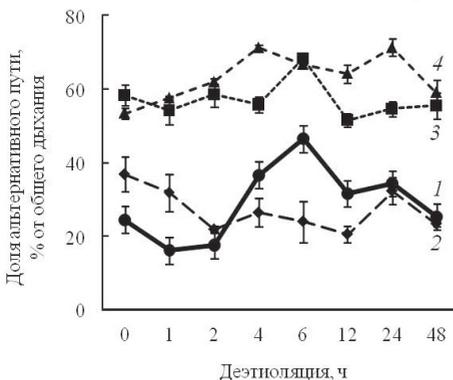
В контрольных условиях величина максимальной фотохимической активности ФС II возрастала в процессе деэтиоляции и достигала значений, характерных для функционально зрелого листа после суток освещения. Коэффициент фотохимического тушения индуцированной флуоресценции хлорофилла (qP) достигал максимальных значений спустя 6 ч зеленения. Максимальные величины коэффициента нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (qN) были зарегистрированы в период 4–12 ч зеленения (0.5–0.6), затем величина qN снижалась. Подобную динамику изменения всех параметров наблюдали и при действии СГК и ротенона. В листьях *Phaseolus vulgaris*, обработанных СГК, ингибитор АОХ не влиял на состояние ФС II, однако перенос растений в условия светового стресса (1800 мкмоль/м²с) ингибировал фотохимическую активность. Это свидетельствовало об участии АОХ в обеспечении оптимальных условий для протекания фотосинтеза через поддержание клеточного редокс-баланса (Feng et al., 2015). АнтА приводил к явным нарушениям активности ФС II и процессов нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла. Все параметры были значительно ниже контрольных величин, что является следствием его ингибирующего влияния на функции ФС II.

Динамика активности общего дыхания инкубированных с ингибиторами листьев повышалась в первые 12 ч деэтиоляции. К кон-

цу экспозиции проростков на свету скорость поглощения O_2 снижалась до начального уровня. При инкубации с СГК изменения скорости поглощения O_2 были связаны главным образом с модуляцией активности цитохромного пути, имеющего схожую с общим дыханием динамику. СГК ожидаемо ингибировала вовлечение АП, доля которого на свету не превышала 30% от общего дыхания (см. рисунок). Инкубация с АнТА и ротеноном вызывала ингибирование ЦП, доля которого варьировала от 20 до 30%. Активность АП превалировала в общем дыхании, а его доля составляла в среднем 60–70%. Величина общего дыхания резко возрастала после 6 ч деэтиоляции, что было связано с увеличением активности АП и его доли в дыхании. После 24 ч деэтиоляции скорость общего дыхания и активность АП снижались.

Определение количества белков НФП позволило уточнить компенсирующую активацию компонентов мЭТЦ в ответ на действие ингибиторов в разных точках их приложения. АтНА и ротенон усиливали синтез АОХ и других компонентов НФП. При действии СГК количество белка АОХ было заметно ниже, а синтез белков NDs усиливался, особенно в начальный (до 6 ч) период деэтиоляции. Таким образом, ингибирование основного ЦП в митохондриях приводило к стабильной активации АОХ, а также компонентов других НФП. Применение ингибитора АОХ активировало как цитохромный путь транспорта, так и других НФП.

Оценка состояния степени развития окислительных реакций по



Вклад альтернативного пути в дыхание зеленеющего листа пшеницы после инкубации в ингибиторах комплексов мЭТЦ. 1 – контроль, 2 – салицилгидроксамовая кислота, 3 – ротенон, 4 – антимидин А.

уровню перекисного окисления липидов (ПОЛ) показала, что при действии АнТА абсолютные величины уровня ПОЛ были выше, чем при действии других ингибиторов. Однако активность ПОЛ в присутствии всех ингибиторов снижалась к концу деэтиоляции. Это указывало на вовлечение и эффективность функционирования клеточных систем защиты в зеленеющем листе. В целом, полученные результаты поддерживают идею о роли АОХ как модулятора митохондриальной функции во время деэтиоляции.

