

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

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



Сыктывкар 2020

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

XXVII Всероссийская молодежная
научная конференция
(с элементами научной школы)

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

Материалы докладов

16–20 марта 2020 г.
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
2020

УДК 574/577 (063)
ББК 28
А 43

055(02)7

Актуальные проблемы биологии и экологии : материалы докладов : XXVII Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) : 16–20 марта 2020 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия / отв. редактор С. В. Дегтева. – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2020. – 127 с. DOI: 10.31140/book-2020-03

Представлены материалы докладов XXVII Всероссийской молодежной научной конференции, проведенной Институтом биологии Коми НЦ УрО РАН. Рассмотрены актуальные вопросы изучения и восстановления биоразнообразия животного и растительного мира, структурно-функциональной организации и экологии биологических систем, охраны и рационального использования биологических ресурсов. Обсуждены лесобиологические проблемы, проблемы почвоведения, физиологии, биохимии и биотехнологии растений, радиобиологии, продолжительности жизни и генетики.

Редколлегия

Директор Института биологии С.В. Дегтева (отв. редактор),
Члены редколлегии: к.б.н. М.А. Батурина, к.б.н. И.О. Велегжанинов,
к.б.н. И.В. Далькэ, к.б.н. Ю.А. Дубровский, д.б.н. С.В. Загирова,
к.г.н. Д.А. Каверин, к.б.н. О.И. Кулакова, к.б.н. Е.М. Лаптева,
к.б.н. Е.Н. Патова, к.б.н. Б.Ю. Тетерюк, к.б.н. И.Ф. Чадин

ISBN 978-5-6043449-6-5

DOI: 10.31140/book-2020-03

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXVII Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила с 16 по 20 марта 2020 г. В стенах Института биологии 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 учёных, 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, ООО «ИнтерЛабСервис» и ООО «Аптека Максимум».

На конференции прозвучало 47 докладов, в том числе пять пленарных. Наибольшее число докладов представили молодые ученые Института биологии, семь – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара. Остальные участники прибыли из других городов России и они представляли ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. профессора Б.М. Житкова (г. Киров), Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН (г. Москва), Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (г. Москва), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), ООО «ИнтерЛабСервис» (г. Москва), Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (г. Обнинск), Пензенский государственный университет (г. Пенза), Пущинский научный центр биологических исследований РАН (г. Пущино), Российский государственный гидрометеорологический университет (г. Санкт-Петербург), Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург), Всероссийский центр карантина растений по Республике Коми (г. Сыктывкар).

Большая часть докладов была посвящена освещению аспектов всестороннего изучения флоры и фауны арктических и бореальных зон, функционированию арктических и субарктических экосистем

в условиях антропогенной трансформации и меняющегося климата. Конференция способствовала плодотворной работе научной молодежи, реализации ее творческого потенциала и зарождению новых идей, расширила кругозор молодых исследователей, познакомила их с последними достижениями в различных областях биологии и экологии, способствовала установлению новых связей и возможностей для сотрудничества.

В рамках конференции проведены три мастер-класса и выездной круглый стол на территории Ляльского лесоэкологического стационара Института биологии в окрестностях г. Сыктывкар. Также были проведены экскурсии по Сыктывкару, в музей археологии (Институт языка, литературы и истории) и этнографический музей.

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: Д.В. Политова, Е.А. Мудрик, А.Д. Золотарёву, Д.В. Кириллова, В.В. Старцева, также ведущих мастер-классов: И.В. Далькэ, А.Ю. Боровлёва, М.А. Шелякина.

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.

Секция 1
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ
***PARRYA NUDICAULIS* (L.) BOISS**
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ITS2

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

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: valuyskikh@ib.komisc.ru

Parrya nudicaulis (L.) Boiss – это многолетнее травянистое поликарпическое растение из семейства *Brassicaceae* с розеткой линейных опушённых листьев, безлистным цветоносом и кистью с цветками от белых до пурпурно-фиолетовых. Ареал *P. nudicaulis* – новоземельско-уральско-азиатско-западно-американский, охватывает европейский северо-восток России, Западную и Восточную Сибирь, Чукотку, Северную Америку (Дорофеев, 2002; Секретарева, 2004). В Республике Коми *P. nudicaulis* спорадически встречается на Полярном, Приполярном и Северном Урале и предпочитает травяно-моховые и мохово-лишайниковые тундры, каменные россыпи, скалы, гольцы и образует небольшие популяции до 500 особей с плотностью 2.3 экз./м² (Коваленко, Валуйских, 2019). В России *P. nudicaulis* охраняется во многих регионах, в том числе на территории Республики Коми (Красная книга..., 2019).

В роде *Parrya* выделяют 35–38 видов, которые произрастают в Арктике, Восточной и Западной Сибири и Средней Азии (Дорофеев, 2002). В базе данных GenBank представлены данные для 21 таксона этого рода по разным маркерам, однако для нашего объекта *P. nudicaulis* имеются только последовательности ITS1 и ITS2 (German et al., 2011; Al-Shehbaz, German, 2013 и др.). Данные по другим маркерам (*matK*, *rbcL* и *trnH-psbA*), применяемым в ДНК-

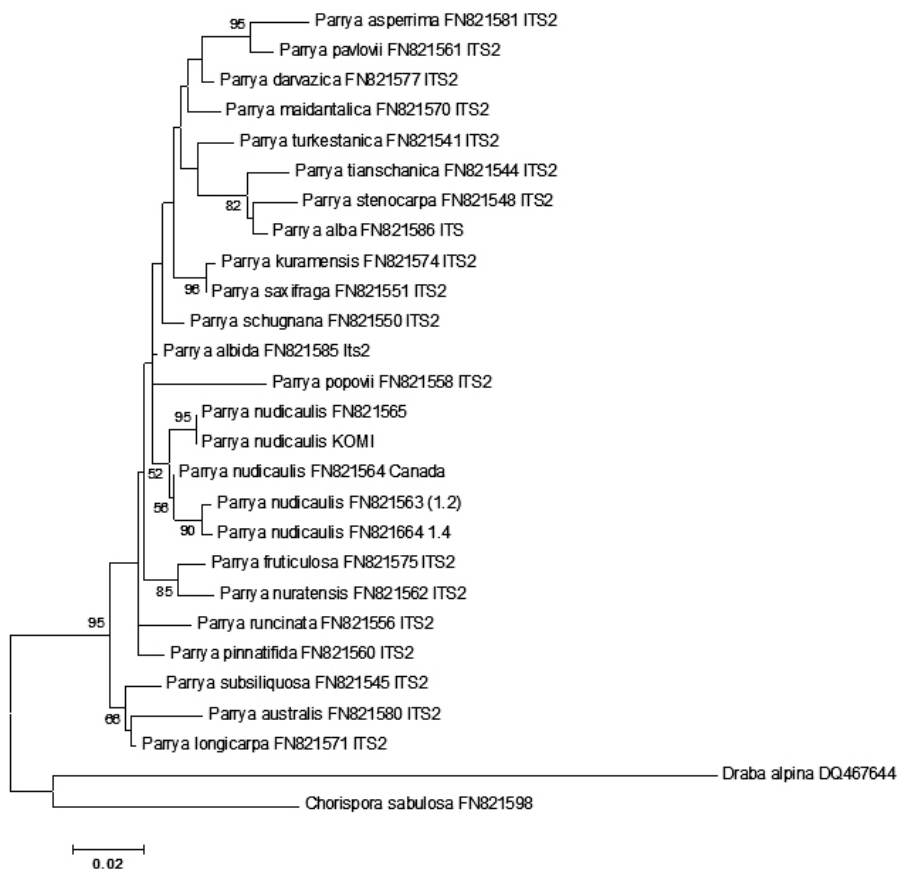
штрихкодировании сосудистых растений, для данного вида отсутствуют.

Цель данной работы заключалась в идентификации образца *P. nudicaulis* (Северный Урал) с использованием последовательности ITS2. В задачи работы входило: 1) получить нуклеотидные последовательности ITS2 региона рДНК и собрать матрицу данных для филогенетического анализа из представителей рода *Parrya*; 2) выполнить выравнивание последовательностей ITS2; 3) реконструировать филогенетические связи в роде *Parrya*.

Для проведения молекулярно-филогенетического анализа использован гербарный образец *P. nudicaulis* (лист), собранный в 2017 г. на Северном Урале (Республика Коми). Выделение ДНК выполняли с использованием набора «DNAsy plant mini kit». Полимеразная-цепная реакция (ПЦР) фрагмента ITS1-5.8s-ITS2 проведена с использованием праймеров ITS5 и ITS4. Детекцию продуктов ПЦР проводили с помощью электрофореза нуклеиновых кислот в агарозном геле. Очистка продуктов ПЦР от агарозного геля проведена с помощью набора Cleanup Standart (Евроген, Россия) согласно инструкции производителя. Секвенирование образцов выполняли с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Молекулярная биология» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. В анализе использовали нуклеотидные последовательности из базы данных GenBank для видов рода *Parrya*. В качестве внешней группы использовали представителей сестринских родов *Draba* и *Chorispora*. Выравнивание и последующий анализ последовательностей проводили в программе MEGA 10 (Kumar et al., 2018).

На основе сравнения нуклеотидных последовательностей, полученных нами и имеющихся в базе данных, мы реконструировали филогенетическое дерево методом максимального правдоподобия (ML). Для его построения использовано 27 последовательностей представителей рода *Parrya*, в том числе пять последовательностей для *P. nudicaulis* из разных частей ареала (Чукотка, Аляска, Канада, Тибет и Урал). Установлено, что на филогенетическом дереве все образцы *P. nudicaulis* сгруппированы в отдельную кладу (см. рисунок). При этом образец с Урала (КОМИ) с хорошей поддержкой объединился с образцом из США (FN821565). Более детальный анализ показал, что эти последовательности практически полностью идентичны и имеют лишь несущественные различия в виде небольшой делеции и одной парсимони-информативной замены.

Таким образом, нами выявлено, что в базе данных NCBI представлено достаточно большое число последовательностей ITS2 для видов рода *Parrya*, в том числе для охраняемого в Республике Коми вида *P. nudicaulis*. По хлоропластным маркерам *matK*, *rbcL* и *trnH*-



Филогенетическое дерево (ITS2), построенное методом ML.

psbA данные отсутствуют. Получена последовательность ITS2 для *P. nudicaulis* с Северного Урала (Республика Коми) и показано положение анализируемого образца на филогенетическом дереве среди видов рода *Parrya*. Сравнительный анализ последовательностей ITS2 у представителей данного рода и реконструкция филогенетического дерева показали, что образец *P. nudicaulis* с Северного Урала четко идентифицирован.

ЛИТЕРАТУРА

Дорофеев В. И. Крестоцветные (Cruciferae Juss.) европейской России / В.И. Дорофеев // *Turczaninowia*. – 2002. – № 5 (3). – С. 5–114.

Коваленко К.А. Структура ценопопуляции и изменчивость морфологических признаков *Parrya nydicaulis* (Brassicaceae) на Северном Урале (Республика Коми) / К.А. Коваленко, О.Е. Валуцких // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Матер. XVII Всерос. научно-практической конф. с межд. уч. Книга 2. (г. Киров, 5 декабря 2019 г.). – Киров: ВятГУ, 2019. – 196 с.

Красная книга Республики Коми. – Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. – 768 с.

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

Al-Shehbaz I.A. A synopsis of the genus *Parrya* (Brassicaceae) / I.A. Al-Shehbaz, D.A. German // Kew Bulletin. – 2013. – Vol. 68. – P. 457–475.

German D.A. Molecular phlogeny and systematic of the tribe *Chorisporae* (Brassicaceae) / D.A. German, J.R. Grant, M.A. Lysak, I.A. Al-Shehbaz // Plant Systematics and Evolution. – 2011. – Vol. 294. – P. 65–86.

Kumar S. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Across Computing Platforms / S. Kumar, G. Stecher, M. Li [et al.]. // Mol. Biol. Evol. – 2018. – Vol. 35(6). – P. 1547–1549.

АРХИТЕКТУРА КРОНЫ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОСОБЕЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО НА ЮГЕ ПОДМОСКОВЬЯ

М.Н. Стаменов

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
E-mail: mshv-eiksb@inbox.ru

Согласно современным представлениям об организации биогеоценотического покрова, особую роль в жизни экосистем играют виды-эдификаторы (Восточно-европейские..., 2004). В лесном поясе Восточной Европы основными эдификаторами в последние столетия являются древесные виды, такие как дуб черешчатый. Помимо геоботанических, лесоводственных и демографических исследований, данный вид нуждается во всестороннем архитектурно-биоморфологическом анализе. Основной работой по онтоморфогенезу кроны дуба остается глава в монографии И.Г. Серебрякова (1962). Для обогащения данных по биоморфологии вида мы поставили цель проанализировать архитектуру кроны дуба в генеративном периоде онтогенеза в различных условиях произрастания в регионе с умеренно-континентальным климатом – в южной части Московской области, на право- и левобережье р. Ока.

Исследования проводили в широколиственных и широколиственно-мелколиственных лесах, а также на мезофитных и остепненных лугах. Всего исследовано 240 особей средневозрастного и

старого генеративных состояний нормальной и пониженной жизнеспособности. У особей измеряли высоту, диаметр на высоте груди, диаметр кроны по четырем проекциям, выборочно устанавливали возраст с помощью возрастного бура. Визуально определяли соотношения между стволом и крупными осями, конфигурацию скелетных ветвей и характер их распределения вдоль ствола, тип нарастания и особенности ветвления осей различных порядков, выявляли повторяющиеся структуры, образованные многолетними побеговыми системами. Побеговые системы относили к трём модулям по М.Т. Мазуренко (2008): конструктивному (ствол и скелетные ветви), коррективному (системы побегов с разнообразным ветвлением) и фундаментальному (элементарные и годовые побеги).

Габитус особей в наибольшей степени определяется организацией конструктивного модуля. Кроме того, конструктивный модуль демонстрирует историю развития особи и степень изменчивости фитоценогической обстановки, в которой протекал её онтогенез. Этот модуль представлен двумя основными группами с рядом вариаций.

К первой группе относятся особи с выраженным стволом и уступающими ему по развитию скелетными ветвями. У наиболее редкой вариации этой группы ствол и регулярно образующиеся ветви нарастают преимущественно моноподиально. Ветви имеют косую или дугообразную форму, а крона – от эллиптической до неправильно-сферической. У второй вариации крона сохраняет близкие очертания, но ветви и ствол включают большое число зигзагообразных симподиев. Ветви чаще формируют развилки.

Онтогенез особей первых двух вариаций происходил в стабильных условиях без затенения. Третья вариация связана с парковыми дубравами без подлеска и со средневозрастными мелколиственными лесами. Особи регулярно образуют плагиотропные и косые смешанно нарастающие оси со значительной долей симподиев и сложных структур на основе развилки. Верхняя зона ствола неоднократно раздваивается.

У особей второй группы наблюдается редукция крупных ветвей, а роль кроны берёт на себя система осей замещения из развилки во второй или первой половине ствола. Единичные ветви в первой половине ствола являются полными реитератами, т.е. воспроизводят архитектуру всего дерева. На осях, замещающих ствол, развиваются слабые ветви, значительно уступающие скелетным ветвям особей первой группы по длине и диаметру. У первой вариации этой группы оси замещения нарастают преимущественно симподиально и образуют системы развилки. После первого разделения ствола оси расходятся под широким углом. У второй вариации оси замещения нарастают преимущественно моноподиально и расходятся под узким

углом. Особи первых двух вариаций обнаружены в старовозрастных сомкнутых широколиственных лесах.

У первых двух вариаций развилка образуется достаточно высоко на стволе, что можно связать с ослаблением ростового потенциала побеговых систем ствола после длительного роста в направлении максимально доступного количества света. В отличие от них, у особей третьей и четвертой вариаций развилка образуется в первой половине ствола. У третьей вариации оси замещения вытянуты в целом ортотропно, у четвертой имеют косое направление роста. Третья вариация отмечена у особей, произрастающих по бортам внутрилесных оврагов с молодым березово-осиновым древостоем как по склонам оврага, так и на примыкающих к оврагу участках. Четвертая вариация обнаружена у особей на небольших внутрилесных полянах в пределах сомкнутых широколиственно-мелколиственных лесов.

Коррективный модуль представлен двумя группами. У первой группы длительно сохраняется моноподиальное нарастание оси, годичные побеги которой регулярно ветвятся с образованием различных пространственных структур из длинных и коротких боковых побегов. У второй группы нарастание осей смешанное. Она отличается большим разнообразием вариаций в связи с регулярностью образования развилки, углов расхождения между развилками, частотой сдвигов оси, долей длинных побегов, регулярностью формирования длинных боковых побегов и большого числа средних либо коротких боковых побегов.

Старение особи преобразует как конструктивный, так и коррективный модуль. На уровне первого трансформация выражается в отмирании нижних и средних скелетных ветвей и усилении симподиального нарастания верхней зоны ствола и сохраняющихся ветвей. В пределах коррективного модуля возрастает роль вторичного побегообразования, частичной и полной отложенной и немедленной реитерации одновременно с переходом к псевдодихтомической организации части побеговых систем по всей кроне.

Таким образом, габитус генеративных особей дуба черешчатого и особенности организации его побеговых систем различного иерархического уровня находятся под сильным влиянием фитоценогической обстановки и динамики количества доступного света на протяжении онтогенеза особи.

ЛИТЕРАТУРА

Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Под ред. О.В. Смирновой. – М., 2004. – Кн. 1. – 479 с.; Кн. 2. – 575 с.

Мазуренко М.Т. Степень автономности модулей деревьев / М.Т. Мазуренко // Вестник ТвГУ. Серия «Биология и экология». – 2008. – Вып. 9. – С. 127–130.

Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений / И.Г. Серебряков. – М., 1962. – 380 с.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ *PHLOJODICARPUS VILLOSUS* (APIACEAE)
С ПРИМЕНЕНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ,
ИСПОЛЗУЕМЫХ В ДНК-ШТРИХКОДИРОВАНИИ РАСТЕНИЙ**

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

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: valuyskikh@ib.komisc.ru

С развитием молекулярно-генетических методов стала возможна идентификация организмов с использованием молекулярных маркеров – так называемая генетическая паспортизация или ДНК-штрихкодирование. Основными последовательностями, используемыми в ДНК-штрихкодировании сосудистых растений и рекомендуемые международной программой «Barcode of life», являются участки хлоропластных генов *matK*, *rbcL*, межгенного спейсера *trnH-psbA* и участков ядерной ДНК – ITS2.

За последние годы ДНК-штрихкодирование и анализ филогенетических отношений сосудистых растений, в том числе видов семейства *Apiaceae*, достигло определенных результатов (Katz-Downie et al., 1999; Downie et al., 2001). Одним из представителей этого семейства является вздутоплодник мохнатый – *Phlojodicarpus villosus* (Turcz. ex Fisch. & C.A. Mey.) Turcz. ex Ledeb. – преимущественно сибирский (североазиатский) гилоаркто-монтанный вид с обширным дизъюнктивным ареалом (Пименов, Остроумова, 2012). Его разрозненные участки расположены в Арктических районах России и на Дальнем Востоке, в горах Южной Сибири, а также на Урале. В Республике Коми *P. villosus* встречается очень редко и подлежит охране (Красная книга..., 2019). Его изолированные популяции исследованы на Северном Урале на склонах гор Янывондерсяхал и Печерья-Тальяхчахль (Чикурова, Валуйских, 2019).

В настоящей работе нами предпринята попытка использования генетических маркеров для амплификации участков ITS2 и *trnH-psbA* с целью идентификации *P. villosus*. В базах данных GenBank

и Bold Systems последовательности маркеров, используемые в ДНК-штрихкодировании, для данного вида отсутствуют. Материалом для исследования служили два гербарных образца *P. villosus* (оба хранятся в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН, SYKO), собранные на территории Республики Коми, где вид находится на западной границе своего ареала, а также в Магаданской области, где популяции этого вида расположены в основной части ареала.

Для выделения ДНК использовали набор «DNA syplant mini kit». Была проведена полимеразная цепная реакция с использованием праймеров ITS4 и ITS5 для фрагмента ITS2, праймеров *trnH* и *psbA* для фрагмента *trnH-psbA*. Детекцию продуктов ПЦР проводили с помощью электрофореза нуклеиновых кислот в агарозном геле. В анализ также были включены имеющиеся в базе данных GenBank последовательности 33 видов из сестринских родов *Seseli*, *Karatavia*, *Libanotis* и другие таксоны семейства *Apiaceae* (Katz-Downie et al., 1999). Выравнивание последовательностей и построение филогенетических деревьев производили в программе MEGA10, при необходимости выполняли ручную доработку. Филогенетические деревья строили методом максимального правдоподобия (ML).

На основе сравнения нуклеотидных последовательностей, полученных нами, и имеющихся в базах данных, мы реконструировали филогенетическое дерево для трех образцов рода *Phlojodicarpus* и 22 образцов из сестринских родов (см. рисунок, а). На филогенетическом дереве образцы *P. villosus* образовали отдельную верхнюю кладу и сгруппировались с видом того же рода – *P. popovii* Sipliv. из Северной Америки. Также в эту кладу совместно с видами рода *Phlojodicarpus* сгруппирован *Seseli krylovii* Pimenov & Sdobnina. Согласно исследованиям S.R. Downie с соавт. (2001), виды рода *Phlojodicarpus* часто демонстрируют сходство по маркеру ITS2 и входят в одну трибу с родом *Seseli*. Длина последовательностей ITS2 у изученных образцов составила 221 п.н. При их сравнении у двух образцов *P. villosus* из Республики Коми и Магаданской области выявлены некоторые различия. Мы обнаружили замены в позициях 101, 123 и 206. Кроме того, при анализе хроматограмм у *P. villosus* из Магаданской области отмечены гибридные пики. Вероятно, такой внутривидовой полиморфизм может быть связан с длительной изоляцией популяций *P. villosus* в разных частях ареала (Уральский фрагмент и Дальний Восток), а также с проявлением внутривидовой изменчивости.

По сравнению с ITS2, представленность *trnH-psbA* последовательностей для *Apiaceae* в базе данных GenBank намного меньше, а для родов *Phlojodicarpus* и *Seseli* данные по маркеру *trnH-psbA* вообще отсутствуют. На дереве образцы встали рядом (см. рисунок, б).



Филогенетические деревья, построенные методом ML: а – ITS2, б – *trnH-psbA*).

Длина последовательностей для двух образцов варьирует от 204 до 213 п.н. Как и по маркеру ITS2, была обнаружена внутривидовая изменчивость, которая в отличие от ITS2 выражается не в единичных заменах нуклеотидов, а в наличии делеции длиной девять нуклеотидов у *P. villosus* из Магаданской области.

Таким образом, нами впервые получены нуклеотидные последовательности ITS2 и *trnH-psbA* для *Phlojodicarpus villosus*, которые после публикации работы будут депонированы в открытые базы генетических данных. На филогенетических деревьях показано место образцов *P. villosus* из Республики Коми и Магаданской области среди видов семейства *Apiaceae*. Несмотря на внутривидовую вариативность последовательности ITS2, выражающуюся в наличии гибридных пиков и нескольких замен, этот генетический маркер можно успешно использовать для идентификации представителей рода *Phlojodicarpus* и, в частности, *P. villosus*.

ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Республики Коми. – Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. – 768 с.

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

Чикурова А.Д. Распространение, эколого-фитоценологическая приуроченность и структура популяций редкого на Урале вида *Phlojodicarpus villosus* (Apiaceae) / А.Д. Чикурова, О.Е. Валуйских // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. (г. Киров, 5 декабря 2019 г.). – Киров: ВятГУ, 2019. – 396 с.

Downie S. Tribes and clades within Apiaceae subfamily Apiodeae: The contribution of molecular data / S. Downie, G. Plunkett, M. Watson [et al.] // Edinburgh Journal of Botany. – 2001. – Vol. 58(2). – P. 301–330.

Katz-Downie D.S. Towards a molecular phylogeny of Apiaceae subfamily Apiodeae: Additional information from nuclear ribosomal DNA ITS sequences / D.S. Katz-Downie, C.M. Valiejo-Roman, E.I. Terentjeva [et al.] // Plant Systematics and Evolution. – 1999. – Vol. 216. – P. 167–195.