Работа поддержана проектом РФФИ № 19-04-00476 А.

ЛИТЕРАТУРА

Feng H.-Q., Tang S.-Z., Sun K., Jia L.-Y., Wang R.-F. Cyanide-resistant respiratory pathway is involved in the high-light systemic acquired acclimation of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) // *Photosynthetica*, 2015. V. 53. № 2. P. 195–200.

Garmash E.V. Role of mitochondrial alternative oxidase in the regulation of cellular homeostasis during development of photosynthetic function in greening leaves // *Plant Biology*, 2021. V. 23. № 2. P. 221–228.

Garmash E.V., Velegzhaninov I.O., Grabelnych O.I., Borovik O.A., Silina E.V., Voinikov V.K., Golovko T.K. Expression profiles of genes for mitochondrial respiratory energy-dissipating systems and antioxidant enzymes in wheat leaves during de-etiolation. // *Journal of Plant Physiology*, 2017. V. 215. P. 110–121.

Vanlerberghe G.C., Dahal K., Alber N.A., Chadee A. Photosynthesis, respiration and growth: A carbon and energy balancing act for alternative oxidase // *Mitochondrion*, 2020. V. 52. P. 197–211.

РЕЗОЛЮЦИЯ

XXVIII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии»

Сыктывкар, 22-24 марта 2021 г.

XXVIII Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 22 по 24 марта 2021 г. Впервые она проводилась в онлайн-формате в связи с ограничениями из-за возможности распространения новой коронавирусной инфекции. Конференция собрала сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, аспирантов, студентов, специалистов, 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.

На конференции прозвучало 53 доклада, в том числе шесть пленарных. Алексей Владимирович Тиунов в докладе осветил современное состояние научных знаний о детритных пищевых сетях и экологических функциях почвенной биоты. Дмитрий Михайлович Колпацников рассказал о ДНК машинах и роботах в диагностике и терапии. Был заслушан доклад Евгения Александровича Боровичева о территориальной охране природы в Мурманской области. Также в качестве пленарных докладчиков выступили молодые ученые Института биологии Коми НЦ УрО РАН. В сообщении Ивана Николаевича Кутявина была рассмотрена роль лесных пожаров в формировании строения сосновых древостоев европейского Северо-Востока. Из доклада Алексея Александровича Кудрина мы узнали о свободноживущих нематодах коры деревьев различных типов лесных экосистем. О распределении соединений углерода и азота в почвах побережья Баренцева моря на примере Хайпудырской губы сделала сообщение Олеся Сергеевна Кубик.

Наибольшее число докладов представили молодые ученые Института биологии, восемь – студенты, аспиранты и специалисты из иных научных либо образовательных учреждений Сыктывкара. Остальные участники прибыли из других городов России и представляли Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (г. Апатиты), ООО «Экоаналитика» (г. Калуга), ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова (г. Киров), Вятский государственный университет (г. Киров), Вятский государственный агротехнологический университет (г. Киров), Государственный заповедник «Нургуш» (г. Киров), Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Красноярск), Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (г. Москва), Московскую государственную академию ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина (г. Москва), НИЦ «Курчатowski институт» – Институт молекулярной генетики (г. Москва), Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (г. Москва), Институт леса ФИЦ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), Отдел комплексных научных исследований ФИЦ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» Обнинский институт атомной энергетики (г. Обнинск), Университет Центральной Флориды (Орlando, США), Университет ИТМО (Санкт-Петербург, Россия).

Среди участников – шесть докторов наук, 34 кандидата наук разных специальностей, 18 аспирантов, 14 студентов и 23 специалиста.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» прозвучало шесть докладов, которые были посвящены анализу результатов выявления разнообразия сосудистых растений как классическими, так и молекулярно-генетическими методами, вопросам классификации растительности, проблемам интродукции и сохранения редких видов растений, а также продуктивности гидрофитов.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» озвучены девять докладов по вопросам биологии и экологии различных групп водных, наземных и почвенных организмов. Представлены данные о комплексах почвенных и наземных беспозвоночных.

Проблемы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем были затронуты в выступлениях на одноименной секции (девять 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 поллютантами раз-

личной природы. Продемонстрированы особенности методики проведения анализа растительного материала и гидрохимической оценки водотоков.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (10 докладов) и «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» (13 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 влияния на почвенную фауну.

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.

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. Институту биологии Коми НЦ УрО РАН издать материалы докладов, представленных на XXVIII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии», в виде электронного издания.

2. Совету молодых ученых разместить электронную версию материалов докладов на сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН и в базе данных РИНЦ (<http://elibrary.ru>).

3. Провести XXIX Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2022 г.

4. При возвращении к традиционному очному формату проведения конференции оставить возможность делать доклады в онлайн-режиме.

5. Продолжить практику проведения мастер-классов, способствующих повышению квалификации молодых ученых, во время XXIX Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» при проведении её в очном режиме.

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН за помощь и финансовую поддержку при проведении конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Пленарные доклады	
О.С. Кубик РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ПОЧВАХ ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ХАЙПУДЫРСКАЯ ГУБА)	5
А.А. Кудрин, В.М. Салаватулин, А.А. Сущук, С.Е. Кудрина, Т.Н. Конакова, А.А. Фатеева, М.Е. Васильева СВОБОДНОЖИВУЩИЕ НЕМАТОДЫ, ОБИТАЮЩИЕ НА КОРЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДЕРЕВЬЕВ В ТАЕЖНОМ И ШИРОКОЛИСТВЕННОМ ЛЕСУ	7
И.Н. Кутявин РОЛЬ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДРЕВОСТОЕВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА	10
Секция 1	
Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира	
Е.В. Князева ПРОДУКТИВНОСТЬ ГИДРОФИТОВ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ	14
К.А. Коваленко, О.Е. Валуйских, Д.М. Шадрин ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ ГЕНОВ МАТК, RBCL, ITS2 И TRNH-PSBA ДЛЯ ЭНДЕМИКА УРАЛА <i>LAGOTIS URALENSIS</i> (PLANTAGINACEAE)	19
А.И. Кононова, О.А. Кононова ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ <i>ORHIS MILITARIS</i> L. В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	21

А.Н. Пунегов ВОСТОЧНОАЗИАТСКИЕ ВИДЫ РОДА <i>COTONEASTER</i> MEDIK. В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ	24
А.Д. Чикурова, О.Е. Валуйских, Д.М. Шадрин ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ITS В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕДКОГО ВИДА УРАЛЬСКОЙ ФЛОРЫ <i>ASTRAGALUS GORODKOVII</i> JURTZ.	27
А.Д. Чикурова, О.Е. Валуйских, Д.М. Шадрин ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ <i>PHLOJODICARCUS VILLOSUS</i> (ARIACEAE) НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ITS2 И TRNH-PSBA	31
Секция 2	
Изучение, охрана и рациональное использование животного мира	
В.А. Бабина, Г.А. Борняков, О.В. Масленникова РЕЗУЛЬТАТЫ УЧЁТОВ ОРНИТОФАУНЫ ДЕНДРОЛОГИЧЕСКОГО ПАРКА ЛЕСОВОДОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	36
А.Г. Зуев, О.Л. Макарова СТРУКТУРА ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ, НАСЕЛЯЮЩИХ ТРУТОВЫЕ ГРИБЫ <i>FOMITOPSIS PINICOLA</i>	39
А.И. Зуева МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРОЖЖЕВЫХ СООБЩЕСТВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ТЕРМИТАМИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА КАТ ТЬЕН (ВЬЕТНАМ)	42
А.В. Лукин ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЧЕШУЕКРЫЛЫХ-ФИЛЛОФАГОВ (INSECTA, MACROLEPIDOPTERA) СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ	43
А.В. Мазеева, О.И. Кулакова СВЯЗИ ФАУНЫ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, RHORALOCERA) КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	54
А.А. Полушкин ОСОБЕННОСТИ БОБРОВЫХ ПОСЕЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «МАЛАЯ СОСЬВА»	58
А.А. Фатеева ПОЧВЕННАЯ ФАУНА ПРОИЗВОДНЫХ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ	61