Секция 2
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ЖИВОТНОГО МИРА

МИГРАЦИИ РЖАНКООБРАЗНЫХ ПТИЦ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ
(РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Е.В. Данилова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: hvdan@rambler.ru

Во время ежегодных сезонных перелетов птицы пересекают несколько природных зон из мест зимовок в места гнездований и обратно. Одной из таких природных зон является тайга Республики Коми, которая богата естественными пойменными лугами. По рекам Печора, Вычегда, Мезень и их притокам сосредоточено до 94% всей площади сенокосных угодий (Государственный доклад..., 2004). Миграции птиц в средней тайге Республике Коми будут рассмотрены на примере отряда Ржанкообразных, представители которого совершают свои перелеты вдоль водных экосистем, одним из таких коридоров является долина р. Сысола.

Наблюдения за миграцией птиц проводились в 2008–2011 гг. в районе с. Выльгорт и в 2013–2015 гг. в районе с. Ыб по общепринятой методике Э.В. Кумари (1955, 1979). Всего зарегистрировано 54 595 особей 24 видов. Многочисленными на пролете были турухтан (*Phylomachus pugnax*) – 23.7% от всех ржанкообразных, сизая чайка (*Larus canus*) – 23.3% и озерная чайка (*Larus ridibundus*) – 21.3%. В разные годы к субдоминантам с подъемом численности до 7–13% отнесены золотистая ржанка (*Pluvialis apricaria*), чибис (*Vanellus vanellus*), фифи (*Tringa glareola*), средний кроншнеп (*Numenius phaeopus*), большой кроншнеп (*Numerius arquata*), большой веретенник (*Limosa limosa*).

Волнообразный пролет представителей семейства ржанковых наблюдали в с. Выльгорт 10–23 мая, а в с. Ыб – 16–21 мая. Весной

чибиса регистрировали с начала апреля. Массовая миграция в районе с. Вильгорт отмечена с 13 апреля по 15 мая и с 22 по 27 мая, в с. Ыб – с 16 апреля по 6 мая.

Большим числом видов представлено семейство улитов (шесть видов), которых в районе с. Вильгорт регистрировали в большом количестве с 1 по 27 мая, а в районе с. Ыб – с 28 апреля по 23 мая.

Песочники, особенно турухтаны, массово отмечены на пролете 10–27 мая (с. Вильгорт) и 2–22 мая (с. Ыб). Представители семейства веретенниковых в районе сел Вильгорт и Ыб мигрировали с 28 апреля по 27 мая и с 20 апреля по 14 мая соответственно.

Пролет чайковых в долине р. Сысола отмечен 17 апреля–10 мая и 19–30 мая (с. Вильгорт) и 18 апреля–28 мая (с. Ыб). Впервые в Республике Коми 19 мая 2014 г. зарегистрирован залет двух особей черной крачки (*Chlidonias niger*) в районе с. Ыб.

В течение XX в. ареал черной крачки изменялся с расширением на север. В Кировской области первая гнездовая колония обнаружена в 1957 г. П.В. Плесским у г. Уржума. В 1976 г. их колония зарегистрирована в районе г. Киров, а в 1988 г. – в рыбхозе «Филипповка». Ежегодно с 1997 г. стайки черных крачек появляются на новом пруду у пос. Даровского, но гнездование их там не отмечено (Сотников, 2001). Северная граница этого вида в России расположена до Ладожского озера, южной части Вологодской области, северо-восточных районов Кировской области, северо-западных районов Перми, Екатеринбурга, Тюмени, Тары, Омска, оз. Чаны, Минусинской впадины (Сотников, 2001; Степанян, 2003).

Различия в сроках прилета видов связано с местом гнездования раннеприлетных птиц в зоне тайги, а во второй половине мая – птиц, гнездящихся в тундровой зоне.

ЛИТЕРАТУРА

Кумари Э.В. Инструкция для изучения миграции птиц / Э.В. Кумари. – Тарту, 1955. – 28 с.

Кумари Э.В. Методика изучения видимых миграций птиц / Э.В. Кумари. – Тарту, 1979. – 59 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Коми в 2004 году / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agiks.ru/data/gosdoklad/gd2004/h1_17.html.

Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области) / Л.С. Степанян. – М.: Академкнига, 2003. – 808 с.

Сотников В.Н. Птицы Кировской области и сопредельных территорий / В.Н. Сотников. – Киров, 2002. – 528 с. (Т. I. Неворобьиные. Ч. II).

**СОСУЩЕСТВОВАНИЕ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ
РАКОВИННЫХ АМЕБ ОТРЯДА ARCELLINIDA
В ААПА-БОЛОТАХ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА
КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ**

**А.С. Есаулов¹, Е.А. Малышева¹, К.В. Бабешко¹, А.Н. Цыганов²,
О.И. Белякова¹, Ю.А. Мазей²**

¹ Пензенский государственный университет

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: esaulovanton@yandex.ru

Раковинные амёбы являются важным компонентом болотных, пресноводных и почвенных экосистем. Многие виды имеют четко определенные экологические предпочтения, что делает их полезными биоиндикаторами. В настоящее время все больше работ посвящается изучению структурной организации сообществ корненожек в разных типах биотопов и выявлению основных причин изменения видового состава и численности (Malysheva et al., 2017; Payne et al., 2016). Однако вопросы, касающиеся выявления механизмов, обеспечивающих сосуществование близкородственных видов, до сих пор остаются без должного внимания.

Для исследования выбрано аапа-болото, расположенное в северной подзоне тайги в окрестностях Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Республика Карелия; координаты 66.550148° с.ш., 33.075523° в.д.). Изучали горизонтальное распределение раковинных амёб в макро-масштабе (размер целого болота, около 40×150 м), мезо-масштабе (10×10 см), микро-масштабе (3×3 см), а также вертикальное распределение в толще сфагнума. Всего было отобрано 86 образцов. В лаборатории пробы для изучения видового состава сообществ раковинных амёб готовили согласно методике, основанной на фильтровании и отстаивании водных вытяжек (Мазей, Ембулаева, 2009). Количественный учет раковинных амёб в суспензии проводили с помощью прямого микроскопирования (Биомед-6ПР) при увеличении ×200 в 200 полях зрения. Видовую идентификацию осуществляли с использованием определителя (Мазей, Цыганов, 2006).

Всего в 86 образцах было обнаружено 11 574 раковинки амёб, относящихся к 109 видам и подвидам из 33 родов. Представители отряда Arcellinida составляют существенную долю в сообществе раковинных амёб (от 36 до 63% общего обилия в разных пробах). Всего в изучаемом сообществе обнаружено 68 морфовидов арцеллинид. Наиболее разнообразны они оказались в макро-масштабе (49 видов),

наименее – в микро-масштабе (27 видов). Анализ полученных данных показал, что представители отряда Arcellinida характеризуются неоднородным распределением в пространстве. Так, наименьшая сопряжённость обнаружена в макро-масштабе (средний индекс сходства Брея-Кертиса – 0.2). Виды делят макро-пространство, предпочитая существовать в разных локусах большого пространства. Наибольшая сопряжённость обнаружена в мезо-масштабе и вертикальном распределении. Средний индекс сходства – 0.78 и 0.75 соответственно, что выражается в увеличении совместной встречаемости видов в пробах.

Таким образом, можно заключить, что сообщество раковинных амёб структурируется главным образом за счёт расхождения видов в масштабе всего болота, роль микро-, мезомасштабного и вертикального распределения в разделении ресурсов существенно ниже.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-34-00909-мол_а).

ЛИТЕРАТУРА

Мазей Ю.А. Изменение сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье / Ю.А. Мазей, Е.А. Ембулаева // Аридные экосистемы. – 2009. – Т. 15. – № 1 (37). – С. 13–23.

Мазей Ю.А. Пресноводные раковинные амёбы / Ю.А. Мазей, А.Н. Цыганов. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 300 с.

Malysheva E.A. Freshwater testate amoebae in the Belaya River basin (Northwestern Caucasus) / E.A. Malysheva, N.G. Mazei, M.I. Shapovalov [et al.] // Inland Water Biology. – 2017. – Vol. 10. – №. 1. – P. 92–96.

Payne R.J. Tree encroachment may lead to functionally-significant changes in peatland testate amoeba communities / R.J. Payne, A. Creevy, E. Malysheva [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. – 2016. – Vol. 98. – P. 18–21.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА (*DENDROLIMUS SIBIRICUS* TSCHETV.) В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

А.В. Лукин

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
Коми филиал Всероссийского центра карантина растений
E-mail: Lukin-6114@yandex.ru

Сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv., 1908) – крупная бабочка из семейства коконопрядов (Lasiocampidae). Данный вид внесен в Перечень карантинных объектов с присвоением ему статуса «Карантинный объект, ограниченно распространенный на территории Российской Федерации» (Приказ..., 2014).

Нативный ареал шелкопряда представлен странами Восточной Азии, откуда он активно мигрировал на территорию Сибири с дальнейшим распространением на запад материка. Будучи широким олигофагом, в процессе питания данный вид повреждает около 20 видов хвойных из родов лиственница (*Larix*), пихта (*Abies*), сосна (*Pinus*), ель (*Picea*), кедр (*Cedrus*) и тсуга (*Tsuga*). При совместном произрастании этих пород повреждает в первую очередь пихту и лиственницу. После спаривания самка откладывает на хвою в среднем 250 яиц, из которых за 15–20 дней развиваются гусеницы. Личинки первого возраста объедают кончики хвоинок и линяют на 9–12 день. Личинки второго возраста вызывают дальнейшие повреждения хвои за 3–4 недели до линьки. Гусеницы третьего возраста спускаются в верхние слои почвы, где впадают в диапаузу и зимуют. На следующий год гусеницы поднимаются в кроны деревьев, где питаются и дважды линяют. При благоприятных условиях гусеница окукливается и спустя 18–20 дней выходит имаго. При воздействии неблагоприятных факторов, например, нехватка пищевых ресурсов, гусеница уходит на вторую зимовку и окукливается на третий год. Отмечается, что морозные малоснежные зимы и засуха в летний период положительно влияют на жизненный цикл сибирского шелкопряда. Таким образом, имаго двух поколений могут появиться одновременно, резко увеличив численность популяции вредителя, что впоследствии нанесет значительный урон хвойным лесонасаждениям (Global review..., 2009).

В целях обеспечения охраны растений, а также предотвращения ущерба от распространения карантинных объектов, в рамках Федерального закона «О карантине растений» сотрудниками Россельхознадзора совместно со специалистами ФГБУ «ВНИИКР» осуществляется фитомониторинг с применением феромонных ловушек (Федеральный закон..., 2014). В работе использовались ловушки типа «Дельта» с клеевым вкладышем, на котором размещался диспенсер с нанесенным на него синтетическим феромоном. Ловушки вывешивались вдоль дорог, просек, делянок, по опушкам леса в кронах растений-хозяев на высоте 1.5–2.0 м и работали в период с 01.06.2019 по 31.07.2019 г. Идентификация отловленных бабочек осуществлялась по гениталиям самцов, предварительно вываренных в 10%-ном растворе КОН и очищенных от мягких тканей.

Оценивая степень угрозы и характер распространения сибирского шелкопряда в Республике Коми, необходимо учитывать его активность в смежных регионах. Были получены и проанализированы результаты фитомониторинга за 2019 г. четырех субъектов, граничащих с Коми. Следует отметить, что размещение ловушек в большей степени приурочено к местам лесозаготовок либо в преды-

душие годы на данном участке наблюдался отрицательный результат, поэтому некоторые районы не обследовались (далее после названия района в скобках представлены значения ловушек установленных и ловушек, в которых был выявлен вредитель).

В Свердловской области высокая численность сибирского шелкопряда выявлена в юго-восточных районах: Тавдинский (8/8), Тугулымский (20/18), Талицкий (32/32), Камышовский (10/10), а также на западе области: Верхотурский (10/10), Кушвинский (10/9), Пригородный (9/8), Красноуфимский (12/12). Это объясняется сильной антропогенной трансформацией комплексов растительных сообществ. В Ивдельском районе, граничащем с Коми, в 2019 г. обследований не проводилось.

Согласно данным мониторинга, в Пермском крае в 2019 г. сибирский шелкопряд был выявлен во всех районах, кроме Лысьвенского (10/0), Ординского (8/0) и Чайковского (8/0), причем в большинстве южных районов его количество было незначительно. Наибольшую активность вредитель проявил в районах Гремячинский (10/6), Горнозаводской (10/5), Кишертский (8/5), Чернушинский (8/5), Куединский (8/5), Очёрский (8/6), Кудымкарский (8/5). В граничащих с Коми районах Чердынском (12/1) и Красновишерском (12/1) установлено незначительно присутствие вредителя.

В Кировской области сибирский шелкопряд был выявлен повсеместно, кроме районов Советский (20/0), Пижанский (не обследовался), Ленинский (19/0). Прослеживается тенденция к стабильно высокой плотности в южных районах: Вятскополянский (20/20), Малмыжский (20/19), Кильмезский (30/30), Уржумский (20/19); центральных: Немский (23/21), Богородский (24/14), Сунский (20/17), Куменский (19/16), Кирово-Чепецкий (13/10), Орловский (19/13). Находящиеся на границе с республикой северные районы Опаринский (20/12), Мурашинский (20/10), Нагорский (17/17) также показали высокую плотность вредителя.

В Архангельской области по результатам мониторинга сибирский шелкопряд был выявлен в Котласском (26/9) и Вельском (26/6) районах. Районы Устьянский, Няндомский и Плесецкий показали отрицательный результат.

Таким образом, можно предположить, что сибирский шелкопряд распространялся по южным районам Свердловской области и Пермского Края, вероятно, через юг и центр Республики Удмуртия, захватывая юг Кировской области, откуда, двигаясь на северо-запад, проник в Республику Коми.

Значительную часть Республики Коми занимает подзона средней тайги, представленная в большей степени елью и сосной – кормовыми породами для сибирского шелкопряда. Впервые самка это-

Количество отловленных особей *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. в 2018–2019 гг. по участковым лесничествам

Лесничества	Участковые лесничества	2018 г.		2019 г.		Уловистость (пов./сут.)
		Ловушки (шт.)	<i>D. sibiricus</i> (шт.)	Ловушки (шт.)	<i>D. sibiricus</i> (шт.)	
Койгородское	Койгородское	80	12	104	109	2.1
	Кобринское	44	33	47	39	1.7
Кажимское	Ужгинское	–	–	81	54	1.3
	Кажимское	12	17	32	11	0.7
	Турунинское	54	12	65	32	1
	Комское	64	38	–	–	x
	Нючпасское	–	–	15	14	1.9
Прилузское	Ношульское	40	94	41	87	4.2
	Спаспурубское	23	23	27	12	0.9
	Обьячевское	5	7	20	15	1.5
	Занульское	10	3	39	47	2.4
	Лопьинское	6	5	37	9	0.5
	Лоймское	–	–	12	3	0.5
Сысольское	Куратовское	42	28	110	9	0.2
	Визингское	20	15	–	–	x
Троицко-Печорское	Троицко-Печорское	30	1	60	0	0
	Белоборское	70	3	60	1	0.03
Итого		500	291	750	442	–

Примечание: прочерк – обследование не проводилось.

го вида была обнаружена на крайнем юго-востоке республики, у границы с Пермским краем, в Троицко-Печорском районе в 2014 г. Последующие обнаружения вредителя осуществлялись в рамках фитомониторинга, результаты которого представлены в таблице.

Анализ сборов из ловушек показал, что максимальная уловистость наблюдается в Ношульском участковом лесничестве на протяжении последних двух лет, что значительно превышает этот же показатель 2017 г. (2.7 ловушко-суток). Результаты осмотра ловушек Кобринского участкового лесничества также свидетельствуют о стабильно высокой численности шелкопряда. Кроме того, в 2019 г. наблюдается существенное увеличение числа особей в Койгородском и Занульском участках лесничеств. В остальных лесничествах, представленных в таблице, наблюдалось снижение случаев обнаружения по отношению к установленным ловушкам.

В 2018–2019 гг. в лесничествах Троицко-Печорского района установлена крайне малая уловистость, что объясняется поздним сроком вывешивания ловушек: 2 и 8 августа соответственно. Опираясь на полученную информацию, можно сделать вывод о снижении активности имаго начиная с середины июля, так как в 2017 г. уловистость при более ранних сроках установки ловушек составила 0.7 ловушко-суток. Вероятно, данная информация поможет объяснить особенности развития шелкопряда в условиях средней тайги, а именно, сроки активности гусениц.

Анализируя данные о близкородственном виде *Dendrolimus pini* L., полученные в ходе мониторинга, можно утверждать, что он имеет двухгодичный цикл развития на территории Коми, так как в ходе четырехлетних наблюдений был собран в 2017 и 2019 гг., а в 2016 и 2018 гг. выявлен не был. Из этого следует, что существует вероятность резкого скачка численности и у карантинного вида. Также можно с уверенностью предположить, что на границе Коми и Кировской области присутствует сформировавшаяся популяция *D. sibiricus*, особи которой при отсутствии контроля численности способны продвинуться дальше на север республики и при благоприятных факторах нанести существенный вред фитоценозу и экономике региона.

ЛИТЕРАТУРА

Приказ Минсельхоза России от 15.12.2014 № 501 «Об утверждении Печеня карантинных объектов», 2014. – С. 6.

Федеральный закон от 21.07.2014 № 206-ФЗ (ред. от 23.04.2018) «О карантине растений» // Собрание законодательства РФ.

Global review of forest pests and diseases // Food & Agriculture Organization of the UN. – 2009. – P. 78–80.

ЛОКАЛЬНЫЕ ФАУНЫ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA) КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

В последнее время все большее распространение в зоологических и энтомологических работах находит концепция локальных фаун, развитая из идей А.И. Толмачева (1931) о «конкретной флоре» сначала ботаниками, а потом и зоологами (Penev, 1997; Чернов, 2008). Под локальной фауной (ЛФ) понимается композиция видов, выявленных во всех природных сообществах географического пункта (локалитета) в пределах определенного радиуса (Татаринов, 2016), различного для разных таксонов. Изучение ЛФ дает представление о пространственной дифференциации фауны изучаемых таксонов животных в пределах региона в целом, в отдельных ландшафтных зонах и провинциях, позволяет оценить видовой состав ООПТ, отследить появление новых и динамику распространения уже известных видов, дает возможность лучшего мониторинга популяций редких, в том числе краснокнижных видов.

Фауна булавоусых чешуекрылых Кировской области, история изучения которой насчитывает 125 лет, в целом может считаться изученной достаточно хорошо (Жуликовский, 1909; Чарушина, 1974; Решетников, 2001, 2014, 2016; Юферев, 2004; Татаринов, 2016). Тем не менее, она остается крайне неравномерно исследованной в пространственном отношении. Особенно это проявляется при рассмотрении видового состава отдельных ЛФ.

На основе УТМ-сетки, используемой в том числе для картирования бабочек Европы (Distribution..., 2011; Mapping..., 2020), была разработана сетка со стороной квадрата 30 км, который был принят в качестве ЛФ с радиусом 15 км. Рабочие обозначения ЛФ даны по названиям населенных пунктов, расположенных на их территории. Потенциально для Кировской области возможно 156 ЛФ (рис. 1 А), в настоящее время информация имеется только для 79 (50.6%). Большинство из них изучены достаточно слабо: для более чем половины (40 ЛФ) достоверно известно менее 15 видов. Только для 11 ЛФ региона известно более 50 видов.

Для более показательной оценки степени изученности нами была разработана пятибалльная шкала (см. таблицу). В ней «балл 5» обозначает почти полностью выявленную ЛФ, а «балл 1» – наличие для ЛФ только отрывочных данных. Баллы присваивались на основе экспертной оценки видовых списков для каждой ЛФ индивиду-

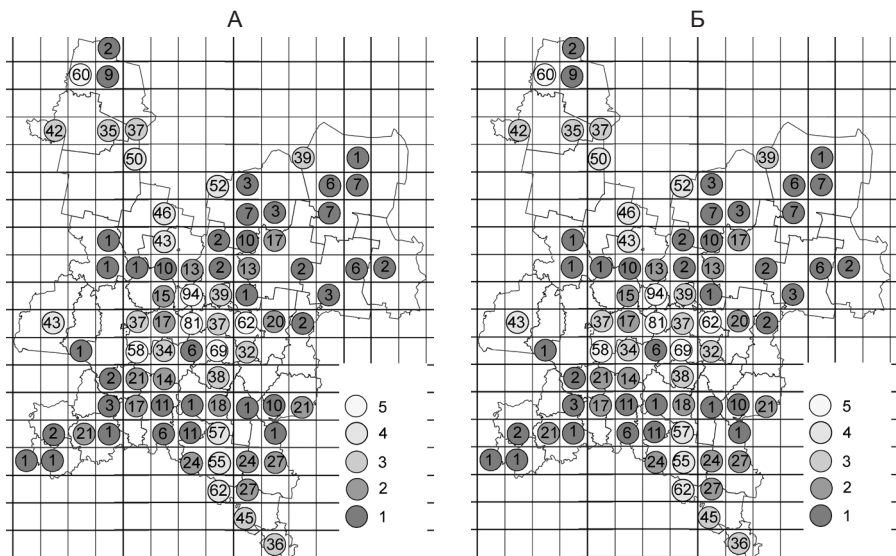


Рис. 1. Локальные фауны булавоусых чешуекрылых Кировской области. А – число выявленных видов и оценка изученности. 1–5 (см. табл.) обозначены цветом. Числами обозначено количество видов, известное для ЛФ. Б – перспективные для изучения ЛФ: а – новые, ранее не исследованные фауны, планируемые к изучению; б – требующие первоочередного исследования; в – требующие специальных углубленных исследований; г – требующие дополнительных исследований.

ально. В качестве критериев использовались период исследований, оценка числа выявленных видов и потенциально возможных видов для подзоны растительности и ландшафтной провинции, в которых расположена ЛФ.

Был проведен анализ известных для Кировской области ЛФ с помощью предложенной шкалы. К практически полностью выявленным (балл 5) было отнесено шесть ЛФ (рис. 1 А, 2; см. таблицу), в том числе ЛФ г. Кирова, насчитывающая благодаря длительности исследований 94 вида. Во всех наиболее изученных ЛФ специальные исследования, проводившиеся А.Н. Чарушиной (Луза, Киров, Кстинино, Коньп), нами (Киров, Кумены, Кстинино), специалистами заповедника «Нургуш» (Нургуш) носили многолетний характер. Большинство ЛФ с баллом 5 (исключение – расположенная в средней тайге Луза), расположены в южной тайге.

Хорошо изученные ЛФ (балл 4) распространены по области шире (рис. 1 А, см. таблицу). Так, Лазарево и Уржум находятся в подзоне хвойно-широколиственных (подтаежных) лесов; на юге обла-

**Балльная шкала оценки изученности ЛФ
булавоурых чешуекрылых области**

Балл	Оценка	Критерии оценки
5	Практически выявленная	Мониторинговые исследования в течение нескольких десятков лет, известно 90% и более от общего количества известного видового состава Кировской области, ожидаемое число видов не более 6
4	Хорошо изученная	Регулярные исследования в течение последних 20 лет, известно не менее 75-90%, ожидаемое число видов до 15
3	Удовлетворительно изученная	Нерегулярные, неспециализированные исследования в отдельные годы в течение нескольких десятков лет, известно не менее 50-75%, ожидаемое число видов до 20
2	Слабо изученная	Кратковременные или неспециализированные исследования, попутные сборы в течение одного или нескольких полевых сезонов, известно 25-50%, ожидаемое число видов до 30
1	Практически не изученная	Отрывочные литературные сведения, материалы энтомологических коллекций, устные или непроверенные сообщения о находках отдельных видов, известно менее 25%

сти на границе подзон южной тайги и хвойно-широколиственных лесов располагается Медведок; Мураши, Юрья и Шабалино находятся в подзоне южной тайги, а Тулашор и Опарино – в подзоне средней тайги.

Удовлетворительно изученные ЛФ (балл 3), также сравнительно немногочисленные, расположены в разных растительных подзонах и сосредоточены в основном в центре, на севере и на юге области (рис. 1 А, см. таблицу). Значительная часть (67%) представлена ЛФ, (рис. 1 А) известными по единичным находкам и слабоизученными (баллы 1 и 2). Специальных углубленных исследований требуют и ЛФ с более высоким баллом изученности.