Секция 3

**Структурно-функциональная организация
и антропогенная трансформация экосистем**

- О.М. Абдухалилов, С.Г. Скугорева
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ
В УРБАНОЗЁМАХ ПАРКОВ ГОРОДА КИРОВА64
- Д.С. Бернадская, М.Б. Малышева, И.Р. Елизарова
МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ НАЗЕМНЫХ
РАСТЕНИЙ ПОСЛЕ КИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ
С МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ67
- Г.А. Гольке, И.В. Далькэ, И.Г. Захожий
ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЗАЛЕЖЕЙ
ПРИ ИНВАЗИИ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN. 69
- Н.М. Горбач, В.В. Старцев, А.С. Прокушкин, А.А. Дымов
ДИНАМИКА ПОЖАРОВ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ
В ГОЛОЦЕНЕ72
- М.А. Королёв, Е.В. Шамрикова, О.Г. Шевченко, Е.В. Жангуров
ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ ГОРНОЙ КАТЕНЫ
ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ75
- Е.И. Лю-Лян-Мин
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ
БУТРИСТЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ТОРФЯНИКОВ78
- И.В. Паюсова, И.В. Груздев, В.В. Старцев, А.А. Дымов
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕНЗОЛПОЛИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ
НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ»81
- Д.А. Севергина, В.В. Старцев, И.Н. Кутявин, А.А. Дымов
ВЛИЯНИЕ ПИРОГЕНЕЗА НА ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
ПОДЗОЛОВ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ84
- Р.Р. Шошина, И.В. Маньшина, А.Г. Молодык, В.Е. Иванова
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ
ФАКТОРОВ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ
КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ
ЦЕЛЕВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ87

Секция 4

Радиационная биология, генетика.

Влияние факторов физико-химической природы на организм

Д.А. Голубев, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев
ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТА ЖИМОЛОСТИ
ПАЛЛАСА (*LONICERA PALLASII*) И ЦИАНИДИН-3-ГЛЮКОЗИДА
НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER* 90

Н.В. Земская, Н.Р. Пакшина, Л.А. Коваль, Е.Ю. Платонова,
М.В. Шапошников, А.А. Москалев
ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ
DROSOPHILA KIKKAWAI И *D. VIRILIS* 95

Л.А. Коваль, А.А. Москалев
ВЛИЯНИЕ ДЕЗОКСИНУКЛЕОТИДТРИФОСФАТОВ
НА СТАРЕНИЕ-АССОЦИИРОВАННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
DROSOPHILA MELANOGASTER98

Д.В. Кукумань, Д.А. Голубев, А.А. Москалев
ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД *EMPETRUM NIGRUM* L.
И *VACCINIUM ULIGINOSUM* L. НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ
DROSOPHILA MELANOGASTER 106

М.Б. Малышева, Д.С. Бернадская, И.Р. Елизарова
ПРОБОПОДГОТОВКА ВОЛОС ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА
МЕТОДОМ ИСП-МС 109

Н.Р. Пакшина, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев
ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ВОЗРАСТЗАВИСИМОЙ
АКТИВАЦИИ АТМ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ 113

Е.Ю. Платонова, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев
ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ
(*ARONIA MELANOCARPA*) И РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
(*SORBUS AUCUPARIA*) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ
И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* 116

Е.Е. Расова, И.О. Велегжанинов, Т.К. Рочева, И.С. Худяева, Д.В. Белых
АНТИОКСИДАНТНЫЕ И РАДИОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА
ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ ПОРФИРИНОВ
И КОМПЛЕКСОВ МЕДИ И СЕРЕБРА НА ИХ ОСНОВЕ 119

А.В. Рыбак, Т.А. Майстренко
ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ
В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ 124

И.А. Соловьёв, М.В. Шапошников, А.А. Москалев
КРИПТОХРОМ КАК МИШЕНЬ ДЛЯ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ
ИНТЕРВЕНЦИЙ: ЭФФЕКТЫ МОЛЕКУЛ KL001, KS15
И РИБОФЛАВИНА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ
DROSOPHILA MELANOGASTER 127

Н.С. Уляшева, Н.Р. Пакшина, Е.Н. Прошкина, А.А. Москалев
ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВ, СТИМУЛИРУЮЩИХ РЕПАРАЦИЮ ДНК,
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ
DROSOPHILA MELANOGASTER 130

Е.Е. Черкасова, Г.В. Лаврентьева, Л.А. Трофимова
ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА СМЕРТНОСТЬ НАЗЕМНОГО
МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM*
ДВУХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП 134

Секция 5

Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов

П.И. Гущина, М.А. Загоскин, Я.Ю. Благодатских
ВЛИЯНИЕ МИКРОМИЦЕТА РОДА *FUSARIUM* И ЕГО АНТАГОНИСТОВ
(ТРИХОДЕРМА И ЦИАНОБАКТЕРИИ) НА СОСТАВ ВЕЩЕСТВ
МЕЛИССЫ 137

А.А. Игнатенко, Н.М. Казнина
АДАПТАЦИЯ РАСТЕНИЙ *TRITICUM DICOCOIDES*
И *TRITICUM AESTIVUM* К ДЕФИЦИТУ ЦИНКА В СУБСТРАТЕ 140

Р.В. Игнатенко, М.А. Ершова, В.М. Прокопюк, Н.А. Галибина
ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ
НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ЭКСПЛАНТОВ *PINUS SYLVESTRIS* L.
В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* 142

А.В. Кикеева, Е.В. Новичонок, В.А. Харитонов
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ
У САЖЕНЦЕВ *PICEA ABIES* L. ПРИ РАЗНЫХ ВАРИАНТАХ
ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЯ 145

В.В. Мартынов, Е.Ю. Кожевникова, Н.Н. Шергина
ОПТИМИЗАЦИЯ БИОСИНТЕЗА ЦЕЛЛЮЛАЗ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИМ
ГРИБОМ *FOMITOPSIS PINICOLA* (SW.) P. KARST
ПРИ ТВЕРДОФАЗНОМ И ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ
НА ОПИЛКАХ ЛИСТВЕННЫХ И ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ 150

В.А. Пантелеев, Е.В. Кропачева, Л.А. Лисицкая, А.В. Кульбачинский, Д.М. Есюнина БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКАРИОТИЧЕСКОГО БЕЛКА СЕМЕЙСТВА АРГОНАВТОВ	153
А.А. Петухов, В.Н. Серебрякова, И.В. Новаковская, О.В. Дымова ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В КЛЕТКАХ МИКРОВОДОРОСЛИ <i>CHLOROMONAS RETICULATA</i> (GOROSCHANKIN) GOBI	156
Н.В. Туманик ВНУТРИКЛОНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛЕТОК ХЛОРОФИЛЛОСНОЙ ПАРЕНХИМЫ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. В ЛЕСОСЕМЕННЫХ ПЛАНТАЦИЯХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ	159
М.А. Шелякин, М.В. Кырнышева, Р.В. Малышев, Е.В. Гармаш ВЛИЯНИЕ РЕДОКС-СОСТОЯНИЯ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОН- ТРАНСПОРТНОЙ ЦЕПИ НА АКТИВНОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПУТИ ДЫХАНИЯ В ЗЕЛЕНЕЮЩЕМ ЛИСТЕ ПШЕНИЦЫ	162
Резолюция	166

Научное издание

XXVIII Всероссийская молодежная научная конференция
(с элементами научной школы)

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»,

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-2021-04