В связи со значительным количеством ЛФ с баллами 1–3 для первоочередного исследования были выбраны наиболее на наш взгляд перспективные (рис. 1 Б). Именно в этих локалитетах в ближайшие годы планируется инвентаризация видового состава, изучение ландшафтно-биото-

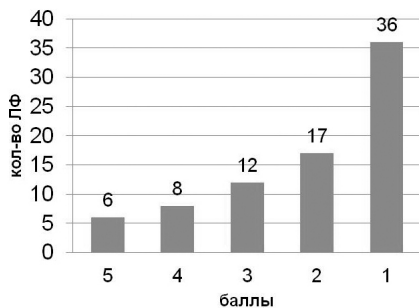


Рис. 2. Соотношение локальных фаун по баллам изученности.

пического распределения видов и выявление структуры населения булавоусых чешуекрылых в основных типах местообитаний.

ЛИТЕРАТУРА

Distribution Atlas of butterflies in Europe / O. Kudrna, A. Harpke, K. Lux [et al.]. – Halle, 2011. – 576 p.

Mapping European Butterflies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mapeurbutt.de> (дата обращения: 5.03.2020).

Penev L. Concrete biotas – A neglected concept in biogeography? / L. Penev // *Global Ecology and Biogeography Letters*. – 1997. – Vol. 6, N 2. – P. 91–96.

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

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

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

Решетников С.П. Дополнения к фауне чешуекрылых (Insecta, Lepidoptera) Кировской области / С.П. Решетников // *Материалы II городских научно-практических чтений памяти ученого-естествоиспытателя С.В. Маракова.* – Киров, 2016. – С. 34–36.

Татаринов А.Г. География дневных чешуекрылых европейского северо-востока России / А.Г. Татаринов. – М.: КМК, 2016. – 350 с.

Толмачев А.И. К методике сравнительно-флористических исследований. 1. Понятие о флоре в сравнительной флористике / А.И. Толмачев // *Журнал Русского ботанического общества.* – 1931. – Т. 16. Вып. 1. – С. 111–124.

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

Чернов Ю.И. Экология и биогеография. Избранные работы / Ю.И. Чернов. – М.: КМК, 2008. – 580 с.

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

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАКОВИННЫХ АМЕБ В НАЗЕМНЫХ БИОТОПАХ НА ОСТРОВАХ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

Е.А. Малышева¹, В.А. Спиридонов², А.Н. Цыганов^{3, 6}, А.Б. Крашенинников^{4, 7},
К.Н. Кособокова², М.В. Гаврило⁵, Ю.А. Мазей^{3, 6}

¹ Пензенский государственный университет

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет

⁵ Ассоциация «Морское наследие. Изучаем и храним»

⁶ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

⁷ Институт биологических проблем севера ДВО РАН

E-mail: elenamalysheva@list.ru

Раковинные амёбы – свободноживущие гетеротрофные простейшие, клетка которых заключена в раковинку с одним или двумя отверстиями для выхода псевдоподий. Эти организмы имеют широкое географическое распространение и населяют почвы, водоемы и болота, где могут составлять до половины общей биомассы микроорганизмов. Они играют важную роль в детритных пищевых цепях как промежуточное звено между бактериями и беспозвоночными.

Целью данного исследования явилось изучение видового состава и структуры сообществ раковинных амёб в разнотипных наземных биотопах островов архипелага Северная Земля, остающихся до сих пор слабо исследованными. Для островов архипелага типичны ландшафты арктических пустынь с обеднённым составом фауны и пятнистым характером распространения почвенно-растительного покрова. Преобладают примитивные неразвитые песчаные и щебнисто-скелетные арктические почвы.

Для исследования были отобраны образцы из 10 точек, расположенных вдоль береговой линии на о-вах Комсомолец (80°11'22" с.ш., 92°26'52" в.д.), Пионер (80°01'62" с.ш., 92°33'12" в.д.), Октябрьской Революции (79°00'30" с.ш., 96°21'60" в.д., 78°59'94" с.ш., 96°22'92" в.д., 80°01'44" с.ш., 99°23'76" в.д.), Большевик (79°13'08" с.ш., 102°15'06" в.д., 79°12'18" с.ш., 102°16'62" в.д.), Малый Таймыр (78°05'82" с.ш., 106°46'50" в.д., 78°05'88" с.ш., 106°48'18" в.д., 78°54'60" с.ш., 106°48'36" в.д.). На исследуемых станциях отбирались пробы из почвы и подушек зеленых мхов. В лаборатории пробы для изучения видового состава сообществ раковинных амёб готовили согласно методике, основанной на фильтровании и отстаивании водных вытяжек. Количественный учет и видовую идентификацию раковинных амёб в суспензии проводили с помощью прямого микроскопирования (Биомед-6ПР) при увеличении $\times 200$ в 200 полях зрения.

Всего было обнаружено 64 вида и внутривидовых таксона раковинных амеб. Видовое богатство корненожек в исследуемых образцах изменялось в пределах от 10 до 29 видов. Среднее число видов в каждом образце составило 18.14 ± 1.02 . Наиболее обильными были виды *Centropyxis cassis* (21.7% от общего числа обнаруженных раковинок), *Trinema enchelys* (15.0%), *Centropyxis platystoma* (11.2%), *Centropyxis orbicularis* (10.5%), *Centropyxis aerophila* (7.5%), *Corythion dubium* (3.7%), *Centropyxis elongata* (3.2%), *Valkanovia delicatula* (2.9%). Одиннадцать видов (*Arcella gibbosa levis*, *Archerella jolli*, *Argygnia dentistoma*, *Assulina seminulum*, *Diffflugia globulosa*, *Diffflugia oblonga*, *Diffflugia pristis*, *Euglypha ciliata*, *Euglypha laevis*, *Nebela collaris*, *Physochila griseola*, *Traceuglypha dentata*, *Trypanoxyxis arcuata major*) были отмечены только в одном образце.

Видовая структура сообществ раковинных амеб в значительной степени определялась типом исследуемого биотопа. В относительно сухих биотопах, образованных подушками зеленых мхов и дерниной травянистых растений, доминирующий комплекс видов представлен геофилами *Centropyxis cassis*, *Centropyxis orbicularis*, *Cyclorhynchus eurystoma* и *Phryganella acropodia*. В увлажненных моховых и почвенных биотопах преобладали эврибионты *Euglypha rotunda*, *Euglypha strigosa glabra* и бриофилы *Archerella flavum*, *Assulina muscorum*, *Centropyxis platystoma*. В биотопах с песчаным обедненным органикой субстратом, расположенных в прибрежной зоне близ уреза воды, массово развивались эврибионты *Trinema enchelys*, *Trinema lineare*, *Corythion dubium* и геофилы *Plagiorhynchus callida*, *Centropyxis elongata*, *Centropyxis aerophila*.

В целом, результаты исследования свидетельствуют о весьма богатой фауне раковинных амеб, населяющих наземные биотопы островов архипелага Северная Земля.

Полевой материал собран в экспедиции «Открытый океан: Архипелаги Арктики – 2019. Северная Земля», состоявшейся при финансовой поддержке National Geographic и в рамках темы Госзадания ИОРАН (№ 0149-2020-0008). Ризоподный анализ выполнен при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 19-14-00102), Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-34-00909-мол_а).

ИЗМЕНЕНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ВСЛЕДСТВИЕ МОДИФИКАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕЧНОГО БОБРА *CASTOR FIBER L.*

А.А. Полушкин

ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова

E-mail: toni.polushkin@mail.ru

В современном мире антропогенные ландшафты занимают огромные территории и на всем их протяжении соприкасаются с ареалами и индивидуальными участками животных. При этом происходят различные модификации участков в местах контактов ареалов животных и территорий, используемых человеком.

Целью исследования было выявление изменений, производимых евразийским бобром *Castor fiber L.* на территориях, частично или полностью преобразованных человеком.

В ходе исследований использовались маршрутные и эколого-статистические методы учета (Дьяков, 1975). Проводился маршрутный учет на малых и средних реках Пермского края как в непосредственной близости от г. Пермь, так и находящихся на значительном удалении от населенных пунктов в Кишертском и Чусовском районах. Учет проводился в полевой сезон 2018 г. Также использованы учетные данные 2015–2017 гг., полученные на территории Котельничского и Оричевского районов Кировской области.

Хозяйственная деятельность человека вблизи населенных пунктов часто создает благоприятные условия обитания для бобров. Очистка обочин автомобильных и железных дорог от древесной растительности, в первую очередь от ивы и осины, усиливает лесовозобновление и обеспечивает тем самым легкодоступную кормовую базу для бобров. Также при мелиоративной деятельности человек прорывает водоотводящие каналы, в которых охотно селятся бобры (Данилов и др., 2007). В результате исследований было выявлено, что деятельность человека создает пригодные условия для обитания бобров, и на данный момент большое количество бобровых поселений находится в непосредственной близости от построек людей. На территории Пермского края 20 поселений (77%) находилось в непосредственной близости от населенных пунктов и инфраструктурных объектов. В Оричевском районе 21 (58%) поселение находилось рядом с населенными пунктами и логистическими объектами, но при этом все поселения были расположены на мелиоративных каналах.

Человек использует большое количество полезных природных ресурсов для различных целей, и один из этих ресурсов – торф, а для его добычи необходимо осушение болот. Для этой цели исполь-

зуют мелиоративные каналы на всем протяжении болот, тем самым создают благоприятные условия для бобровых поселений. В 2004 г. на территории в окрестностях пгт. Мирный было 27 поселений с общей численностью 88 особей. В ходе маршрутных учетов в окрестностях пгт. Мирный Кировской области (Оричевский район) на мелиоративных каналах компании «ВяткаТорф» в 2014 г. нами было выявлено 36 бобровых поселений с численностью 134 особи. Количество бобров выросло на 34% за 10 лет, из чего следует, что территория с мелиоративными каналами является благоприятной для развития бобровых поселений.

Бобровые поселения на мелиоративных каналах имеют специфические черты. Во-первых, они представляют собой прудовые поселения с канавными типами прудов (Савичев, 2011). На канале бобры строят одну или несколько плотин, что вызывает локальный подъем воды от 0.4 до 1.2 м в зависимости от глубины канала. Так же от мелиоративных каналов бобры прорывают собственные каналы для сбора растительных кормов с большей территории. Все это приводит к нарушениям водотока, повышению уровня воды, ведущему к заболачиванию местности.

Вследствие деятельности людей вдоль автомобильных и железных дорог изменяется структура биота, увеличивается фрагментация участка и численность «опушечных» видов растений (Примак, 2002). Как результат, рядом с дорогами происходит усиление лесовозобновления некоторых древесных растений, например, ивы, осины, реже березы. Эти виды являются предпочтительными для бобров. В результате под мостами и в трубах водосбросов бобры строят небольшие плотины, которые перегораживают ручей и не дают воде проходить на другую сторону. В таких местах речки сильно разливаются, затапливая большие площади по обе стороны. Вода начинает подмывать дорожные насыпи, а в некоторых случаях переливаться через дорогу, смывать разнообразный мусор и химические вещества, находящиеся на обочинах. Так, в Пермском крае в 2018 г. на р. Васильевке, протекающей в окрестностях г. Перми, нами были обнаружены бобровые плотины, расположенные с двух сторон от Лядовского тракта. Их постройки привели к сильному разливам реки, в районе трубы водосброса у насыпи разлив превышал 120 м при общей ширине реки не более 2 м. Деятельность бобров на этой же реке, но выше по течению, сильно повредила грунтовую дорогу, ведущую к г. Пермь, и способствовала затоплению участка ЛЭП площадью более 1500 м².

Средообразующая деятельность бобров затрагивает и лесозаготовительные предприятия. В этих местах обычно концентрируются разнообразные пиломатериалы. В местах заготовки древеси-

ны скапливается множество веток, коры, а также деревьев, по каким-либо критериям не подходящих для использования человеком, но зато используемых бобрами. Делянки рядом с бобровыми поселениями используются как источники пищи и строительных материалов. Бобры прокладывают каналы и тропы к этим делянкам, которые затрудняют работу людей и техники. Несколько подобных бобровых поселений были обнаружены нами летом 2018 г. на р. Селищная Чусовского района Пермского края. Эти бобровые поселения расположены в непосредственной близости от крупной делянки, при этом все бобровые тропы направлены только в ее сторону, а на самой делянке были отмечены многочисленные следы их деятельности. Также летом 2018 г. непосредственно на территории деревообрабатывающего предприятия «Свеза», расположенного на территории Нытвинского района Пермского края, была отмечена деятельность бобров.

Таким образом бобры, вследствие роста численности начинают заселять различные биотопы не использовавшиеся ими ранее, своей средообразующей деятельностью они все чаще изменяют антропогенные ландшафты, приводя к конфликтам бобр-человек.

ЛИТЕРАТУРА

Данилов П.И. Речные бобры европейского севера России // П.И. Данилов, В.Я. Каньшиев, Ф.В. Федоров. – М.: Наука, 2007. – 200 с.

Дьяков Ю.В. Бобры европейской части Советского Союза: (Морфология, экология, пути и методы хозяйственного использования) / Ю.В. Дьяков. – Смоленск: Моск. рабочий. Смол. отд-ние, 1975. – 480 с.

Примак Р. Основы сохранения биоразнообразия / Пер. с англ. О.С. Якименко, О.А. Зиновьевой. – М.: Изд-во научного и учебно-методического центра, 2002. – 256 с.

Савичев Е.А. Многообразие и структура поселений бобра на водотоках заповедника «Вишерский» // Особо охраняемые территории в жизни региона: Материалы межрегион. конф., посвящ. 20-летию заповедника. – Пермь, 2011. – С. 120–125.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВАИТ-LAMINA В ОЦЕНКЕ ТРОФИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ В БОРЕАЛЬНОМ ЛЕСУ

А.А. Фатеева, А.А. Кудрин

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Почва имеет довольно сложную организацию, неотъемлемой частью которой является почвенная биота. Почвенные животные играют важную роль в регуляции различных экосистемных процессов в

почве. Это и деструкция органического вещества, циклы углерода, азота и других питательных элементов, механическое преобразование почвы, регуляция микробных сообществ и т.д. Одна из функций почвенной фауны связана с их трофической активностью (ТА).

Оценить ТА почвенных животных весьма затруднительно. Для такой оценки в начале 1990-х гг. von Törne предложил полуколичественный метод приманочных пластинок «bait-lamina» (von Törne, 1990), суть которого заключается в оценке степени утилизации беспозвоночными небольших фрагментов искусственной пищевой приманки в течение относительно непродолжительного периода времени.

Метод представляет собой закладку перфорированных пластинок из поливинилхлорида с приманкой в почву с последующей оценкой объема съеденной приманки. Пластины обычно имеют длину 12–15 см, заострены на одном конце и имеют 16 отверстий (рис. 1).

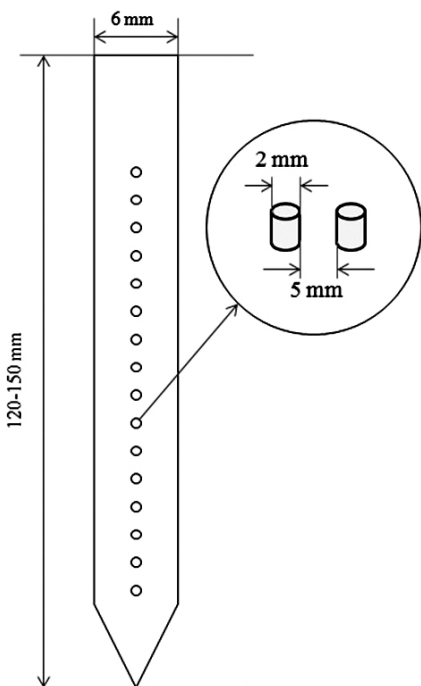


Рис. 1. Внешний вид приманочной пластинки.

Отверстия заполняются приманкой и далее пластинки помещаются вертикально в субстрат на определенный период, который в зависимости от условий может варьировать от 10 до 20 дней. Скорость разрушения приманки зависит от ТА почвенной фауны. Уровень ТА подсчитывается визуально по оценке количества съеденной приманки – перфораций отверстий (Thakur et al., 2018). Первоначальный состав приманки, предложенный E. von Törne, включал в себя микрористаллическую целлюлозу, агар-агар и пшеничные отруби. Однако на сегодняшний день существует ряд других смесей с измененным составом (Simpson et al., 2012; Helling et al., 1998). Данный метод нашел свое применение в основном в Германии, а также в Португалии, Швейцарии и Нидерландах в лабораториях экологии и экотоксикологии почв. В настоящее время пуб-

ликаций в международной литературе по данному методу немного, но интерес к этому методу растет.

Для того, чтобы выяснить, только ли активность почвенных беспозвоночных отражает bait-lamina тест, в 1997 г. в Германии был проведен лабораторный эксперимент с коллемболами, энхитреидами и суспензией микроорганизмов. Результаты показали, что в отсутствии почвенных животных разрушение приманки практически не происходит (Helling et al., 1998), что указывает на исключительную роль почвенной фауны в данном процессе. С помощью вышеуказанного метода также была продемонстрирована важная роль температуры и влажности почвы в регуляции ТА почвенных организмов (Gongalsky et al., 2008; Thakur et al., 2018). Bait-lamina тест применим и для оценки антропогенной нагрузки на функциональную активность почвенной биоты. В 2006 г. с помощью приманочных пластин было продемонстрировано негативное влияния тяжелых металлов на ТА почвенных сапрофагов (Воробейчик и др., 2007).

Цель исследования – на основе литературы проанализировать условия использования метода bait-lamina и на практике оценить ТА почвенной биоты в бореальном лесу. В ходе работы мы планировали ответить на следующие вопросы: 1) Отличается ли ТА почвенной биоты на различной глубине почвы? и 2) Как меняется уровень ТА почвенных животных в течение вегетационного периода в бореальном лесу?

Исследования проводились в 2019 г. в еловом лесу в окрестностях г. Сыктывкара. На исследуемой территории леса было выделено три участка, расположенных на расстоянии около 100 м друг от друга. На каждом участке было заложено по две пробные площади, на которых производилась установка приманочных пластин по 6 шт. на одну пробную площадь (рис. 2). Для оценки динамики ТА почвенных беспозвоночных пластинки со стандартной приманкой закладывались с 4 июня по 25 октября 2019 г. (около пяти месяцев) с периодом каждые две недели. Для оценки различий ТА на разной глубине почвы приманочные пластины закладывали на глубину 0–4 и 4–8 см. В общей сложности за период

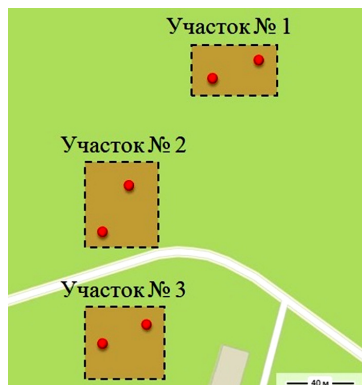
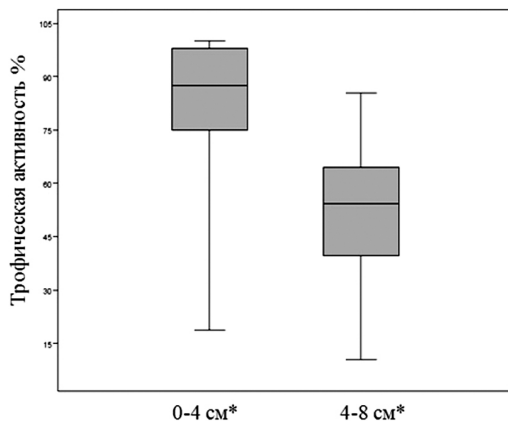


Рис. 2. Схема расположения исследуемых участков.

исследования было установлено около 400 примачных пластин.

В ходе работы нами было обнаружено, что ТА почвенных животных отличается по профилю почвы (рис. 3). На глубине 0–4 см она была выше, чем на глубине 4–8 см (Mann-Whitney U-test; $p < 0.05$). Выявленная тенденция хорошо согласуется с данными других исследований (Gongalsky et al., 2008; Simpson et al., 2012; Rozen et al., 2010, Воробейчик и др., 2007) и общей тенденцией более высокой численности, разнообразия и активности почвенных беспозвоночных в верхних горизонтах почвы (Жолесникова и др., 2013). Было обнаружено, что в течение вегетационного периода происходит изменение ТА почвенных животных (Kruskal-Wallis test; $H = 25.4$; $p < 0.05$). Уровень



Глубина почвенного покрова

Рис. 3. Уровень ТА почвенной биоты на разной глубине почвенного покрова (*от поверхности почвы).

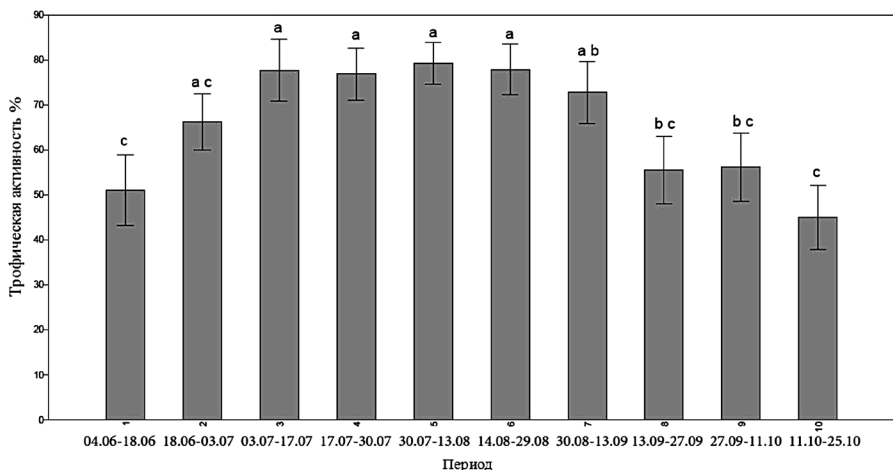


Рис. 4. Уровень ТА почвенной биоты в разные периоды исследования (\pm S.E.).

ТА постепенно увеличивался с начала исследования, достигал наивысшего значения в августе, после чего начал постепенно снижаться (рис. 4).

Как показал литературный анализ, метод «bait-lamina» весьма малозатратен, практичен и довольно точно отражает активность почвенной биоты как в лабораторных условиях, так и в полевых исследованиях. Данный метод может быть использован для оценки влияния различных биотических, абиотических и антропогенных факторов на функциональную активность почвенных животных.

В ходе практического применения данного метода было установлено, что ТА почвенных животных в бореальном лесу выше в верхнем слое почвы (0–4 см) по сравнению с нижележащим (4–8 см), а ее максимум приходится на август.

ЛИТЕРАТУРА

Воробейчик Е.Л. Реакция почвенной мезофауны на выбросы Среднеуральского медеплавильного комбината / Е.Л. Воробейчик, А.И. Ермаков, М.Е. Гребенников [и др.] // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. – Екатеринбург, 2007. – С. 128–147.

Колесникова А.А. Вертикальное распределение Collembola, Lumbricidae и Elateridae в аллювиальных почвах пойменных лесов / А.А. Колесникова, А.А. Таскаева, Е.М. Лаптева, С.В. Дегтева // Сибирский экологический журнал. – 2013. – Т. 1. – С. 45–55.

Gongalsky K.B. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test / K.B. Gongalsky, T. Persson, A.D. Pokarzhevskii // Applied Soil Ecology. – 2008. – Vol. 39. – P. 84–90.

Helling B.A comparison of feeding activity of collembolan and enchytraeid in laboratory studies using the bait-lamina test / B. Helling, G. Pfeiff, O. Larink // Applied Soil Ecology. – 1998. – Vol. 7. – P. 207–212.

Rozen A. Soil faunal activity as measured by the bait-lamina test in monocultures of 14 tree species in the Siemianice common-garden experiment, Poland / A. Rozen, Ł. Sobczyk [et al.] // Applied Soil Ecology. – 2010. – Vol. 45. Issue 3. – P. 160–167.

Simpson J.E. Factors affecting soil fauna feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland / J.E. Simpson, E. Slade, T. Riutta, M.E. Taylor // PLoS ONE. – 2012. – Vol. 7(1). – e29616.

Thakur M.P. Reduced feeding activity of soil detritivores under warmer and drier conditions / M.P. Thakur, P.B. Reich, S.E. Hobbie [et al.] // Nature climate change. – 2018. – Vol. 8. – № 1. – P. 75–78.

von. Törne E. Assessing feeding activities of soil-living animals. I. Bait-lamina-tests // Pedobiologia. – 1990. – Vol. 34. – P. 89–101.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА ЛЕЩЕВОЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД (ПРИРОДНЫЙ ПАРК «ВАЛААМСКИЙ АРХИПЕЛАГ»)

А.Н. Чернышев, А.Б. Степанова

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: *chernyshev.alexander2015@yandex.ru*

Важную роль в охране водных экосистем играют особо охраняемые природные территории. Проводимые на их базе мониторинговые исследования вносят значительный вклад в разработку методов рационального использования ресурсов. Такие работы по изучению водных экосистем активно проводятся на территории природного парка «Валаамский архипелаг, где расположено 11 озер. Водосбор некоторых из них подвергается антропогенному воздействию, в том числе водосбор оз. Лещевое. В 2015–2017 гг. в северной и западной его частях были проведены мелиоративные работы (Экосистемы..., 2016). Сейчас эти территории регулярно распахиваются для выращивания кормовых культур. Сложная форма озера и особенности расположения сельскохозяйственных лугов говорят о необходимости выявления степени воздействия внешних факторов на его экосистему в разных частях акватории. Широко используемым индикатором этого воздействия являются характеристики зоопланктона.

Цель работы – оценка пространственной изменчивости зоопланктона оз. Лещевое в августе 2019 г. Основные задачи: 1) описание пространственной изменчивости ряда гидрохимических параметров и температуры воды; 2) сравнительный анализ видового состава и видового разнообразия зоопланктона на исследованных станциях; 3) оценка пространственной изменчивости структурных показателей зоопланктона.

Валаамский архипелаг расположен в северной части Ладожского озера и состоит из 50 островов. Озеро Лещевое расположено на самом крупном из них – о-ве Валаам. Водоем имеет два залива с разными глубинами: северо-западный (до 2 м) и северо-восточный (до 7 м). Водосборная площадь представлена лесными и луговыми сообществами. Озеро относится к нейтральным мезополигуменным мезополижелезистым (Степанова и др., 2010). В литоральной части водоема наблюдается активная вегетация макрофитов, занимающих до 15% площади озера.

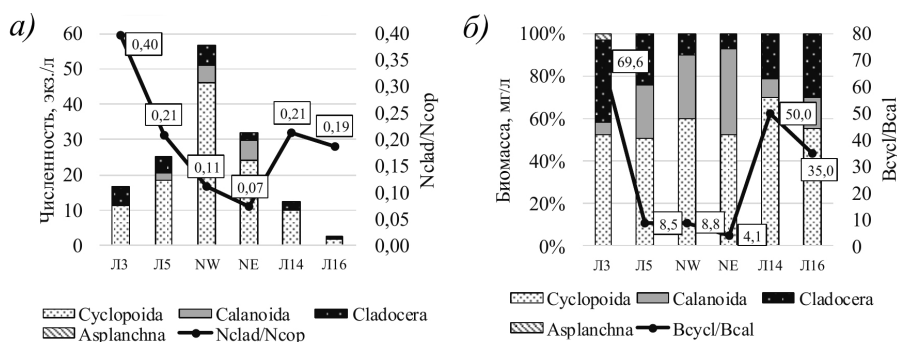
Исследование проводилось на базе Учебно-научной станции РГГМУ на о-ве Валаам. Отбор проб зоопланктона производился на шести станциях с 6 по 7 августа 2019 г. по общепринятым методикам (Руководство..., 1983). Также определялись важнейшие гидро-

химические параметры и температура воды с использованием общепринятых методов (Алекин, 1973).

В состав зоопланктона входило 11 видов, принадлежащих следующим крупным таксонам: *Cyclopoida* – два вида; *Calanoida* – один; *Cladocera* – восемь видов. Общая численность изменялась от 2.2 до 56.9 экз./л ($N_{\text{среднее}} = 24.1$ экз./л), биомасса – от 0.02 до 0.73 мг/л ($B_{\text{среднее}} = 0.32$ мг/л). Индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера варьировал в диапазонах от 0.7 до 1.1 бит/экз. Максимальное значение зафиксировано на мониторинговой станции (Н – 6.8 м). Доминирующей группой как по численности, так и по биомассе были *Cyclopoida* за счет *Thermocyclops oithonoides* Sars. Его доля составляла 80 и 60% соответственно (см. рисунок).

По показателю численности своими минимальными значениями выделялись три относительно мелководные станции: ЛЗ – в непосредственной близости от зарослей кубышки *Nuphar lutea*; Л14 и Л16 – рядом с сельскохозяйственными полями. Станция ЛЗ отличалась максимальной долей *Cladocera* (28% от численности и 39% от биомассы) за счет обилия *Daphnia cristata* Sars и *Bosmina crassicornis* Lilljeborg. Невысокая общая численность здесь, вероятно, связана с особенностями расположения. На станции Л16 численность массовых *Thermocyclops oithonoides* и *Daphnia cristata* была крайне низкой – 1.8 и 0.21 экз./л соответственно. На сходной по глубине точке в северо-западной части озера эти значения были в 10 раз выше. Южнее Л16, на станции Л14, более удаленной от береговой линии, численность была сравнительно выше, но при этом ниже среднего для водоема значения в два раза.

В исследуемый период значения рН находилось в диапазоне 6.8–7.0, концентрация растворенного кислорода в поверхностном



Доля крупных таксонов зоопланктона в численности (а) и биомассе (б) в оз. Лещеево в августе 2019 г.

горизонте варьировала от 9.0 до 9.5 мг/л, температура воды изменялась от 14 до 18 °С. Распределение величин этих параметров в исследованный период не отличалось выраженной изменчивостью, поэтому их влияние на численность зоопланктона было незначительным. Отмеченное угнетение сообщества в северо-восточной части озера, вероятно, было вызвано поступлением взвешенных частиц с сельскохозяйственных полей.

Таким образом, в период исследования были обнаружены все виды зоопланктона, встреченные ранее (Чернышев, Степанова, 2019), существенной пространственной вариабельности в доминантном комплексе не обнаружено. Однако мелководные станции характеризовались значительно более низкими значениями численности и биомассы. Это было связано с их глубиной и активным поступлением с водосбора органического вещества. Наибольшее влияние оказывали аллохтонные вещества, поступающее с сельскохозяйственных полей. Механизмы влияния подобных стоков на структуру зоопланктона нуждаются в дальнейших исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

Алекин О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцев. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 210 с.

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

Степанова А.Б. Гидрохимические особенности малых озер острова Валаам / А.Б. Степанова, Г.Ф. Шарафутдинова, Е.Ю. Воякина // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2010. – № 12. – С. 97–109.

Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние / под ред. А.Б. Степановой. – СПб.: РГГМУ. – 2016. – 44 с.

Чернышев А.Н. Характеристика сообщества зоопланктона озера Лещевое (остров Валаам, Ладожское озеро) / А.Н. Чернышев, А.Б. Степанова // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации: сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: РГГМУ, 2019. – С. 858–860.

Секция 3

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОГО ВОДОТОКА (РЕКА ОХТА, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

А.М. Белякова, Н.В. Зуева, А.В. Козлова

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: annabell1997a@gmail.com

Река Охта – это крупнейший правый приток р. Невы, ее длина составляет 90 км, а площадь водосбора – 768 км². Нижний участок реки длиной 9 км протекает по высоко урбанизированной территории города, в связи с чем по течению наблюдается увеличение уровня загрязненности из-за возрастания антропогенной нагрузки (Зуева, Бобров, 2018).

Воды р. Охты в 2014–2018 гг. по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) были отнесены к классу качества 4А («грязные») с основными индикаторами загрязнений БПК₅ (биохимическое потребление кислорода за пять дней), ХПК (химическое потребление кислорода), медь, железо, цинк, марганец, аммонийный азот (Качество поверхностных вод РФ). Из-за большого уровня загрязнения вод р. Охта привлекает внимание многих исследователей из разных областей (Алексеев и др., 2010; Беляков и др., 2015; Зуева, Бобров, 2018).

При оценке экологического состояния водного объекта используется информация как о самих гидробионтах, так и о среде, в которой они обитают. В данной работе рассматриваются и анализируются гидрохимические данные, полученные при полевых исследованиях в летний период 2018 и 2019 гг.

Для оценки степени загрязненности водного объекта по гидрохимическим характеристикам в настоящее время используется большое количество индексов и показателей. Так, в системе мониторинговых наблюдений Федеральной службы по гидрометеороло-

гии и мониторингу окружающей среды РФ с 2002 г. используется УКИЗВ. Однако его применение отдельными исследователями затруднено обязательными требованиями к параметрам оценки и объему исходных данных. По этой причине для оценки загрязнения р. Охты были выбраны такие показатели, как индекс загрязненности воды (ИЗВ) и Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) (CCME WQI..., 2017).

ИЗВ активно использовался в РФ до 2002 г. и представляет собой среднюю долю превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) по строго лимитированному числу параметров, а именно шести. CCME WQI введен в использование в Канаде в 2001 г. и с тех пор широко используется по всему миру. Индекс не ограничивает пользователя в типе и количестве параметров, используемых для оценки качества воды, исследуемого временного периода и типа водного объекта. К преимуществам метода также можно отнести простоту расчета и однозначность конечного результата (по сравнению с УКИЗВ). Это привлекает внимание исследователей, в том числе и в РФ (Заславская и др., 2019).

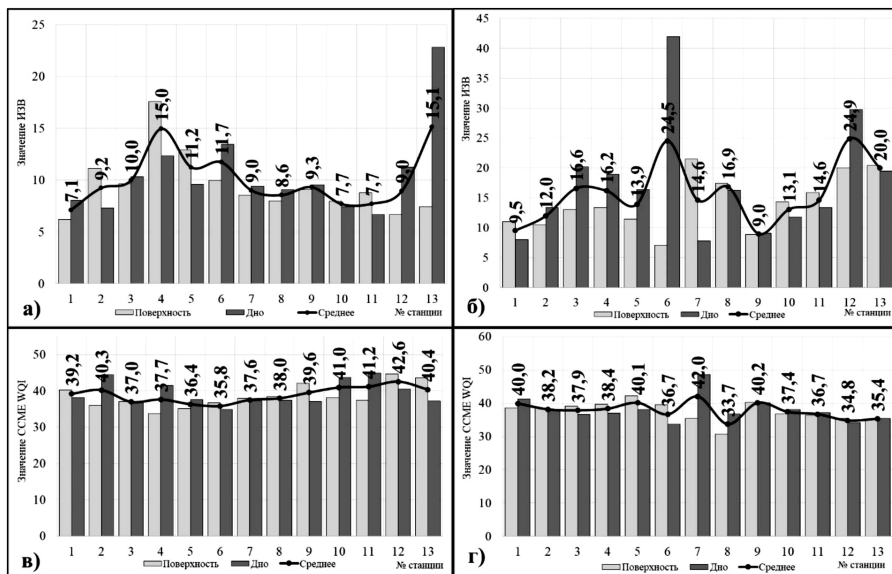
Пробы воды отбирали на 13 станциях р. Охты в пределах г. Санкт-Петербурга. Несмотря на то, что р. Охта – малая река, она требует тщательного наблюдения за качеством воды из-за высокой антропогенной нагрузки, в связи с чем пробы отбирались послойно с поверхностного и придонного горизонтов.

В ходе исследований р. Охты в 2018 г. был определен следующий перечень гидрохимических показателей: pH, общая жесткость (в том числе кальций-ион и магний-ион), растворенный кислород, БПК₅, суммарное железо, фосфор фосфатов, азот аммонийный, азот нитратный, нефтепродукты. В 2019 г. определен схожий набор показателей, однако выбрана иная форма учета азота в воде – азот нитритный.

Результаты расчетов ИЗВ и CCME WQI для р. Охты по поверхностному и придонному горизонтам, а также средние значения приведены на рисунке (см. рисунок, а-г).

Так, полученные значения ИЗВ в 2018 г. варьируют от класса «очень грязная» (ст. 1, поверхность) до «чрезвычайно грязная» (ст. 13, дно), а в 2019 г. – от «очень грязная» (ст. 6, поверхность) до «чрезвычайно грязная» (ст. 6, дно).

Значения CCME WQI за 2018 г. изменяются в пределах от класса «критическое качество» воды (ст. 11, дно) до «плохое качество» (ст. 4, поверхность), а по данным 2019 г. – от «критическое качество» (ст. 7, дно) до «плохое качество» (ст. 8, поверхность).



Значения IZV (а – 2018 г., б – 2019 г.) и CCME WQI (в – 2018 г., г – 2019 г.) для р. Охты.

Оба рассмотренных подхода к оценке качества воды р. Охты по гидрохимическим показателям демонстрируют схожую оценку: класс качества самый низкий. Однако более приемлем для использования именно CCME WQI, так как он имеет ряд преимуществ над IZV, который может сильно занижать качество воды (на примере ст. 13, придонный горизонт, 2018 г., где IZV равен 22.8 в связи с превышением ПДК по нефтепродуктам в 96.8 раз). CCME WQI гибок в отношении выбора параметров и временного периода для оценки состояния водного объекта вне зависимости от его типа. Таким образом, его можно рекомендовать для включения в экологическую оценку водного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Д.К. Экологические проблемы водотоков и водоемов Санкт-Петербурга и пути их решения / Д.К. Алексеев, В.В. Гальцова, А.Ю. Куличенко // Географические и экологические аспекты гидрологии. – СПбГУ, 2010. – С. 116–121.

Беляков В.П. Мониторинг экологического состояния городских водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса / В.П. Беляков, А.И. Бажора, И.В. Сотников // Изв. Самарского НЦ РАН. – 2015. – Т. 17. – № 6. – С. 51–56.

Заславская М.Б. Сопоставление эффективности параметризации качества речных вод различными методами в условиях значительного антропогенного воздействия / М.Б. Заславская, О.Н. Ерина, Л.Е. Ефимова // География и природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 30–37.

Зуева Н.В. Использование макрофитов в оценке экологического состояния малой реки (на примере реки Охты, Санкт-Петербург) / Н.В. Зуева, А.А. Бобров // Биология внутренних вод. – 2018. – № 1. – С. 45–54.

Качество поверхностных вод РФ. Ежегодники за 2014–2018 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gidrohim.com/node/44>. (Дата обращения: 22.02.2020).

CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update [Электронный ресурс] // Canadian Council of Ministers of the Environment, 2017. – Режим доступа: https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/WQI%20Manual%20EN.pdf. (Дата обращения: 25.02.2020).

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ И ДИНАМИКИ ПОТОКА CO_2 ГРАДИЕНТНЫМ МЕТОДОМ В ПОЧВАХ БОТАНИЧЕСКОГО САДА МГУ

А.В. Исаева, О.Ю. Гончарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: isaevaany@yandex.ru

В настоящее время в связи с глобальным изменением климата в мире увеличился интерес к источникам парниковых газов, таких как CO_2 , CH_4 и N_2O . Почва является одним из основных источников диоксида углерода, даже небольшие изменения в величине почвенных потоков CO_2 могут оказывать значительное влияние на концентрацию углекислого газа в атмосфере. В связи с этим изучение газообмена между почвой и атмосферой является на сегодняшний день актуальной задачей. В городских почвах из-за значительной антропогенной нагрузки эмиссия парниковых газов может значительно отличаться от таковой в ненарушенных естественных почвах. Почвы ботанических садов формируются в специфических условиях, отличных от условий формирования как городских почв других функциональных зон, так и от естественных почв. Ботанический сад МГУ с разнообразным растительным покровом и антропогенными сконструированными почвами является уникальным объектом для исследований (Гончарова и др., 2016).

В рамках данной работы была произведена оценка сезонных потоков углекислого газа в почвах Ботанического сада МГУ на основе градиентного метода и сравнение с результатами, полученными путем прямого измерением эмиссии CO_2 с поверхности почвы.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи: мониторинговые измерения эмиссии и концентрации CO_2 на исследуемых участках; круглогодичная оценка гидротермических параметров почв (температура, влажность); расчет запасов углекислого газа и оценка потенциальной эмиссии на основе данных, полученных в результате многолетних мониторинговых исследований; сравнение данных, полученных с помощью расчетов и прямого измерения эмиссии; оценка эффективности методов.

Исследование проводили на рекреаземе под еловыми насаждениями, расположенными в Ботаническом саду МГУ им. М.В. Ломоносова на Воробьевых горах.

Эмиссию CO_2 с поверхности почвы измеряли методом статичных закрытых камер (Смагин, 2005) раз в две недели с 21.11.2018 по 11.11.2019 г. в трехкратной повторности. Во время эксперимента одновременно с измерением эмиссии углекислого газа осуществлялся погоризонтный отбор газовых проб методом мембранных проб-отборников (Cerling et al., 1991) на глубинах 10, 20, 40 см. Дальнейшее измерение концентраций CO_2 проводили с помощью портативного газового анализатора с инфракрасным датчиком. В период исследований регистрировали температуру воздуха с помощью логгеров Thermochron iButton TM (Dallas Semiconductor Corporation, TX, USA; разрешение 0.5 °C, точность $\pm 1^\circ\text{C}$), а также объемную влажность почвы на разной глубине с помощью датчиков-логгеров Spectrum WatchDog 1000 Series Micro Stations – Temp/RH ежедневно с интервалом 1 ч. Для дополнительного контроля объемной влажности почвы проводили измерение данного показателя в верхнем горизонте с помощью влагомера FieldScout TDR 100 Soil. Расчеты потока CO_2 из почв проводили по градиентному методу (De Jong, Schappert, 1972).

В рамках проведенных исследований во время сезонных наблюдений был получен массив данных, включающий значения эмиссии и концентраций CO_2 и гидротермические параметры исследуемой почвы. В настоящий момент проводится оценка эффективного коэффициента диффузии в лабораторных условиях (Шейн, 2007), зависимости коэффициента от порозности аэрации, а также расчеты потоков CO_2 из почв.

Полученные данные позволят оценить точность градиентного метода по сравнению с измерением эмиссии методом статичных закрытых камер, а также провести более полную и точную оценку газовой функции исследуемых почв.

ЛИТЕРАТУРА

Гончарова О.Ю. Сезонная динамика продукции CO_2 почвами дендрария Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова / О.Ю. Гончарова, О.В. Семенов, Г.В. Матышак, А.А. Бобрик // Вестник Московского университета. – Серия 17: Почвоведение. – 2016. – № 2. – С. 3–10.

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

Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. – М.: «Гриф и К», 2007. – 616 с.

Cerling T.E. On the isotopic composition of carbon in soil carbon dioxide / T.E. Cerling, D. Solomon, J. Quade, J.R. Bowman // Geochim. Cosmochim. – 1991. – Acta 55 (11). – P. 3403–3405.

De Jong E., Schappert H.J.V. Calculation of soil respiration and activity from CO_2 profiles in the soil / E. De Jong, H.J.V. Schappert // Soil Science. – 1972. – T. 113. – № 5. – С. 328–333.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ,
СОДЕРЖАЩИХ ОБМЕННЫЕ ИОНЫ ЖЕЛЕЗА (III)**

М.А. Королёв^{1,2}, Е.В. Кызьюрова², В.И. Михайлов³

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

³ Институт химии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: mihailkorolev1997@gmail.com

Кислотность почвы – способность почвы проявлять свойства кислот. Компоненты, определяющие кислую реакцию, могут находиться в жидкой фазе почв, на поверхности частиц, в составе комплексных соединений, а также представлять самостоятельные твердые фазы (Соколова и др., 2007). Основные постулаты концепции природы кислотности почв сформулированы на примере почв средних широт, где преобладают слабокислые почвы. Почвы с низкими значениями рН распространены преимущественно в районах Крайнего Севера. Предыдущими исследованиями была высказана гипотеза, что в подобных почвах важную роль в создании обменной кислотности принадлежит не ионам алюминия, а ионам железа (III), а также была установлена низкая прецизионность измерения кислотности потенциометрическим методом (Ванчикова и др., 2016).

В качестве объектов исследований выбраны образцы элювиальных горизонтов почв, которые вне зависимости от генезиса характеризуются сходными свойствами: массовая доля илстой фракции составляет $\omega_{\text{иф}} = 2\text{--}13\%$, оксида кремния $\omega(\text{SiO}_2) = 75\text{--}87\%$, углерод органических соединений – $\omega(\text{C}_{\text{орг}}) < 2.5\%$, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} \leq 4.8$, $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 3.3$. Рассматриваемые почвы сформированы в широком диапазоне при-

родно-климатических условий: в подзоне средней тайги, северной тайги, в маршевой зоне побережья Баренцева моря. Существенные различия в биоклиматических, литолого-геоморфологических и геокриологических условиях определяют специфические черты почвообразования исследуемого ряда почв и отличия в физико-химических свойствах. При этом ведущая роль в пространственном разнообразии сравниваемых нами почв принадлежит минерало-гранулометрическому составу и литологической неоднородности почвообразующих пород, представленных как четвертичными отложениями водно-ледникового генезиса (пылеватými покровными суглинками, моренными опесчаненными суглинками, флювиогляциальными отложениями), так и элювием коренных пород – алевролитовых сланцев, известняков, наносными отложениями. Различия климатических условий сказывается на гидротермических режимах почв и их отдельных свойствах.

Содержание катионов в вытяжках из почв определено методом атомно-эмиссионной спектроскопии. В солевых вытяжках массовая доля ионов алюминия (III) составляет 50–430, ионов железа (III) – 3–180 мг/кг, силикат-ионов – менее 3 мк/кг. В водных вытяжках содержание этих ионов в соответствующих образцах существенно ниже, однако кратность для ионов алюминия равна 4–17, ионов железа не превышает четырех и лишь в одном равна 20. Содержание силикат-ионов, напротив, в водных вытяжках соответствующих горизонтов в 4–40 раз выше по сравнению с солевыми. Более высокая эффективность экстракции солевым раствором связана с тем, что KCl-вытяжки переходят не только в водорастворимые формы, но и обменные формы элементов, которые вытесняются ионом K^+ . Кроме того, растворимость некоторых малорастворимых солей увеличивается в присутствии других растворимых солей, не имеющих с ними общих ионов. Превышение содержания кремния в водных экстрактах по сравнению с солевыми связано с ростом растворимости силикатов при повышении pH.

Характеристика коллоидных частиц (гидродинамический диаметр D и дзета-потенциал ζ) водных вытяжек выполнена методами динамического рассеяния света и доплеровского электрофореза на лазерном анализаторе **ZetaSizer Nano ZS, Malvern**. В солевых фильтрах почв обнаружено присутствие коллоидных частиц, средний размер которых составляет 1.51–3.92 мкм. Корреляционный анализ не выявил связи между размером коллоидных частиц и молей эквивалентов Al^{3+} , Fe^{3+} , силикат-ионов в солевых вытяжках из почв ($|r| < 0.3$). Это может быть связано с тем, что в солевых вытяжках при столь высокой ионной силе могли образоваться агломераты и

более крупного размера, большего, чем размер пор фильтра квалификации «синяя лента» (3–5 мкм). Максимально зафиксированный диаметр частиц в изучаемых почвах составляет 4 мкм.

Размер коллоидных частиц в водных вытяжках существенно меньше, чем в солевых, и меньше диаметра пор фильтра. Коллоидные частицы более полно переходят в водную вытяжку в процессе фильтрования. Корреляционный анализ подтвердил взаимосвязь диаметра частиц в водных экстрактах и количества вещества эквивалента водорастворимых форм Si(IV), суммы молей Si(IV) и Fe(III), ($r = 0.5$). Таким образом, вероятно, в водных вытяжках основу коллоидных частиц составляет кремний, а также Si-Fe-тые фрагменты. В отношении водных вытяжек из почв обнаружена отрицательная связь с количеством вещества эквивалентов Si(IV) и зарядов коллоидных частиц ($r = -0.6$), а также положительная корреляция с содержанием Fe(III) и суммы Fe(III) и Al(III) (соответственно $r = 0.5$ и 0.4). Данный факт свидетельствует о том, что отрицательный заряд коллоидных частиц водных вытяжек из почв определяется присутствием растворимых силикат-ионов, который частично компенсирован положительно заряженными частицами Fe(III) и Al(III).

Для понимания проблем, влияющих на точность потенциометрического измерения обменной кислотности, выполнено исследование модельных систем, включающих растворы солей алюминия и железа (III). Значения pH_{KCl} модельных растворов ионов алюминия равны 4.1–4.2, ионов железа (III), а также двухкомпонентных систем (Al^{3+} и Fe^{3+}) – 2.7–3.2. Последнее совпадает со значениями pH солевых вытяжек из почв, содержащих сопоставимые количества обменных форм названных ионов. Следовательно, высокая кислотность солевых экстрактов изучаемых почв может обуславливаться обменными формами ионов железа (III).

В модельных двухкомпонентных системах относительная погрешность измерения молярных концентраций эквивалентов хлоридов алюминия и железа (III) незначительна ($|\delta| \leq 2.5$) лишь при времени взаимодействия титранта и вытяжки, равном 20 мин. Оптимальное время взаимодействия установлено экспериментальным путём. Таким образом, совместное присутствие ионов и высокая ионная сила раствора не влияют на измерение суммарной молярной концентрации эквивалентов ионов алюминия и железа (III) методом потенциометрического титрования в случае, если выдержано время установления равновесия между исследуемым раствором и электродной системой. Однако столь длительный промежуток времени, необходимый для достижения равновесия в системе, ставит под сомнение возможность использования данного режима титрования при выполнении массовых исследований.

Трудности проведения анализа связаны с тем, что гидролиз ионов железа (III) **препятствует взаимодействию ионов алюминия с водой**, в то же время расход ионов H^+ на взаимодействие с гидроксо-ионами алюминия усиливает гидролиз ионов железа (III). Поэтому нет «вертикального» скачка на кривой титрования для образования гидроксида железа (III) и невозможно четко выявить значение рН конца образования гидроксида железа (III). **Причем чем меньше молярная концентрация ионов железа (III) в растворе, тем меньшее значение рН соответствует эквивалентному количеству добавленных гидроксид-ионов, необходимых для образования гидроксида железа (III).** Второй причиной, препятствующей образованию осадка гидроксида железа, могут выступать ионы алюминия при $[Al^{3+}]:[Fe^{3+}] > 1$. Ионы алюминия (III) стабилизируют частицы золя гидроксида железа (III), коагуляция $Fe(OH)_3$ происходит только после полного связывания Al^{3+} в частицы $Al(OH)_3$ (Кауа, 2005).

Анализ водных и солевых растворов алюминия и железа в концентрациях, аналогичных водным вытяжкам из почв, также выявил наличие коллоидных частиц. Размер частиц в солевых вытяжках в 4–12 раз больше, чем водных вытяжек. Кроме того, размер частиц в модельных растворах существенно (в 3–12 раз) ниже по сравнению с соответствующими вытяжками из почв. Заряд частиц в водных вытяжках из почв имеет отрицательный знак, в то время как в модельных растворах – как солевых, так и водных, – положительный. При этом в солевых вытяжках заряд частиц колеблется в диапазонах 19–30 мВ и в 1.3–2.5 раза превышает заряд частиц в водных. Наличие положительного заряда частиц в растворах, содержащих только ионы железа и/или алюминия с рН 2.8–3.2, ожидается и соответствует данным литературы, согласно которым в кислой среде ионы алюминия и железа образуют положительно заряженные частицы. Данный факт свидетельствует о том, что отрицательный заряд коллоидных частиц вытяжек из почв, вероятно, определяется присутствием органических соединений, а также оксида кремния, покрывающими положительно-заряженные Al, Fe-содержащие частицы.

Таким образом, следует внести уточнения в пропись измерений обменной кислотности образцов почв со значениями $pH_{H_2O} < 4.4$ и $pH_{KCl} < 3.2$. При работе с подобными объектами рекомендовано использовать атомно-эмиссионный метод, поскольку длительность анализа вытяжек, содержащих дисперсную фазу, ставит под сомнение использование подобного режима при выполнении массовых исследований.

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

ЛИТЕРАТУРА

Ванчикова Е.В. Сравнительная оценка методик измерения обменной кислотности почв потенциометрическим и атомно-эмиссионным методами / Е.В. Ванчикова, Е.В. Шамрикова, Н.В. Беспярых, Г.А. Забоева, Ю.И. Боброва, Е.В. Кызъюрова // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 557–563.

Соколова Т.А. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе / Т.А. Соколова, И.И. Толпешта, С.Я. Трофимов. – Тула: Гриф и К, 2007. – 96 с.

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

ДИНАМИКА ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНЕВСКИХ ОЗЕР ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА

А.К. Котова, Е.Ю. Воякина

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: nasty-1255@mail.ru

Система Коневских озер располагается на о-ве Валаам, который находится в глубоководной части Ладожского озера в 40 км от г. Сортавала. В систему Коневских озер входят три озера, соединенных протоками: Игуменское, Черное и Оссиево. Озера Черное и Игуменское из системы Коневских озер отличаются от оз. Оссиево и остальных озер о-ва Валаам по большинству лимнологических параметров (Степанова и др., 2009). Их уникальность определяется особенностями термического и газового режима, высоким содержанием органического вещества, биогенных элементов и общего железа, особенно в придонных горизонтах, где идет их накопление. Если сравнивать озера Игуменское и Черное с озерами материковой Карелии по классификации, проведенной П.А. Лозовиком с соавторами (Лозовик и др., 1991), то именно по сочетанию вышеперечисленных гидрохимических параметров они не подходят ни под один из выделенных типов озер. Это позволило отнести их к отдельному типу озер – нейтральные мезогумусные мезожелезистые с повышенным содержанием органического вещества (Степанова и др., 2009). Вследствие особенностей рельефа в Коневских озерах водообмен между ними незначителен (Гагарин и др., 1998).

Цель данной работы: изучить динамику лимнологических параметров Коневских озер Валаамского архипелага в период с июня по сентябрь 2015–2019 гг.

В работе рассматривалась динамика следующих лимнологических параметров: температура, прозрачность, рН, содержание растворенных газов (O_2 и CO_2), содержание общего органического вещества, определяемое методом перманганатной окисляемости (ПО), и общего железа, а также хлорофилла. Диапазоны и средние значения исследуемых параметров Коневских озер за 2015–2019 гг. представлены в таблице. Подробно особенности температурного и газового режима Коневских озер были проанализированы в предыдущей работе (Котова, Воякина, 2019). Поэтому здесь основное внимание было уделено сравнению данных за 2015–2018 гг. с данными за 2019 г. В 2019 г. температура воды на поверхности в Коневских озерах не отличалась от среднесезонного значения.

Еще один параметр без значительных межгодовых флуктуаций – это прозрачность воды. В 2019 г. она в озерах Игуменское и Черное не отличалась от предыдущих лет, в то время как в оз. Осиево увеличилась в среднем на 0.3 м.

По сравнению с предыдущим периодом наблюдений в озерах Черное и Осиево в 2019 г. наблюдались максимальные значения активной реакции среды. Так, в оз. Черное наибольшее её значение в поверхностном горизонте было в августе 2019 г., а в оз. Осиево – в июле 2019 г. (см. таблицу).

Во всех исследуемых озерах в 2019 г. на поверхности были зарегистрированы случаи с максимальным содержанием процентного насыщения кислородом (более 90%) (см. таблицу). В озерах Игу-

**Диапазоны и средние значения ряда лимнологических параметров
Коневских озера Валаамского архипелага
в поверхностном горизонте за 2015–2019 гг.**

Параметр	Озеро		
	Черное Среднее значение (min-max)	Игуменское Среднее значение (min-max)	Осиево Среднее значение (min-max)
T, C°	18.1 (10.1–24.8)	18.2 (10.0–26.2)	17.5 (9.6–24.7)
SD, м	1.7 (1.0–2.1)	1.7 (1.2–2.2)	1.2 (0.6–1.5)
pH	6.5 (6.0–7.4)	6.5 (6.1–6.9)	6.3 (5.8–6.7)
O_2 , %	77 (50–90)	84 (60–95)	68 (41–91)
CO_2 , мл/дм ³	6.3 (1.8–15.3)	5.8 (0.9–20.2)	8.2 (3.0–23.8)
ПО, мгО/дм ³	17.4 (9.6–24.0)	17.8 (13.7–24.2)	19.8 (9.8–30.5)
Fe, мг/дм ³	0.4 (0.3–0.5)	0.4 (0.2–0.5)	0.6 (0.4–1.0)
Хлорофилл а, мкг/дм ³	17.1 (2.0–148.6)	6.1 (1.8–17.6)	17.6 (2.4–60.0)

менское и Черное на протяжении всего исследуемого периода наблюдались заморные явления.

Значения растворенного CO_2 в поверхностных горизонтах в разные годы изменялись значительно, наиболее широкий диапазон был характерен для оз. Черное (см. таблицу). В оз. Оссиево содержание растворенной двуокиси углерода в поверхностном горизонте за последние два года снизилось.

В озерах Игуменское и Черное значение ПО в 2019 г. не отличалось от предыдущего периода исследования. По-прежнему средние значения ПО в озерах были высокие, а в оз. Оссиево в июле 2019 г. на поверхности было зарегистрировано минимальное за период исследования значение (см. таблицу).

Средние значения и диапазоны общего железа в 2019 г. в поверхностных горизонтах в озерах Черное и Игуменское различались незначительно. В придонных горизонтах этих озер в сентябре 2019 г. были отмечены максимальные за последние пять лет значения. За период исследования в оз. Оссиево в поверхностном горизонте содержание общего железа варьировало незначительно, в отличие от придонных слоев, где в последние два года шло резкое сокращение общего железа. В июле 2019 г. в придонном горизонте было зафиксировано минимальное значение за последние пять лет (0.3 мг/дм^3).

Содержание хлорофилла *a* изменялось в исследованных озерах в широком диапазоне. Максимальные значения в поверхностном горизонте наблюдались в оз. Черное. По среднемноголетним значениям концентрации хлорофилла *a* исследованные озера можно отнести к мезотрофным водоемам с чертами эвтрофии.

Описанные свойства озер Игуменское и Черное определяются в первую очередь морфометрией котловины, а также соотношением глубины и площади зеркала, что способствует формированию в водоемах двух водных масс, которые фактически не перемешиваются, что позволяет говорить об этих озерах как меромиктических. Все эти свойства определяют нетипичность двух водоемов, слагающих систему Коневских озер, как по сравнению с другими озерами Валаамского архипелага, так и материковыми озерами Карелии.

ЛИТЕРАТУРА

Гагарин А.П. Природные условия Валаамского архипелага / А.П. Гагарин, М.А. Маринич, А.С. Карпов // Комплексные природоведческие исследования на северо-западе России: Валаамская и Кургальская экспедиции СПбОЕ: Сб. науч. тр. – СПб., 1998. – Т. 92. – Вып. 1. – С. 9–16.

Котова А.К., Воякина Е.Ю. Оценка состояния Коневских озер Валаамского архипелага по ряду лимнологических параметров // Труды III Все-

российской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: Химиздат, 2019. – С. 489–492.

Лозовик П.А. Гидрохимическая характеристика малых озер Карелии / П.А. Лозовик, А.В. Сабылина, В.Н. Коваленко [и др.] // Матер. Всесоюзного совещания «Антропогенные изменения экосистем малых озер». – Л., 1991.

Степанова А.Б. Гидрохимические особенности малых озер острова Валаам / А.Б. Степанова, Г.Ф. Шарафутдинова, Е.Ю. Воякина // Ученые записки РГГМУ. – 2009. – № 12. – С. 143–155.

СОСТАВ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТВОРОВ С ВЫСОКОЙ ИОННОЙ СИЛОЙ

О.С. Кубик

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kubik-olesia@yandex.ru

Российская Федерация имеет самую длинную в мире береговую линию. Здесь в условиях систематического затопления солеными водами морских приливов и штормов формируются особые маршевые, а на наиболее высоких позициях, выше литоральной зоны – зональные (незасоленные) почвы (Орешникова и др., 2012; Цейц, Добрынин, 1997; Черноусенко и др., 2001). Повышение уровня Мирового океана и активизация штормовых явлений вследствие современных климатических изменений приводят к перемещению береговой линии и продвижению морских вод вглубь материка (Rios et al., 2018). Образование почв прибрежных территорий отражает изменение миграционной способности органических соединений, так как степень их экстракции зависит от концентрации электролита. Для установления состава и роли разных групп растворимых органических соединений в современных биогеохимических и миграционных процессах были выбраны прибрежные почвы разного генезиса, которые в отношении водорастворимых низкомолекулярных органических соединений (ВНОС) ранее не исследовались. В качестве непосредственных объектов исследования были выбраны две группы тундровых почв прибрежной зоны Баренцева моря: маршевые, сформированные под непосредственным воздействием соленых морских вод, и зональные, располагающиеся выше литоральной зоны и подвергающиеся воздействию моря лишь посредством импัลверизации. Физико-химический анализ проб проводили в лаборатории «Экоаналит» и отделе Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Водные и КСl-вытяжки ($c = 1$ моль/дм³) органогенных горизонтов почв готовили в соотношении 1:25. Методом высоко-

температурного каталитического окисления определяли массовую концентрацию общего углерода органических соединений водных и солевых вытяжек на анализаторе общего углерода ТОС V_{СРН}. Методами ГЖХ и ГХ/МС провели качественный и количественный анализы низкомолекулярных органических соединений в вытяжках из почв (относительная погрешность измерения составляет $\pm \delta \leq 10$).

Маршевые почвы. Абсолютное содержание ВНОС (спирты, углеводы, кислоты) в почвах, испытывающих влияние морских вод, не превышает 20 мг/кг. В маршевых почвах доля кислот в общей массе идентифицированных соединений составляет 10–50% (к доминирующим относятся молочная, гликолевая и валерьяновая кислоты), вклад спиртов незначителен (менее 3%). Последовательное снижение количества новообразованных соединений, также как и содержание органического углерода в водорастворимой фракции, отмечено в профиле почвы, менее других испытывающей влияние моря. Для маршей, затапливаемых в каждый прилив во время массовых разливов, характерно регулярное перемешивание, вымывание органических остатков и погребение материала, приносимого морем. Погребенные подповерхностные горизонты имеют максимум содержания низкомолекулярных соединений, что аналогично распределению общего углерода в почвах, но не соответствует распределению общего содержания элемента в водорастворимой фракции. Вероятно, идентифицированные соединения (C₂–C₁₂), как наиболее мобильные, в первую очередь выносятся водой из поверхностных горизонтов.

Зональные почвы. В зональных почвах содержание ВНОС различных классов колеблется от 200 до 300 мг/кг. Доля углерода идентифицированных соединений в основном не превышает 3% от углерода водных вытяжек. В зональных почвах отмечено накопление индивидуальных органических соединений как и общего углерода растворимых органических соединений в поверхностных горизонтах. В частности, около 80% от общей массы соединений в подстильно-торфяном горизонте О обеих почв приходится на углеводы, 0–9% – спирты, 10–20% – кислоты (с преобладанием яблочной и триоксимасляной кислоты, суммарный вклад которых достигает 90%). Вглубь профиля доля кислот и спиртов снижается в пользу углеводов.

Для установления влияния морской воды на мобильность ВНОС почв был проведен анализ КСl-вытяжек ($c(\text{KCl}) = 1$ моль/дм³) органогенных горизонтов прибрежных торфяных почв. Выбор концентрации модельного раствора $c(\text{KCl}) = 1$ моль/дм³ обусловлен необходимостью создать ионную силу, близкую к таковой в морской воде. В органогенных горизонтах почв прибрежной территории общее содержание углерода органических соединений для КСl-вытяжек изу-

чаемых объектов составляет 0.11–0.40 г/дм³, которое уменьшается с глубиной. Массовые доли ВНОС в водных и солевых вытяжках объектов тесно коррелируют: $(\omega_{\text{ВНОС}})_{\text{H}_2\text{O}} = 2.2 (\omega_{\text{ВНОС}})_{\text{KCl}} + 5.9$, $r = 0.97$. Перечень ВНОС в солевых вытяжках из почв меньше, чем в водной, причем в солевые растворы переходят только мажорные водорастворимые представители своих классов. Экстрагируемые солевые раствором соединения составляют 40–90% от их содержания в водных вытяжках из почв. Таким образом, увеличение ионной силы раствора вызывает снижение степени экстракции низкомолекулярных компонентов гумуса – этот процесс известен как «эффект высаливания».

Автор признателен д.б.н., доценту Е.В. Шамриковой за научные консультации, к.х.н. В.В. Пунегову, вед. инж. О.М. Зуевой за помощь в проведении химических анализов.

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

ЛИТЕРАТУРА

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

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

Черноусенко Г.И. Засоление почв побережья северных и восточных морей / Г.И. Черноусенко, Н.В. Орешникова, Н.Г. Украинцева // Почвоведение. – 2001. – № 10. – С. 1192–1206.

Rios I. Soil-geomorphology relationships and landscape evolution in a southwestern Atlantic tidal salt marsh in Patagonia, Argentina / I. Rios, P.J. Bouza, A. Bortolus, M. del P. Alvarez // J. South American Earth Sciences. – 2018. – Vol. 84. – P. 385–398. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.04.015>.

СЕВЕРОТАЕЖНЫЕ СОСНОВЫЕ ДРЕВОСТОИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ: СТРОЕНИЕ И ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА

И.Н. Кутявин, А.Ф. Осипов

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru

Непрерывные наблюдения за строением и структурой древостоев на постоянных пробных площадях (ППП) позволяют оценить их развитие, жизненное состояние, продуктивность (del Rio et al.,

2016; Демаков, 2018). Несмотря на большое количество работ, посвященных строению сосняков на европейском Севере (Зябченко, 1984; Семенов, 1998; Кутявин, 2018 и др.), данный вопрос остается актуальным в связи с глобальным изменением климата и ростом антропогенной нагрузки на лесные ландшафты (Швиденко и др., 2017).

Цель работы заключается в оценке современного состояния строения и возрастной структуры древостоев сосняков северной тайги, развитых после рубок и гарей.

В данных материалах приводятся повторные результаты исследований сосняков на Зеленоборском лесном стационаре, расположенном в подзоне северной тайги (Республика Коми). Биогеоэкологические исследования в древостоях на стационаре ведутся с 1966 г. По общепринятым лесоводственно-таксационным нормативам на восьми ППП зеленомошной и сфагновой групп типов леса проведены сплошные перечеты. Из них шесть сосняков развиваются на вырубках 30–40-х гг. прошедшего столетия и два древостоя развиваются на месте пожаров, прошедших более 150 лет назад. Для оценки возрастной структуры использовались керны, отбренные при помощи возрастного бурава у 30–60 деревьев сосны из разных ступеней толщины и у 15–30 деревьев сопутствующих пород. Возраст деревьев подсчитывался при помощи изображений, полученных со сканера высокого разрешения и программ CDendro 9.0.1 и CooRecorder 9.0.1, а также установки LINTAB и программы TsapWin.

Обследование сосняков показало, что при господстве в древесном ярусе сосны в составе присутствуют ель, береза, лиственница, редко осина. Древостои III–Va классов бонитета, с относительной полнотой 0.3–1.5. Общий запас стволовой древесины изменяется от 93 до 303 м³/га. Сухие деревья представлены преимущественно сосной и накапливают от 1 до 36 м³ га⁻¹ стволовой древесины. Возраст хвойных деревьев в древостоях составляет 60–224 года, лиственных – 70–150 лет. Плотность древесного яруса по мере увеличения среднего возраста древостоя изменяется от 3620 до 790 шт.га⁻¹.

Древостои сосняков формируют до трех типов возрастной структуры: условно-однообразные, условно-разновозрастные, представленные одним поколением, и ступенчато-разновозрастные, состоящие из двух-трех поколений сосны. Оставленные при рубке деревья и уборка порубочных остатков на лесосеке паловым методом способствуют формированию древостоев ступенчато-разновозрастного типа возрастной структуры. Коэффициенты вариации возраста деревьев в сосняках с одним поколением составляют 5.8–10.8, с двумя-тремя поколениями – 39.7–45.6%. Количество поколений и

тип возрастной структуры не оказывало влияния на вариацию диаметров и высот деревьев в древостоях, которые изменялись в пределах 25.2–49.5 и 15.7–27.8% соответственно. В сосняках, развивающихся после пожаров, пик заселения сосной приходится на второе-третье десятилетие, а на вырубках максимум возобновления отмечен в первом-втором десятилетии после рубки. Амплитуда колебания возраста деревьев в условно-одновозрастных и условно-разновозрастных сосняках, сформированных на вырубках, изменяется от 16 до 33, в послепожарных древостоях этот показатель составляет от 30 до 45 лет. В ступенчато-разновозрастных древостоях колебания возраста деревьев изменяется от 120 до 167, в пределах поколений – от 22 до 66 лет. Распределение деревьев по диаметру в древостоях сосняков показало левостороннее смещение кривых, асимметрия представлена положительными значениями, изменяясь от 0.05 до 1.03. Статистический анализ показал, что при схожем возрасте с сосной деревья сопутствующих в составе пород уступают в развитии как по диаметру, так и по высоте сосновому элементу. Лиственница в древостоях представлена условно-разновозрастным или ступенчато-разновозрастным типом возрастной структуры и формирует до трех обособленных поколений деревьев. Однако, колебания возраста лиственницы в поколениях представлены довольно короткими возрастными циклами, в отличие от сосны. Ель и береза формируют преимущественно одно разновозрастное, редко два поколения.

Выявлена тесная корреляционная связь между диаметром и высотой деревьев в древостоях. Взаимосвязь возраста с диаметром и высотой деревьев почти во всех древостоях изменяется от слабой до значительной. Тесное соотношение между возрастом и диаметром древостоев выявлено в ступенчато-разновозрастных сосняках ($R = 0.79–0.96$). Отмечено, что с увеличением амплитуды колебания возраста деревьев усиливается корреляционная связь между их диаметром и возрастом.

Таким образом, несмотря на относительно интенсивные темпы развития древостоев сосны, выявлены достаточно высокие статистические различия в их строении. Полученные результаты говорят о необходимости проведения лесохозяйственных мероприятий (некоммерческих рубок (прореживания) в древостоях условно-одновозрастных, условно-разновозрастных типов возрастной структуры и ступенчато-разновозрастных типов с преобладанием молодого поколения с целью повышения их продуктивности. Полученные данные строения и возрастной структуры древостоев на ППП послужат основой для мониторинга динамики развития северотаежных сосновых экосистем в условиях изменяющегося климата и в местах освоения недропользования.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, АААА-А17-117122090014-8.

ЛИТЕРАТУРА

Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Поволжский ГТУ, 2018. – 432 с.

Зябченко С.С. Сосновые леса европейского Севера / С.С. Зябченко – Л.: Наука, 1984. – 244 с.

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

Семенов Б.А. Притундровые леса европейской части России (природа и ведение хозяйства) / Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков, Г.А. Чибисов, Ф.П. Елизаров. – Архангельск: ООО «Пресс А», 1998. – 334 с.

Швиденко А.З. Переход к устойчивому управлению лесами России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, Ф. Краснер, А.А. Онучин // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 6. – С. 3–25.

del Rio M. Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: review and perspectives / M. del Rio, H. Pretzsch, I. Alberdi, B. Bielak [et al.] // European Journal Res. – 2016. – Vol. 135. – P. 23–49.

ПУЛЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В ПОСТПИРОГЕННОМ СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ НА АВТОМОРФНОЙ ПОЧВЕ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

А.Ф. Осипов

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

Происходящее в настоящее время изменение климата, обусловленное повышением концентрации парниковых газов в атмосфере, вызвало повышенный интерес к оценкам потенциала лесов по связыванию и хранению диоксида углерода с целью смягчения последствий этого процесса и адаптации к нему (Shaedel et al., 2017). Несмотря на значительные площади, леса бореального пояса ранее часто игнорировались в контексте международных усилий по смягчению последствий изменения климата (Moen et al., 2014), несмотря на то, что они могут служить значительным стоком углерода (Bradshaw, Warkentin, 2015). Европейский северо-восток России является крупным массивом ненарушенных лесов, площадь сосняков здесь составляет 7 млн. га и, следовательно, они выполняют важные средообразующие функции. Однако, работы, характеризующие бюд-

жет углерода, выполнены преимущественно в сосняках на переувлажненных почвах (Бобкова, Осипов, 2012; Осипов, 2017).

Цель настоящей работы – дать оценку пулам и потокам углерода в среднетаежном постпирогенном сосняке бруснично-лишайниковом.

Работа выполнена на Чернамском лесном стационаре Института биологии Коми НЦ УрО РАН в приспевающем сосняке, формирующемся на иллювиально-железистом подзоле. Пулы и потоки углерода в фитоценозе определяли по биологической продуктивности отдельных ярусов: древостой – методом модельных деревьев, напочвенный покров – методом укусов. Запасы углерода в почве оценивали по данным концентрации углерода, объемного веса и мощности отдельных горизонтов. Углерод крупных древесных остатков рассчитывали по объему мертвой древесины и данным ее базисной плотности. Массу опада оценивали при помощи 20 опадоуловителей с 2014 по 2019 г. Разложение растительных остатков рассчитывали по потере массы образцов опада, заложенных в лесную подстилку на период 1 год; лесной подстилки – через скорость оборота органического вещества. Дыхание почвы измеряли газоанализатором LI COR 8100 в течение вегетационных периодов 2014–2017 гг.

Насаждение сосняка бруснично-лишайникового находится на стадии приспевания, когда в достаточно густом древостое сконцентрирован значительный объем древесины, а количество крупных древесных остатков незначительно. Верхний метровый профиль песчаного подзола иллювиально-железистого характеризуется небольшими запасами органического углерода. В результате основным пулом углерода является фитомасса древесного яруса. Исследованный сосняк характеризуется слабыми темпами надземной нетто-продукции, которая преимущественно приходится на хвою и ветви, что, видимо, необходимо для освоения окружающего пространства в условиях загущенного древостоя. Вклад растений напочвенного покрова составляет менее 20% от общего поглощения углерода. Масса углерода, ежегодно поступающая на поверхность почвы с растительным опадом, в 1.14–1.21 раза меньше, чем связывается в процессе фотосинтеза. Скорость разложения отдельных компонентов опада изменяется от 1 до 23%, лесной подстилки – 15–16% в год. Рассчитано, что потери углерода в результате деструкции составляют 1.3–1.4 тС/га в год. Вынос углерода с дыханием почвы в течение вегетации изменялся от 2.5 до 3.9 т/га со средним значением 3.0 т/га. Таким образом, сопоставив потоки в результате продукции/деструкции органического вещества и выноса с эмиссией CO₂, можно предположить, что на долю дыхания корней приходится 48–

67%, а насаждение среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового является слабым стоком углерода.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском северо-востоке России» (номер государственного учета НИОКТР АААА-А17-117122090014-8) и при поддержке комплексной программы УрО РАН № 18-4-4-29.

ЛИТЕРАТУРА

Бобкова К.С. Круговорот углерода в системе «фитоценоз–почва» в чернично-сфагновых сосняках Республики Коми / К.С. Бобкова, А.Ф. Осипов // Лесоведение. – 2012. – № 2. – С. 11–18.

Осипов А.Ф. Запасы и потоки органического углерода в экосистеме спелого сосняка черничного средней тайги / А.Ф. Осипов // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 2. – С. 70–80.

Bradshaw C.J.A. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux / C.J.A. Bradshaw, I.G. Warkentin // Global and Planetary Change. – 2015. – Vol. 128. – P. 24–30.

Moen J. Eye on the taiga: removing global policy impediments to safeguard the boreal forest / J. Moen, L. Rist, K. Bishop [et al.] // Conservation Letters. – 2014. – Vol. 7. – Is. 4. – P. 408–418.

Schaedel M.S. Early forest thinning changes aboveground carbon distribution among pools, but not total amount / M.S. Schaedel, A.J. Larson, D.L.R. Affleck [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2017. – Vol. 389. – P. 187–198.

ВЛИЯНИЕ МОНАСТЫРСКОЙ ФЕРМЫ НА ДИНАМИКУ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЕРА СИСЬЯРВИ (ВАЛААМСКИЙ АРХИПЕЛАГ, ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО)

Н.В. Панова, Е.Ю. Воякина

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: panova93@gmail.com

На сегодняшний день одна из наиболее актуальных проблем экологии – загрязнение водных объектов биогенными элементами. Эвтрофирование – это естественный процесс развития водоема, который может в несколько раз ускоряться в результате хозяйственной деятельности человека (Хрисанов, 1993). Один из основных антропогенных источников поступления биогенных веществ в водоемы – сельское хозяйство, в частности, животноводство. При стойловом содержании скота на фермах накапливается большой объем навоза, который при неправильной системе утилизации может поступать в водные системы. Такая смесь содержит грубодисперсные ча-

стицы малоразложившейся органики и биогенных веществ. Вынос биогенных веществ происходит также при выпасе скота на пастбищах, которые расположены вблизи водных объектов, или при водопое животных (Науменко, 2007).

Исследование проводили на Валаамском архипелаге, который включает 11 малых лесных разнотипных озер, самое крупное из которых – оз. Сисъярви. Водоем расположен в северо-западной части острова и имеет площадь 80.5 га. Максимальная глубина – 19.0 м, средняя – 7.0 м (Гагарин и др., 1998).

В работе использованы данные лимнологических параметров, полученные для двух гидрологических станций, расположенных в заливах оз. Сисъярви. Станция, расположенная в проливе Сисясалми, находится в близости от источника поступления биогенных веществ – монастырской животноводческой фермы. Станция в Московском заливе удалена от фермы и, таким образом, влияние комплекса на нее минимально.

Цель данной работы: анализ влияния монастырской фермы на динамику лимнологических параметров оз. Сисъярви.

В работе проанализированы данные по лимнологическим параметрам, особое внимание было уделено содержанию биогенных элементов. Отбор проб осуществлялся раз в месяц с июня по сентябрь в 2013–2019 гг.

В летний период на этих станциях формируется температурная стратификация. Разница между температурой поверхности и придонным горизонтом в разные годы превышала 10.0 °С. Колебания температуры на поверхности Московского залива находились в диапазоне от 5.2 до 25.5 °С, на дне – от 4.5 до 6.2 °С. В проливе Сисясалми максимальное значение за период наблюдения на поверхности составило 26.3 °С, минимальное – 6.2 °С. На дне максимальное значение было 6.9 °С, минимальное – 4.5 °С. Разброс значений связан с различной глубиной точек наблюдения и различными погодными условиями в период наблюдений. По значениям pH озеро относится к нейтрально-олигоценным (Воякина, 2007).

Кислородный режим в поверхностных горизонтах достаточно благоприятный, содержание растворенного кислорода в Московском заливе и проливе Сисясалми фактически не отличалось и варьировало в диапазоне от 57 до 127%. В то же время на дне часто наблюдались дефицит кислорода и заморные явления, содержание кислорода изменялось от 0 до 96% насыщения.

Среднесезонные значения прозрачности на станциях варьировали незначительно (от 1.4 до 2.1 м). В 2016 г. наблюдали минимальные значения прозрачности на обеих станциях. Основной причи-

ной снижения прозрачности могло быть жаркое лето, штилевые условия, что в свою очередь привело к увеличению уровня вегетации фитопланктона.

Минимальные среднесезонные значения мутности на поверхности станций были равны и составляли по 2.6 мг/дм^3 , в отличие от максимальных. Так, в проливе Сисясалми максимальное значение (10.7 мг/дм^3) было несколько выше, чем в Московском заливе (8.7 мг/дм^3).

Среднесезонные значения содержания аммонийного азота в поверхностных горизонтах на станциях отличались между собой незначительно: в проливе Сисясалми – $0.49\text{--}0.61 \text{ мг/дм}^3$, в Московском заливе – $0.42\text{--}0.69 \text{ мг/дм}^3$. В придонных горизонтах содержание аммонийного азота в проливе Сисясалми ($0.8\text{--}1.4 \text{ мг/дм}^3$) было выше по сравнению со второй станцией, где значения менялись в более узком диапазоне ($0.5\text{--}0.7 \text{ мг/дм}^3$).

За время исследования концентрация фосфатов в оз. Сисяярви на поверхности изменялась в диапазоне $0.001\text{--}0.017 \text{ мг/дм}^3$. Зафиксированные значения в поверхностном слое Московского залива и пролива Сисясалми отличаются незначительно (Сисясалми – от 0.006 до 0.013 мг/дм^3 , Московский залив – от 0.007 до 0.017 мг/дм^3).

В придонном слое наблюдали резкое увеличение максимальных значений на станции Сисясалми ($0.126\text{--}0.746 \text{ мг/дм}^3$) по сравнению с Московским заливом ($0.008\text{--}0.075 \text{ мг/дм}^3$). Активному накоплению фосфатов способствуют такие факторы, как низкая температура, неблагоприятный кислородный режим и слабая вегетация фитопланктона.

Особенности рельефа и местоположение пролива Сисясалми в центре озера по линии преобладающих ветров создают условия для активного перемешивания водных масс. Это должно было бы способствовать формированию более благоприятного гидрохимического режима и не приводить к накоплению биогенных элементов в придонных горизонтах, а значения содержания аммонийного азота и фосфатов должны быть сопоставимы с данными для Московского залива (на дне). В то же время по полученным данным содержание биогенных элементов в придонном слое на станции Сисясалми намного превышает показания Московского залива, что, скорее всего, связано с влиянием расположенной поблизости Монастырской фермы.

ЛИТЕРАТУРА

Воякина Е.Ю. Фитопланктон Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: Дис. ... канд. биол. наук. – СПб., 2007. – 245 с.

Гагарин А.П. Природные условия Валаамского архипелага. Комплексные природоведческие исследования на северо-западе России: Валаамская и Кургальская экспедиции СПбОЕ / А.П. Гагарин, М.А. Маринич, А.С. Карпов. – СПб., 1998. – Т. 92. – Вып. 1. – С. 9–16.

Науменко М.А. Эвтрофирование озер и водохранилищ: учебное пособие / М.А. Науменко; ред.: А.М. Догановский. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 99 с.

Хрисанов Н.И. Управление эвтрофированием водоемов / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 280 с.

ПОЧВЕННЫЙ МИКРОБИОМ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ СУБАРКТИКИ

**Е.Е. Расова, Е.Н. Мелехина, М.Ю. Маркарова, Т.Н. Щемелинина,
И.О. Велегжанинов**

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

Представления о разнообразии интактной почвенной микробиоты и её реакциях в ответ на различные факторы кардинально изменились в течение последнего 10-летия в связи с появлением методов метагеномного анализа, предложенного в конце прошлого века (Handelsman et al., 1998). Как известно, многие виды микроорганизмов не поддаются культивированию в стандартных лабораторных условиях. С появлением технологий секвенирования нового поколения (next generation sequencing – NGS) стало возможно изучать микробное разнообразие, используя маркерные участки генома, такие как ген 16S рибосомальной РНК. Открывшиеся возможности позволили лучше охарактеризовать и сравнить микробиомы самых разных типов почв (Fierer et al., 2012, Kumar et al., 2018).

Чрезвычайно актуальными являются исследования микробиомов почв, загрязнённых нефтью или нефтепродуктами. Во-первых, они позволяют оценить последствия загрязнения для микроорганизмов и их функциональных взаимосвязей, формирующих почвенную экосистему (Jung et al., 2016). Во-вторых, на основе полученных данных можно определить эффективность различных способов ремедиации для разных типов почв и климатических условий (Kotoku et al., 2018; Koshlaf et al., 2016). В-третьих, такие исследования являются одним из лучших способов поиска микроорганизмов и их сообществ, способных к деструкции углеводородов, что может иметь высокое прикладное значение (Bao et al., 2017).

В опубликованных на сегодняшний день источниках, посвященных метагеномному анализу почвенной микробиоты на загрязнённых нефтью территориях, есть результаты исследований из Ки-

тая и стран Персидского залива (Kumar et al., 2018, Koshlaf et al., 2016, Peng et al., 2015; Bao et al., 2017). Однако в Субарктике, где также интенсивно ведутся работы по добыче нефти, последствия загрязнения почв углеводородами для микробиоты остаются не изученными. В связи с этим мы поставили перед собой цель исследовать метагеномы почв, загрязнённых в результате разлива нефти в 1994 г. на Усинском нефтяном месторождении (Республика Коми).

Исследование проводилось на субарктической территории европейской части России (район г. Усинска) в подзоне крайнесеверной тайги. Большая часть исследуемой территории принадлежит Печора-Усинскому округу болотно-подзолистых, глееподзолистых, болотных торфяных и тундрово-болотных почв (Атлас почв..., 2010).

Почвенные пробы были отобраны в районе старого нефтяного загрязнения (участок ДНС 2А, скважина 13). Для исследования было выбрано три участка: фоновый (без нефтяного загрязнения), загрязнённый без ремедиации (самовосстановление) и рекультивированный. На момент отбора проб после проведения рекультивации прошло пять лет. Рекультивация была проведена с помощью распылки и внесения удобрений.

С каждого участка было отобрано по 15–16 проб, представляющих собой смесь, полученную из столбика почвы глубиной 20 см. Пробы фиксировали в 92%-ном спирте, содержащем 5 ммоль/л Na_4EDTA .

Тотальную ДНК из образцов почв выделяли с помощью набора реагентов QIAamp DNA Stool Mini Kit (Qiagen, США) по протоколу производителя. Амплификацию и секвенирование маркерных фрагментов ДНК, кодирующих 16S рРНК и ITS, осуществляли усилиями Центра коллективного пользования «Геномика» СО РАН с помощью секвенатора MiSeq (Illumina, США).

Выполнен метагеномный анализ 46 образцов почв трёх участков: фонового, «самовосстановление» и «ремедиация». В результате анализа в совокупности со всех образцов было аннотировано 730 469 прочтений фрагмента гена 16S рибосомальной РНК и 1 315 679 прочтений фрагмента гена ITS.

Анализ результатов свидетельствует о том, что по количеству обнаруженных таксонов (operational taxonomic unit – OTU) участок без рекультивации статистически достоверно уступает фоновому участку. Эта закономерность наблюдается как в отношении прокариот (16S, рис. 1А), так и в отношении грибов (ITS, рис. 1В). При этом на участке, где проводилась рекультивация, уровень видового разнообразия бактерий снижен в меньшей степени, а разнообразие грибов не отличается от такового на фоновом участке. Сравнение по индексу Шеннона (рис. 1С, D) отражает лишь достоверное снижение

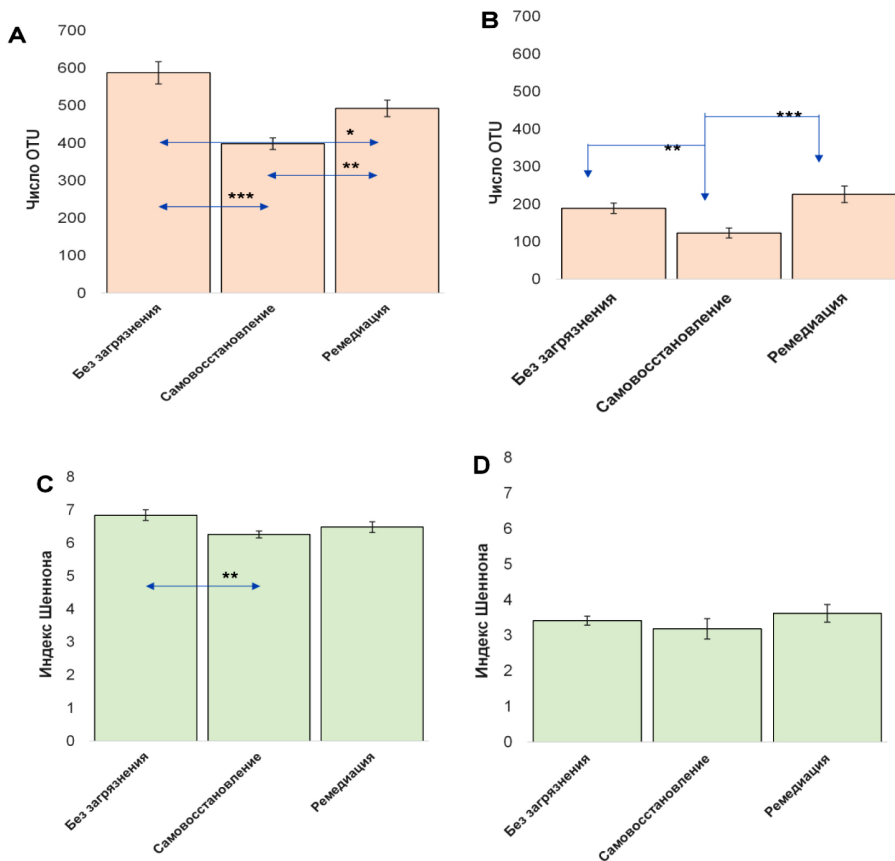


Рис. 1. Таксономическое разнообразие почвенной микробиоты в окрестности Усинского нефтяного месторождения. А и С – разнообразие прокариот, В и D – разнообразие грибов. *, ** и *** – различия достоверны при $p < 0.05$, 0.01 и 0.001 соответственно (t-тест Стьюдента).

разнообразия прокариот на участке без рекультивации относительно фонового участка (рис. 1С).

Анализ результатов с помощью метода главных компонент (рис. 2) на основе представленности в пробах прочтений, аннотированных к различным филумам (типам), свидетельствует о более выраженном отличии фонового участка от обоих участков, претерпевших загрязнение. На территории, не подверженной нефтяному загрязнению, *Acidobacteria* являются доминантной группой микроорганизмов. На загрязненных нефтью участках без ремедиации наи-

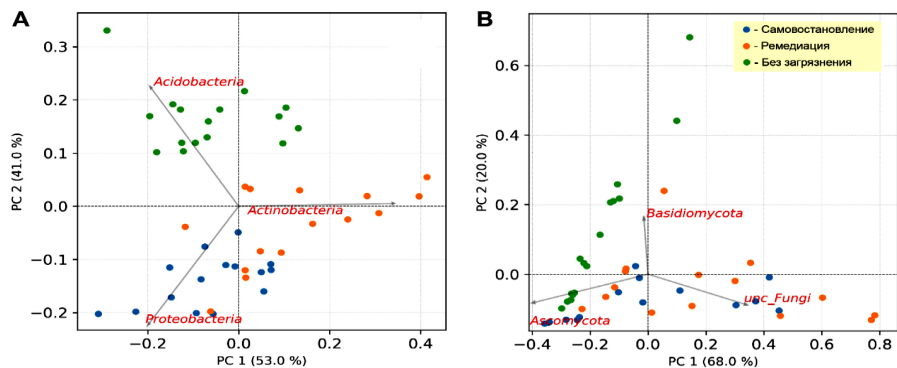


Рис. 2. Анализ секвенирования метагеномов почвы с помощью метода главных компонент на основе представленности в пробах прочтений, аннотированных к различным филумам (типам). А – 16S-ампликоны (прокариоты), В – ITS-ампликоны (грибы).

более представленными в сообществе оказались *Proteobacteria*. В результате ремедиации баланс доминирования в микробиоме сместился в сторону группы *Actinobacteria*. Известно, что представители филумов *Proteobacteria* и *Actinobacteria* являются активными нефтедеструкторами и их присутствие часто отмечалось в различных нефтезагрязненных почвах (Bao et al., 2018; Koshlaf et al., 2016; An et al., 2013).

Отмечены различия в структуре грибных сообществ интактных и загрязненных территорий. Результаты секвенирования показали, что в большинстве образцов фонового участка присутствуют представители отделов *Ascomycota* и *Basidiomycota*. В случае нефтяного загрязнения независимо от того, проводилась ли ремедиация почвы, вектор таксонов смещается в сторону группы неклассифицированных грибов (*unc_Fungi*).

Нефтяное загрязнение почвы приводит к изменению состава почвенной микробиоты, снижая её разнообразие и изменяя доминирующие группы. Ремедиация вспашкой и внесением удобрений приводит к снижению последствий нефтяного загрязнения на показатели разнообразия, но не приводит к восстановлению исходного таксономического состава.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-29-05028.

ЛИТЕРАТУРА

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

An D. Microbial community and potential functional gene diversity involved in anaerobic hydrocarbon degradation and methanogenesis in an oil sands tailings pond / D. An, D. Brown, I. Chatterjee [et al.] // *Genome*. – 2013. – Vol. 56. – P. 612–618.

Bao Y.J. High-throughput metagenomic analysis of petroleum-contaminated soil microbiome reveals the versatility in xenobiotic aromatics metabolism / Y.J. Bao, Z. Xu, Y. Li [et al.] // *J Environ Sci (China)*. – 2017. – Vol. 56. – P. 25–35.

Fierer N. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes / N. Fierer, J.W. Leff, B.J. Adams [et al.] // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2012. – Vol. 109(52). – P. 21390–21395.

Handelsman J. Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: a new frontier for natural products / J. Handelsman, M.R. Rondon, S.F. Brady [et al.] // *Chem Biol*. – 1998. – Vol. 5(10). – P. 245–249.

Jung J. Metagenomic and functional analyses of the consequences of reduction of bacterial diversity on soil functions and bioremediation in diesel-contaminated microcosms / J. Jung, L. Philippot, W. Park // *Sci Rep*. – 2016. – Vol. 6. – P. 23012.

Kotoky R. The rhizosphere microbiome: Significance in rhizoremediation of polyaromatic hydrocarbon contaminated soil / R. Kotoky, J. Rajkumari, P. Pandey // *J Environ Manage*. – 2018. – Vol. 217. – P. 858–870.

Koshlaf E. Bioremediation potential of diesel-contaminated Libyan soil / E. Koshlaf, E. Shahsavari, A. Aburto-Medina [et al.] // *Ecotoxicol Environ Saf*. – 2016. – Vol. 133. – P. 297–305.

Kumar V. Metagenomic analysis of rhizosphere microflora of oil-contaminated soil planted with barley and alfalfa / V. Kumar, S. Al-Momin, H. Al-Aqeel // *PLoS ONE*. – 2018. – Vol. 13(8). – P. e0202127.

Peng M. Bacterial Community Diversity of Oil-Contaminated Soils Assessed by High Throughput Sequencing of 16S rRNA Genes / M. Peng, X. Zi, Q. Wang // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2015. – № 12. – P. 12002–12015.

СОДЕРЖАНИЕ СВОБОДНОГО И ОККЛЮДИРОВАННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОДЗОЛАХ ПОСТПИРОГЕННЫХ СОСНЯКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Д.А. Севергина¹, В.В. Старцев², А.А. Дымов²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: sdunkaa@gmail.com

Современный интерес к лесным почвам бореальной зоны определяется значительными запасами углерода и азота, накапливаемыми ими при неблагоприятном гидротермическом режиме. Пожары – один из основных факторов, изменяющий лесные экосистемы (До-

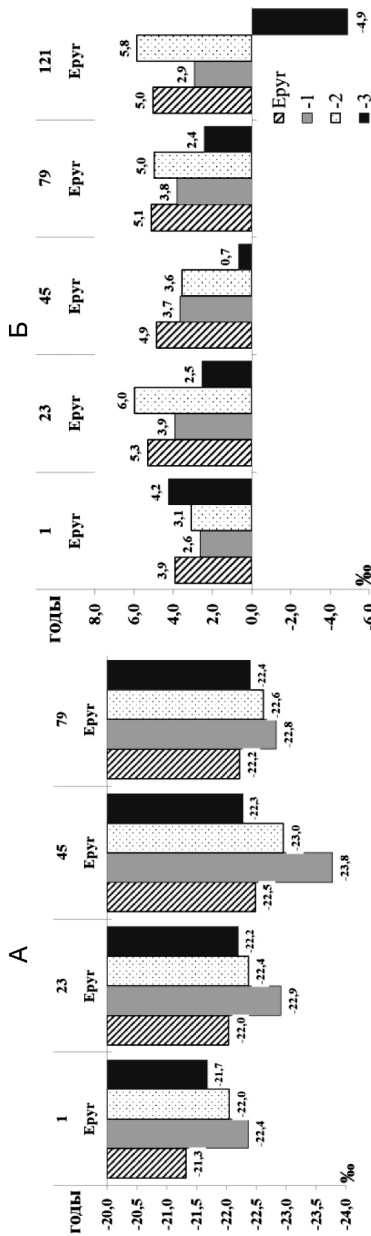
err, Santin, 2016). При прохождении древостоев пожарами в результате как пламенного, так и беспламенного горения выгорают подстилка, крупные древесные остатки, корневой детрит, а при высокоинтенсивных и устойчивых пожарах – верхние гумусовые горизонты (Ведрова и др., 2012). Как следствие, изменяются запасы органического вещества (ОВ), увеличивается вклад компонентов с высокой степенью разложения (Прокушкин и др., 2011) и пирогенно-модифицированного органического вещества в почвах (Дымов и др., 2014).

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

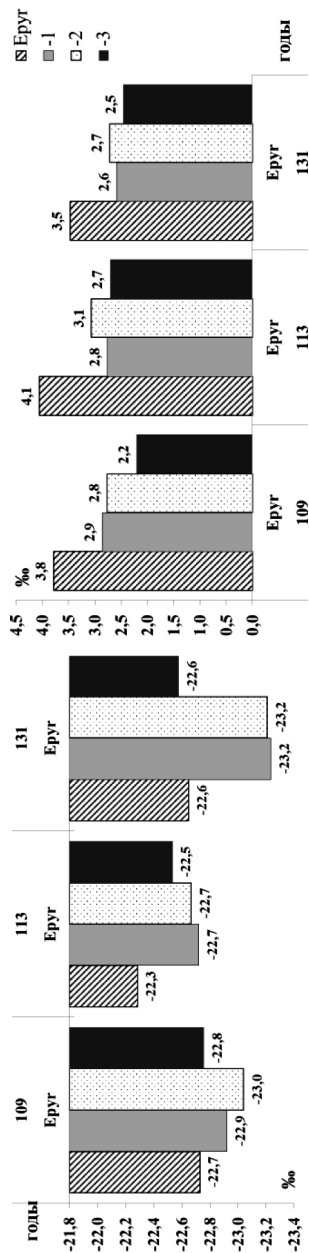
Было исследовано восемь разрезов подзолов иллювиально-железистых, формирующихся в постпирогенных сосняках лишайниковых Республики Коми (территория Печоро-Ильчского заповедника) и Красноярского края (на базе международной обсерватории ЗОТТО, пос. Зотино), пройденных пожарами в разные годы: 1, 23, 45, 79, 109, 113, 121 и 131 год назад. Исследованы были верхние пирогенные минеральные горизонты Еруг. Для выделения пулов ОВ применяли денсиметрическое фракционирование согласно методическим разработкам (Grunewald et al., 2006; Cerli et al., 2012). В ходе анализа были получены три денсиметрические фракции: свободное ОВ ($COB_{<1.6}$ с плотностью $<1.6 \text{ г см}^{-3}$), окклюдированное внутриагрегатное ОВ ($OOB_{<1.6}$) и тяжелая фракция ОВ ($TF_{>1.6}$), связанная с минеральной матрицей. Общее содержание углерода и азота, содержание изотопов ^{15}N и ^{13}C в образцах почв определяли в Институте почвоведения Ганноверского университета им. Лейбница (Ганновер, Германия) на Elementar Iso Prime 100 IRMS (IsoPrime Ltd., Cheadle Hulme, Великобритания) в сочетании с анализатором Elementar Vario MICRO cube EA C/N (Elementar Analyse systeme GmbH, Германия).

В результате проведенных исследований было выявлено, что для всех исследованных почв характерно преобладание тяжелой фракции $TF_{>1.6}$ в верхних пирогенных горизонтах. Ее доля изменяется от 77.8 до 95.5% масс., доля легких денсиметрических фракций значительно ниже. Для почв Красноярского края содержание первой легкой фракции $COB_{<1.6}$ в пирогенных горизонтах составляло 2.3–10.5% масс., доля фракции окклюдированного ОВ – 0.7–4.1% масс. В подзолах Республики Коми выявлены более высокие показатели доли легких фракций. Содержание фракции $COB_{<1.6}$ составляет 6.0–30.1% масс., фракции $OOB_{<1.6}$ – 1.0–1.8% масс. Однако показано, что денсиметрические фракции существенно отлича-

Почвы Красноярского края



Почвы Республики Коми



Содержание изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$ (А) и азота $\delta^{15}\text{N}$ (Б) в денсиметрических фракциях пирогенных горизонтов исследованных подзолов иллювиально-железистых. Еруг – содержание в самом горизонте, 1 – фракция $\text{OoV}_{<1,6}^1$, 2 – фракция $\text{OoV}_{<1,6}^2$, 3 – фракция $\text{OoV}_{>1,6}^3$.

ются по содержанию общего органического углерода. Максимальные концентрации характерны для легких фракций свободного и окклюдированного ОВ, минимальные – для тяжелой фракции (от 0.02 до 0.1%). Содержание углерода во фракции $COB_{<1.6}$ варьировало от 0.02 до 21.5%, во фракции $OOB_{<1.6}$ – от 0.002 до 21.9%.

Анализ стабильных изотопов (см. рисунок) позволил выявить уменьшение содержания углерода ^{13}C в первый год после пожара и его постепенное возрастание с восстановлением растений напочвенного покрова после прохождения пожара, что характерно для всех выделенных денсиметрических фракций ОВ.

Также показаны различия по содержанию изотопов ^{13}C и ^{15}N в разных денсиметрических фракциях. Наиболее низкие концентрации выявлены для легких фракций $COB_{<1.6}$ (–23.2...–22.4‰) и $OOB_{<1.6}$ (–23.2...22.0‰), несколько более высокие значения ^{13}C характерны для тяжелой фракции $TF_{>1.6}$ (–22.8 до 21.7‰). По содержанию изотопа ^{15}N выявлены обратные закономерности. Максимальное содержание выявлено во фракциях свободного и окклюдированного ОВ, минимальные – в тяжелой органоминеральной фракции.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк и DAAD 91760908.

ЛИТЕРАТУРА

Ведрова Э.Ф. Запасы углерода в органическом веществе послепожарных сосняков юго-западного Прибайкалья / Э.Ф. Ведрова, М.Д. Евдокименко, И.Н. Безкоровайная [и др.] // Лесоведение. – 2012. – № 1. – С. 3–13.

Дымов А.А. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) / А.А. Дымов, Ю.А. Дубровский, Д.Н. Габов // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 144–154. doi 10.7868/S0032180X14020051.

Прокушкин С.Г. Послепожарное восстановление органического вещества в напочвенном покрове листовничников криолитозоны Центральной Эвенкии / С.Г. Прокушкин, В.В. Богданов, А.С. Прокушкин, И.В. Токарева // Известия РАН. Сер. биол. – 2011. – № 2. – С. 227–234.

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

Doerr S.H. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world / S.H. Doerr, C. Santin // Phil. Trans. R. Soc. B. – 2016. – V. 371. – P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>.

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

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ СУБАРКТИКИ

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

Структурные компоненты являются важнейшими индикаторами почвенных и криогенных процессов и служат диагностическими признаками как генезиса почв, так и условий, воздействующих на их дальнейшее развитие. Изучение этих компонентов на разных уровнях их структурной организации и физико-химических свойств является одним из ключевых моментов в решении вопросов генетического почвоведения, что и предопределило цель данного исследования. В работе использован комплексный подход, включающий сочетание классических методов почвоведения и изучения почв на мезо- и микроуровне с выделением и изучением свойств структурных компонентов (скелетан (СК), глинистых кутан, Fe-Mn конкреций и внутрипедной массы (ВПМ)). Химический анализ выполнен общепринятыми в почвоведении методами (Теория и практика..., 2006).

Исследования проводили на юго-востоке Большеземельской тундры в окрестностях г. Воркута. Территория относится к подзоне южной тундры с массивно-островным распространением многолетней мерзлоты ниже 2 м. Объектами исследования послужили глеезем криометаморфический (Гкрм) под ерниково-кустарничковой мхово-лишайниковой растительностью и агроглеезем криометаморфический (АГкрм), формирующийся в 130 м от Гкрм на многолетнем сеяном мятликово-лисохвостном лугу, находящемся на стадии постагрогенной сукцессии. Объекты развиваются в автоморфных позициях ландшафта на покровных пылеватых суглинках. Названия почв даны согласно (Классификация..., 2004).

Специфической особенностью Гкрм является сочетание органогенного, оглеенного и криометаморфических горизонтов: O-G-CRM-C. Анализ структурных компонентов этой почвы сделан ранее (Слобода, 1980). Обилие скелетан характерно для криометаморфических оструктуренных горизонтов с угловато-овальными агрегатами. Данные гранулометрического анализа диагностируют вынос илстых частиц, охватывающий в основном верхнюю полуметровую толщу почвы. Анализ мезо- и микростроения обнаружил следы современного криогенеза в верхней части профиля и палеокриогенеза в средней и нижней части (Русанова, Шахтарова, 2012). Валовой состав структурных компонентов свидетельствует о дифференциации профиля под влиянием элювиально-глеевого процесса (Слобода, 1980).

Анализ структурных компонентов (*СК* и *ВПМ*) констатирует, что на фоне элювиального процесса происходит внутригоризонтное перераспределение органо-минеральных соединений; сегрегация железа, марганца, алюминия с образованием конкреций; накопление ила, R_2O_3 . Вынос продуктов почвообразования и внутригоризонтные процессы наиболее ярко выражены в верхней полуметровой толще формы. Выявлено преобладание конкреций неправильной овальной формы. В верхнем горизонте в небольшом количестве встречаются трубчатые буровато-коричневые и ржаво-бурые конкреции. В средних и нижележащих горизонтах (*CRM*) – редкие рыхлые конкреции, темно-бурые, с неровными краями. В Гкрм конкреции аккумулируются в горизонте **Vg(G) на глубине 14-46 см, что связано с сезонной динамикой окислительно-восстановительного процесса на фоне сильно выраженных тиксотропных свойств в нижележащем горизонте, ограничивающих вертикальное перемещение влаги. Преобладают мелкие фракции (<2 мм). Максимальное количество конкреций величиной >2 мм отмечено в криометаморфическом горизонте.**

Профиль АГкрм (**АУ-Vg-CRM-C**) близок по строению к профилю Гкрм. Агрогенная трансформация за многолетний период обусловила формирование в верхней части профиля АГкрм слаборазвитого дернового горизонта, под которым оглеение минеральной толщи выражено слабее по сравнению с горизонтом G целинной почвы, что обусловило формирование здесь горизонта **Vg. В криометаморфических горизонтах (CRM) с угловато-крупитчатыми (на глубине 38–60 см), остроугольно-округлыми (на глубине 60–100 см) агрегатами выражена обильная белесая присыпка (СК), которая заполняет межпедные промежутки (до 1 мм с средней части профиля) и поры. Анализ мезоморфологии позволяет судить о схожих криогенных процессах, что и в глееземе криометаморфическом. Результаты валового анализа *ВПМ* отражают элювиально-иллювиальную дифференциацию профиля, сохранившуюся от среднеголоценового почвообразования. Анализы *СК*, находящихся на путях миграции подвижных компонентов, отражают процесс Al-Fe-гумусового иллювиирования, который наряду с оглеением может быть отнесен к тундровому этапу и является современным процессом. В дерновом горизонте обнаружены отличные от верхнего горизонта целинной почвы плотные, черные в изломе конкреции и их ростки с ростом в основном на два-три центра, реже четыре-шесть центров, а в горизонте Vg(G) – менее плотные, охристо-бурые. Максимальное количество плотных, сросшихся и трубчатых конкреций наблюдается в криометаморфическом горизонте на глубине 38–60 см, где,**

по-видимому, в данной почве происходит смена окислительно-восстановительных условий. Преобладающими, как и в целинной почве, являются новообразования величиной менее 2 мм. Вниз по профилю количество конкреций заметно уменьшается. По валовому составу конкреций в исследованных почвах наблюдается более низкое содержание SiO_2 и накопление **Fe** и **Mn по сравнению с общей массой**. В конкрециях дернового горизонта освоенной почвы содержание Ca, Mg, K выше по сравнению с верхним слоем тундровой почвы. В освоенных почвах дополнительное поступление макро- и микроэлементов благодаря внесению удобрений приводит к увеличению аккумуляции валовых форм макроэлементов и накоплению их в конкрециях.

Таким образом, верхняя часть глеезема криометаморфического является результатом тундрового этапа почвообразования, характеризующегося процессами оглеения, Al-Fe-гумусового иллювиирования, а агроглеезема – его постагрогенной трансформации в биоклиматических условиях зоны тундры. Элювиально-иллювиальная дифференциация профиля обеих рассмотренных почв (Гкрм, АГкрм) унаследована от таежного этапа почвообразования. Конкреции являются также индикаторами формирования и развития почв на протяжении длительного периода, меняя фракционный состав и содержание в зависимости от смены окислительно-восстановительных условий.

Грант РФФИ № 20-04-00445 А «Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)».

ЛИТЕРАТУРА

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

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

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

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ БОЛОТ НА ПРИМЕРЕ КАДЖЕРОМСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

С.В. Якубенко¹, М.Н. Мигловец²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: staslp750@gmail.com

Естественные водно-болотные угодья являются природным источником эмиссии метана и обеспечивают 20–40% глобальных выбросов метана в атмосферу (Parker et al., 2018). В Республике Коми болота занимают около 8% площади (Леса..., 2000).

Данные дистанционного зондирования нашли широкое применение в исследованиях земной поверхности. Благодаря высокому пространственному разрешению космических снимков и применению съемки в разных диапазонах цветового спектра есть возможность получить большой объем информации о характере ландшафта, разнообразии растительного покрова, а также оценить степень нарушенности исследуемой территории.

Целью данной работы является создание карты распространения болот на территории Каджеромского участкового лесничества как основы для оценки эмиссии парниковых газов болотными экосистемами. Исследования эмиссии парниковых газов в этом районе проводятся сотрудниками отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Каджеромское участковое лесничество находится на востоке Республики Коми на территории МО ГО «Печора» в 80 км на юго-запад от г. Печора. Согласно лесохозяйственному регламенту, площадь участкового лесничества составляет 244 тыс. га, из них 204 тыс. га занято лесами (<http://minprom.rkomi.ru/page/16845/>). Болота лесничества входят в Среднепечорскую провинцию северной тайги и аапа-болот (Кац, 1948).

Лесоустроительные материалы для территории Каджеромского лесничества были получены с геопортала Республики Коми (<http://gis.rkomi.ru/GisViewer/RKomiMap>). Для дешифрирования использовали снимки спутника Sentinel-2 в мультиспектральном диапазоне (съемка 24 июля 2018 г.), публикуемые на сайте Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Были использованы спутниковые снимки нумерации t40wds, t40wdt и t39wxn. При наложении снимки охватывают всю территорию лесничества. Пространственное разрешение снимков сопоставимо с крупномасштабными растровыми топокартами (М 1:40 000).

Для выполнения дешифрирования использовано программное обеспечение Esri ArcMap версии 10.4 (лицензия СГУ им. Питирима Сорокина). Построение карт выполнено в программе QGIS 3.0. Полученные снимки были добавлены в программу как растровые слои. Так как в файле слоя заложены его координаты, привязка слоя не требуется. Для корректного отображения слоя выбрана система координат WGS 84 (зона 40). При дальнейшей работе по дешифрированию использована комбинация каналов 8–11–4 (RGB), при которой увеличивается контраст между водой и землёй, а также лучше детектируются водные объекты на суше. Разрешение ближнего инфракрасного и видимого красного каналов (band 8 и band 4) составляет 10 м на пиксель, инфракрасного (band 11) – 20 м на пиксель.

Процесс оцифровки был разделен на три этапа:

1) определение дешифровочных признаков модельных болот. Признаки определяли в соответствии с рекомендациями (Усова, 2009), находили общие черты модельных болот и болот на космоснимке;

2) обрисовка контуров болот площадью более 9000 м². Процесс обрисовки контуров проводили путем создания полигонов в векторном shape-файле. Обрисовка проводилась по четко выделенной границе болот с другими ландшафтами. При пересечении болота границей участкового лесничества его площадь отсекали по этой границе. Вычисление площадей объектов произведено путем вычисления геометрии отдельных полигонов каждого болота;

3) применение дешифровочных признаков для идентификации болот. Идентификацию оцифрованных объектов проводили по выявленным особенностям фоторисунка (текстура, цвет). Деление осуществлялось по пяти категориям: аапа-болота (фиолетовый, темно-розовый цвет, чередующиеся темные полосы и точки), верховые болота (белый фон с розово-фиолетовыми вкраплениями, полосами и без них) и низинные болота (оранжевый, красно-розовый, коричневый), переходные болота (бледно-фиолетовый, бледно-синий), неопределенные болота (белый, зеленоватый). Контраст был обеспечен растяжением гистограммы цветовой палитры RGB снимков.

В результате оцифровано и идентифицировано 557 болот, площадь которых варьирует от 9.2 тыс. м² (0.92 га) до 14 млн м² (1402 га). Суммарная площадь болот на территории Каджеромского участкового лесничества составила 300.8 млн м² (30 800 га) (см. таблицу), что согласуется с данными Лесохозяйственного регламента. Исходя из проведенных измерений, болота занимают 12.5% площади исследуемого участкового лесничества. Аапа-болота составляют более 38% идентифицированных болот. Низинные и верховые боло-

Определение площади оцифрованных болот

Тип	Площадь, млн м ²	Относительная доля, %
Аапа-болота	115.7	38.4
Верховые болота	58.6	19.5
Низинные болота	63.3	21.0
Переходные болота	34.5	11.5
Неопределенные болота	28.8	9.6
Всего	300.8	100

та занимают примерно одинаковые доли площади (21 и 19.5% соответственно). На долю переходных и неопределенных болот приходится 11.5 и 9.6% соответственно (см. таблицу). На точность измерений могли повлиять пространственная неоднородность больших болотных систем и неучтенные болота площадью меньше 9000 м², однако при такой площади на изображении они занимают менее 25 пикселей, что сильно искажает их реальные границы и, следовательно, реальную их площадь. Полученные результаты в дальнейшем будут интегрированы с данными измерений эмиссии парниковых газов с отдельных болот на территории исследуемого лесничества. Также возможно их применение для оцифровки болотных массивов в масштабах лесничества, района, республики.

ЛИТЕРАТУРА

Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение / Н.Я. Кац. – М.: ОГИЗ, 1948. – 331 с.

Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. – М.: Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информация. Картография», 2000. – 512 с.

Усова Л.И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири / Л.И. Усова. – СПб.: Нестор-История, 2009. – 80 с.

Parker R.J. Evaluating year-to-year anomalies in tropical wetland methane emissions using satellite CH₄ observations / R.J. Parker, H. Boesch, J. McNorton [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 211. – P. 261–275.

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

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ЖИМОЛОСТИ ПАЛЛАСА (*LONICERA PALLASII*)
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER***

Д.А. Голубев, А.А. Москалев
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: denismeatboy@gmail.com

Продукты и добавки с высоким содержанием полифенолов являются обоснованным способом снижения риска развития множества различных заболеваний, а также могут обладать потенциальными геропротекторными свойствами (Ivey et al., 2017). Полифенолы делятся на танины, фенилпропаноиды, флаваноиды и конденсированные танины. Среди флавоноидов одним из перспективных классов геропротекторных соединений являются антоцианы. Существует более 500 различных антоцианов. Наиболее распространённые – это пеларгонидин, цианидин, дельфинидин, пеонидин, петунидин и мальвидин (Wu et al., 2006). Многие из них обладают широким спектром биологических активностей. Например, исследования показывают, что употребление антоцианов помогает организму уменьшить риск различных заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, диабет II типа, рак и ожирение (Alvarez-Suarez et al., 2014; Pojer et al., 2013). Так как данные заболевания имеют общие механизмы со старением, от антоцианов можно ожидать геропротекторного действия.

Антоцианы находятся в большем количестве в растениях, особенно в ягодах. Ягоды жимолости Палласа (*Lonicera pallasii*) являются отличным источником данных соединений. Основными компонентами фенольных соединений ягод жимолости являются антоцианы, флаванолы и флавоны. Это растение широко распространено по всей территории России (Растительные ресурсы..., 2008).

Цель работы – изучение влияния экстракта жимолости Палласа на продолжительность жизни модельного животного *Drosophila melanogaster*.

Для эксперимента использовали особей линии дикого типа *Canton-S*. Отбирали по 120–150 особей на вариант эксперимента (по 30 мух в пробирке). Самцов и самок анализировали отдельно. Мух содержали при 25 °С, 60%-ной относительной влажности воздуха, 12-часовом режиме освещения на кукурузной питательной среде (Xia et al., 2016). На питательную среду экспериментальных особей наносили раствор экстракта жимолости в концентрациях 1, 10, 100 мкмоль/л и 1 ммоль/л.

В результате проведенного эксперимента был показан разнонаправленный эффект экстракта жимолости на самцов и самок (см. таблицу). Экстракт жимолости в концентрации 100 мкмоль/л увеличивал среднюю и максимальную продолжительность жизни самцов на 3.6 и 7.8% соответственно ($p < 0.05$ по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона). У самок концентрации 10 мкмоль/л, 100 мкмоль/л, 1 ммоль/л понижали медианную и показатель максимальной продолжительности жизни (возраст 90%-ной смертности) на 2-8%. Различия в эффекте на продолжительность жизни может зависеть от физиологических особенностей особей разного пола. Самцы нуждаются в меньшем количестве питательных веществ, чем самки, а в некоторых питательных веществах, необходимых для развития, взрослые самцы и вовсе не нуждаются (Wu et al., 2020). Поэтому следует подобрать более подходящий тип питания и уровень концентрации антоцианов, учитывая половые различия.

Влияние экстракта жимолости Палласа на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster*

Доза	Пол	M	dM	M-K	Г-В	90%	d90%	В-А	N
Контроль	Самцы	55				64			141
1 ммоль/л	Самцы	50	-9.1	p>0.05	p>0.05	63	-1.6	p>0.05	115
100 мкмоль/л	Самцы	57	3.6	p<0.05	p<0.05	69	7.8	p<0.05	150
10 мкмоль/л	Самцы	55	0	p>0.05	p>0.05	66	3.1	p>0.05	143
1 мкмоль/л	Самцы	53.5	-2.7	p>0.05	p>0.05	63	-1.6	p>0.05	150
Контроль	Самки	69				76			142
1 ммоль/л	Самки	63	-8.7	p<0.01	p<0.01	71	-6.6	p<0.05	109
100 мкмоль/л	Самки	66	-4.3	p<0.05	p>0.05	74	-2.6	p<0.05	133
10 мкмоль/л	Самки	64	-7.2	p<0.01	p<0.05	73	-3.9	p<0.05	148
1 мкмоль/л	Самки	69	0	p>0.05	p>0.05	76	0	p>0.05	144

Примечание: M – медианная ПЖ (сут.); dM – различия по медианной ПЖ (%); M-K – критерий Мантеля-Кокса; Г-В – критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона; 90% – возраст 90%-ной смертности (сут.); d90% – различия по возрасту 90%-ной смертности (%); В-А – критерий Ванг-Аллисона; N – количество особей в выборке.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов», № АААА-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, 2008. Т. 1. – 421 с.

Alvarez-Suarez J.M. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans / J.M. Alvarez-Suarez, F. Giampieri, S. Tulipani [et al.] // *The Journal of Nutritional Biochemistry*. – 2014. – Vol. 25. – P. 289–294.

Ivey K.L. Association of flavonoid-rich foods and flavonoids with risk of all-cause mortality / K.L. Ivey, M.K. Jensen, J.M. Hodgson [et al.] // *British Journal of Nutrition*. – 2017. – Vol. 10. – P. 1470–1477.

Pojer E. The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review / E. Pojer, F. Mattivi, D. Johnson, C.S. Stockley // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2013. – Vol. 5. – P. 483–508.

Xia B. Transgenerational programming of longevity through E(z)-mediated histone H3K27 trimethylation in *Drosophila* / B. Xia, E. Gerstin, D.E. Schones [et al.] // *Aging (Albany NY)*. – 2016. – Vol. 8. – № 11. – P. 2988–3008.

Wu Q. Sexual dimorphism in the nutritional requirement for adult lifespan in *Drosophila melanogaster* / Q. Wu, G. Yu, X. Cheng [et al.] // *Aging Cell*. – 2020. – Vol. 3.

Wu X. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption / X. Wu, G.R. Beecher, J.M. Holden [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2006. – Vol. 11. – P. 4069–4075.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОЛИФЕРАТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ФИБРОБЛАСТОВ ЧЕЛОВЕКА *IN VITRO* ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

А.В. Ермакова, И.О. Вележанинов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: ermakova_a.v@ib.komisc.ru

Хорошо известно, что ионизирующее излучение в больших дозах вызывает повреждение макромолекул, нарушает их функции и приводит к преждевременному клеточному старению, а также подавляет пролиферацию клеток. Однако одной из проблем современной радиобиологии является то, что эффекты ионизирующего излучения в малых и высоких дозах качественно отличаются друг от друга

и эффекты высоких доз нельзя просто экстраполировать на эффекты низких доз радиации. Это доказано зарубежными учеными на уровне радиационно-индуцированного изменения профиля экспрессии генов (Ding et al., 2004; Nosel et al., 2011). Также Luckey (1980) продемонстрировал стимуляцию синтеза ДНК и белка в ответ на облучение в малых дозах и предложил термин «радиационный гормезис». В то же время остается почти не исследованным влияние ионизирующих излучений в малых дозах на скорость клеточного старения нормальных нетрансформированных клеток. В связи с этим мы поставили перед собой цель проанализировать – не приводит ли радиационно-индуцированная стимуляция пролиферации к ускорению истощения пролиферативного потенциала и раннему наступлению клеточного старения?

В работе Croute (1986), напрямую показавшей радиационно-индуцированное ускорение пролиферации клеток в культуре, есть данные, косвенно свидетельствующие о том, что ускорение пролиферации не приводит к ускорению клеточного старения. Мы же решили проанализировать динамику старения культуры напрямую с помощью классического метода – окрашивание хромогенным субстратом β -галактозидазы. Мы облучили клетки на 22–24 пассажах, взяв широкий диапазон доз, и проанализировали скорость накопления в них клеток, позитивно окрашиваемых по X-Gal. Мы получили ряд кривых, которые сложно визуально проанализировать, поэтому их разложили в виде диаграмм, описывающих доли стареющих клеток в различные промежутки времени после облучения (рис. 1). Как и ожидалось, облучение в высоких дозах приводило к выраженному увеличению доли стареющих клеток в ранний период после облучения. К 23 сут. после облучения доля X-Gal позитивных клеток во всех культурах была примерно одинаковой. Феномен радиационно-индуцированного замедления клеточного старения начал проявляться к 30 сут. после облучения. При этом максимальная задержка в накоплении стареющих клеток наблюдалась после облучения в дозе 3 сГр. Эффект наблюдался вплоть до 51 сут. после облучения. Чрезвычайно интересным оказалось то, что в дозе 2 Гр феномен радиационно-индуцированного замедления клеточного старения также проявился на 30 сут. после облучения наравне с малыми дозами. Вероятно, в начале облучения большой дозой произошла индукция преждевременной остановки клеточного цикла. Однако, клетки, сохранившие способность делиться, в дальнейшем пролиферировали быстрее необлучённых, и к четвёртой и пятой неделе мы наблюдали сниженное количество стареющих клеток в культуре, облучённой в дозе 2 Гр. Далее потомки клеток, облучённых в дозе 2 Гр, вновь ста-

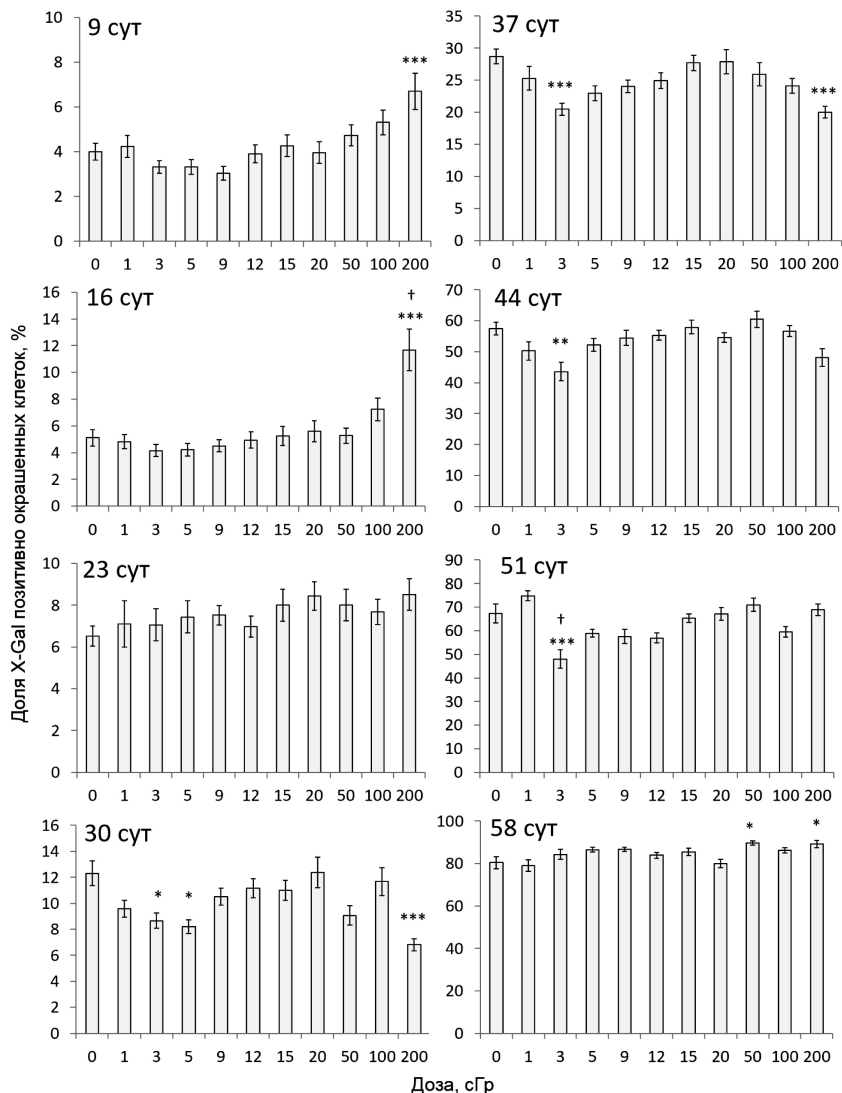


Рис. 1. Динамика накопления стареющих (позитивно окрашенных по X-Gal) фибробластов в культурах, подверженных однократному воздействию γ -излучения на ранних пассажах. *, ** и *** – различия в сравнении с контролем достоверны при $p < 0.05$, 0.01 и 0.001 соответственно. † – различия со всеми другими вариантами облучения достоверны при $p < 0.05$ (однофакторный дисперсионный анализ с тестом Ньюмана-Кеулса).

рели быстрее контрольных, и полная остановка роста культуры наблюдалась раньше. Культуры, облучённые в дозах 1, 9, 12, 15, 20, 50 и 100 сГр, практически не отличались по динамике накопления стареющих клеток от необлучённых.

Возникает вопрос – стимулируется ли пролиферация клеток при тех же условиях и в нашей модели? Мы облучили клетки в дозах, которые вызывали в наших экспериментах замедление клеточного старения (3, 5 сГр и 2 Гр), и проследили динамику роста культуры до самого истощения способности пролиферировать. Мы делали это с помощью простого визуального подсчёта числа клеток в поле зрения светового микроскопа дважды – через день после пересадки и в день перед последующей пересадкой. Как и ожидалось, облучение в дозе 2 Гр приводило к замедлению пролиферации в ранний срок после облучения. Интересно, что облучение в дозах 3 и 5 сГр также вызывало тенденцию к снижению скорости пролиферации относительно необлучённого контроля, несмотря на то, что для многих аналогичных экспериментальных моделей известен обратный эффект. Мы обнаружили, что эффект стимуляции пролиферации при облучении в дозах 3 и 5 сГр, а также в дозе 2 Гр в нашей модели присутствует, однако проявляется он не сразу после облучения, а спустя несколько недель (рис. 2). Примечательно, что ускорение пролиферации клеток происходило в тот же период времени после облучения, что и замедление клеточного старения. В совокупности результаты свидетельствуют о том, что облучение фибробластов в дозе 3 сГр приводит к увеличению их пролиферативного потенциала. Если искусственно посчитать кумулятивный рост культуры, умножая каждое число удвоений в один расчётный период на число удвоений в следующий расчётный период, то мы получаем,

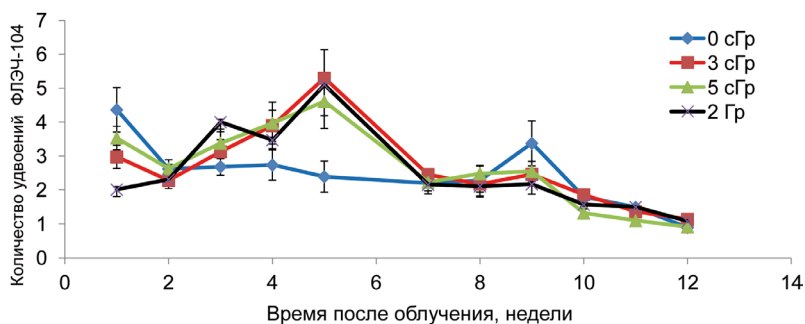


Рис. 2. Динамика пролиферации ФЛЭЧ-104 после облучения в дозах, вызывающих замедление клеточного старения.

что после облучения в дозе 3 сГр клеток ФЛЭЧ-104 выросло в два раза больше, чем без облучения. При этом обладающее в определённый период времени стимулирующим эффектом облучение в высокой дозе 2 Гр в сумме не приводит к увеличению пролиферативного потенциала культуры, однако, что очень немаловажно, и не снижает его. В совокупности мы можем говорить о том, что облучение в дозах 3–5 сГр значительно увеличивает пролиферативный потенциал клеток, т.е. клетки делятся быстрее и дольше сохраняют способность быстро делиться.

Мы также решили проверить, отменит ли ингибирование MAPK/ERK и PI3K/AKT/mTOR сигнальных каскадов радиационно-индуцированное замедление клеточного старения в нашей модели исследования. Для этого мы заингибировали два сигнальных каскада соответствующими ингибиторами, измерили долю X-Gal позитивных клеток и получили, что ингибирование сигнальных каскадов по отдельности и одновременно сразу двух без воздействия облучения приводит к замедлению клеточного старения (как и было показано другими учеными). Что для нас было парадоксальным – облучение отменяет этот эффект (рис. 3), возможно, за счет того, что облучение вновь активировало данные сигнальные каскады. Соответствен-

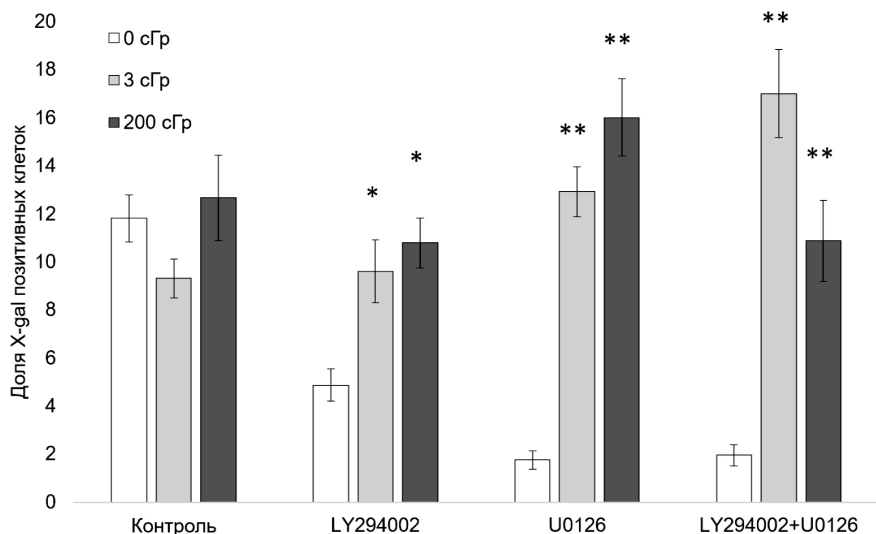


Рис. 3. Доля X-Gal позитивных клеток на 30 сут. после облучения с предварительной (за 1 ч до облучения) обработкой ингибиторами MEK1/2 (U0126) и PI3K (LY294002). * – различия с соответствующим вариантом без облучения достоверны при $p < 0.05$; ** – при $p < 0.001$.

но, теперь мы склоняемся к тому, что феномен замедления клеточного старения и стимуляция пролиферации имеют разные механизмы. Возможно, это и адаптивный ответ, но стало точно ясно, что механизм у них не единый.

ЛИТЕРАТУРА

Croute F. Effects of a very low dose rate of chronic ionizing radiation on the division potential of human embryonic lung fibroblasts in vitro / F. Croute, S. Vidal, J.P. Soleilhavoup [et al.] // Exp Gerontol. – 1986. – Vol. 21. – № 1. – P. 1–11.

Ding L.H. Gene expression profiles of normal human fibroblasts after exposure to ionizing radiation: a comparative study of low and high doses / L.H. Ding, M. Shingyoji, F. Chen [et al.] // Radiat Res. – 2005. – Vol. 164. – № 1. – P. 17–26.

Luckey T.D. Physiological benefits from low levels of ionizing radiation // Health Phys. – 1982. – Vol. 43. – № 6. – P. 771–789.

Nosel I. Characterization of gene expression profiles at low and very low doses of ionizing radiation / I. Nosel, A. Vaurijoux, J.F. Barquinero, G. Gruel // DNA Repair (Amst). – 2013. – Vol. 12. – № 7. – P. 508–517.

ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАБОЛИТОВ ЦИКЛА КРЕБСА НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Л.А. Коваль, Д.В. Яковлева, Д.А. Голубев, А.А. Москалев
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: lyubov.schilova@yandex.ru

Цикл Кребса (ЦК) играет центральную роль в метаболизме любого организма. Основные этапы биохимии данного процесса универсальны от бактерий и дрозофилы до человека. Кроме значительной энергетической роли циклу отводится также и существенная пластическая функция. Он является важным источником молекул-предшественников, из которых в ходе последующих биохимических превращений синтезируются аминокислоты, углеводы, жирные кислоты и др. Универсальность данного биохимического процесса и низкая токсичность его компонентов позволяет рассматривать метаболиты ЦК в качестве мишеней для поиска лекарственных препаратов, способствующих снижению скорости старения. Мы предположили, что метаболиты, вовлеченные в данный процесс, обладают геропротекторными свойствами. Для этого изучили влияние α -кетоглутаровой, янтарной, фумаровой, яблочной, лимонной кислот на продолжительность жизни и возрастную динамику стрессоустойчивости у особей *Drosophila melanogaster*.

Для проведения экспериментов использовали линию дикого типа *Canton-S* (Блумингтон, США). Особей каждого варианта эксперимента содержали в климатических камерах (Binder, Германия) при 25 °C и 12-часовом режиме освещения в пробирках (Genesee Scientific, США) объемом 40 мл с 5 мл питательной среды (Xia et al., 2016). Поверх питательной среды, на которой жили мухи, раскатывали 30 мкл водного раствора, содержащего исследуемые кислоты в концентрациях 1 мМ, 100 мкМ, 10 мкМ, 1 мкМ, 100 нМ, 10 нМ. В качестве контроля использовали особей, содержащихся на среде с добавлением 30 мкл воды. Самцы и самки жили раздельно. Для анализа продолжительности жизни фиксировали число умерших особей. По полученным данным строили кривые смертности и рассчитывали перцентили: 25, 50, 75, 90. Возрастную динамику устойчивости к стрессу эндоплазматической сети (12 мкМ туникамицина), 35-градусной гипертермии и окислительному стрессу (20 мМ параквата) оценивали у дрозофил в возрасте четырех и восьми недель с помощью мониторов активности DAM *Drosophila* Locomotor Activity Monitor (Trikinetics Inc., США). В условиях стресса мух держали до полной гибели выборки. По полученным данным строили кривые выживаемости и рассчитывали перцентили: 25, 50, 75, 90. Для сравнения распределения смертности в выборках применяли критерий Колмогорова-Смирнова, для сравнения различий по перцентилем использовали метод Ванг-Аллисона. Для демографического анализа использовали онлайн-приложение OASIS 2 (<https://sbi.postech.ac.kr/oasis2/surv/#>).

Получили, что метаболиты ЦК оказывают разнонаправленный эффект на параметры продолжительности жизни и стрессоустойчивости самцов и самок *Drosophila melanogaster*. Данный эффект не зависел от концентрации исследуемых кислот.

Наибольший положительный эффект на продолжительность жизни обнаружили у самцов, получавших янтарную кислоту в концентрации 10 мкМ. Наблюдала увеличение максимальной продолжительности жизни на 12% относительно контроля ($p < 0.05$). Наибольший положительный эффект у самок получили у варианта с лимонной кислотой в концентрации 1 мМ. Здесь наблюдали увеличение 25 перцентилем на 6.5% относительно контроля ($p < 0.05$). Наибольший отрицательный эффект получили при приеме яблочной кислоты в концентрации 1 мкМ. Наблюдала снижение 25 перцентилем на 18–27% у самцов и самок соответственно ($p < 0.05$) (табл. 1).

Наибольший положительный эффект на стрессоустойчивость показан у самцов в возрасте четырех недель в условиях гипертермии. Наблюдала увеличение всех исследуемых перцентилем на 27.3–100% относительно контроля ($p < 0.05$) (табл. 2).

Таблица 1

**Влияние α -кетоглутаровой, янтарной, фумаровой, яблочной
и лимонной кислот на параметры продолжительность жизни
самцов и самок *Drosophila melanogaster***

Вариант эксперимента		Самцы					Самки				
		N	Перцентили (сут.)				N	Перцентили (сут.)			
			25	50	75	90		25	50	75	90
Контроль		719	55	58	63	66	701	62	69	77	80
Альфа-кетоглутаровая кислота	1 мМ	151	52*	59	65*	71	131	62*	71	74	78*
	100 мкМ	301	53	58	64*	65	140	57	67	75	78*
	10 мкМ	144	52	59*	61*	65	142	61	68	72	78
	1 мкМ	144	53	58	64	66	150	57*	64*	71*	75*
	100 нМ	142	52	57*	63*	64	147	52*	64*	71*	74*
Янтарная кислота	10 нМ	133	52	58	63	66	134	58	66*	73*	77*
	1 мМ	142	56	58*	63	70*	141	59	67	72*	77*
	100 мкМ	155	53	57*	63	65	151	58	70	73*	77*
	10 мкМ	149	57*	63*	70*	74*	140	65*	73*	77	81
	1 мкМ	155	52	57*	63	67	148	56*	67	74	80
Фумаровая кислота	100 нМ	145	51*	57*	60*	65*	148	57*	66*	73*	77
	10 нМ	149	52*	58	63	66	155	57*	65*	73*	77
	1 мМ	149	50	56*	62*	69	149	62*	66*	71*	76*
	100 мкМ	141	50*	56	62	65	140	62	69*	72*	76
	10 мкМ	145	56	56*	62*	64	146	58*	66*	71*	76
Лимонная кислота	1 мкМ	141	50*	56*	59*	64	148	62	69	72*	76*
	100 нМ	145	51	57*	63	65	144	60	70	73*	77*
	10 нМ	149	56	59	65*	66	156	52*	66*	74*	79
	1 мМ	152	52*	58	64	64	144	66*	70	77	80
	100 мкМ	150	55	62	64*	69	145	62	71	76	80
Яблочная кислота	10 мкМ	150	51*	58	64*	65	145	63*	69	75*	77
	1 мкМ	141	49*	56	64	69	121	54*	68	72*	75*
	100 нМ	150	55*	62	64	69	142	65*	71	76	79
	10 нМ	150	55*	57	62	66	150	63	70	76*	78*
	1 мМ	146	56	59	65*	70*	149	63	71*	77*	78*
Яблочная кислота	100 мкМ	160	53	59	65*	67	142	60	71*	72*	77*
	10 мкМ	142	48*	55*	63	69	144	59	70	72*	77*
	1 мкМ	148	45*	51*	58	66	141	45*	66*	71*	72*
	100 нМ	141	50	55	62*	65*	135	55	69	73*	76*
	10 нМ	129	54	57	62*	63*	146	61*	68*	70*	71*

Примечание. N – объем выборки; * – $p < 0.05$ по методу Ванг-Аллисона.

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

ЛИТЕРАТУРА

Xia B. Transgenerational programming of longevity through E(z)-mediated histone H3K27 trimethylation in *Drosophila* / B. Xia, E. Gerstin, D.E. Schones [et al.] // Aging (Albany NY). – 2016. – Vol. 8. – № 11. – P. 2988–3008.

Таблица 2

Влияние α-кетоглутаровой, янтарной, фумаровой, яблочной и лимонной кислот на стрессоустойчивость самцов и самок *Drosophila melanogaster*

Вид стресса	Вариант эксперимента (1-5 кислоты)	Самцы					Самки					
		N	Перцентили (ч)				N	Перцентили (ч)				
			25	50	75	90		25	50	75	90	
Стресс ЭПС (12 мкМ туникамидин)	4 недели	Контроль	95	65	69	75	78	95	85	94	108	118
		1 1 мМ	32	65	70	73	79	32	75	92	99	107
		10 мкМ	32	61	66*	68*	73	32	77	91	100	105
	100 нМ	32	60*	63*	69*	72	32	80	93	97*	103	
		2 1 мМ	32	61*	66	71*	73	32	86	95	107	117
		10 мкМ	32	60*	66	70*	74	32	89	99	107	118
	100 нМ	31	68	71	76	79	32	77	97	107	116	
		3 1 мМ	31	63	68*	70*	74	31	77	87*	104	118
		10 мкМ	31	64	69	72	76	32	76	98	108	121*
	100 нМ	32	63*	66*	69*	72	32	92	103*	112	120*	
		Контроль	32	33	42	47	52	30	51	58	67	84
		1 1 мМ	32	37	43	52	53	32	45	54	63	73
	10 мкМ	25	20	40	49	56	31	36*	51	59*	66	
		100 нМ	30	36	38	48	49	32	44*	55	60	72
		2 1 мМ	19	25	38	45	48	32	49	55	62*	65*
	10 мкМ	28	41	48	53	59*	32	50	55	67	77	
100 нМ		32	46	54*	59*	65*	29	56	62	73	91	
Контроль		94	6	7	9	11	92	7	9	10	13	
Гипертермия (35 °С)	4 недели	1 1 мМ	32	11*	13*	16*	17*	32	8*	10	12	15*
		10 мкМ	32	5*	6*	8	10	32	10*	13*	15*	17*
		100 нМ	32	5*	6*	6*	7	32	5*	6*	8*	10*
	2 1 мМ	32	5	7*	7*	8	32	4*	5*	6*	10*	
		10 мкМ	32	8*	11*	15*	16*	32	5*	6*	7*	8*
		100 нМ	32	4*	6*	7*	8*	32	6	8	11	12
	3 1 мМ	32	12*	13*	15*	16*	32	6	8*	9*	10*	
		10 мкМ	32	9*	11*	13*	14*	31	7*	7*	9*	10
		100 нМ	32	8*	9*	10*	12	31	11*	13*	15*	16*
	4 1 мМ	31	6	7	10	11	32	6	8	10	11	
		10 мкМ	32	6	8	11*	13*	32	6*	7*	9	11
		100 нМ	32	7*	8*	11*	12	28	4*	6*	7*	8
	8 недели	Контроль	31	4	5	5	6	31	3	4	5	6
		1 1 мМ	32	4*	4*	4*	5	32	4*	5*	6	6
		10 мкМ	32	4	5	6	6	32	3	4	5	5
	100 нМ	32	3	4*	4*	5	5	32	3	4	4	5
2 1 мМ		24	3	4*	4	5	32	3*	3*	4	5	
10 мкМ		32	4	5	6	7	32	4*	5*	6*	7	
100 нМ	31	4	5	5	6	32	3	5*	6	6		
	Контроль	32	23	29	34	37	31	28	37	49	63	
	4 1 мМ	32	23	27	30*	32	32	26	31*	39	50	
10 мкМ	32	25	27	31	36	31	23	28*	35*	40		
	100 нМ	32	21	25	31	37	32	22	31	45	59	
	5 1 мМ	32	25	28	34	38	32	22	35	46	57	
10 мкМ	32	25	26	30*	37	32	29	35	47	58		
	100 нМ	32	25	29	34	37	31	25	29*	40*	46	
	Контроль	16	9	12	14	15	32	13	16	20	25	
4 1 мМ	25	8*	9	14	18	31	13	19	23	28		
	10 мкМ	15	8	11	15	19	31	16*	20	25	29	
	100 нМ	25	10	12	16	19	23	15	18	20	22	
5 1 мМ	24	8*	11	12	14	28	16	19*	22	28		
	10 мкМ	13	7*	7*	9	11	32	15	19	22	30	
	100 нМ	14	6*	7*	10*	10	32	14	16	21	25	

Примечание. N – объем выборки; 1 – α-кетоглутаровая кислота; 2 – янтарная кислота; 3 – фумаровая кислота; 4 – лимонная кислота; 5 – яблочная кислота; * – p < 0.05 по методу Ванг-Аллисона.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ГОЛУБИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VACCINIUM ULIGINOSUM*) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

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

Регулярное употребление овощей и ягод является важным компонентом здорового образа жизни, который может обеспечить защиту от хронических заболеваний (Benzie, 2011). В исследованиях влияния экстрактов ягод рода *Vaccinium* на продолжительность жизни (ПЖ) различных тест-объектов были выявлены положительные эффекты (Scerbak et al., 2016; Peng et al., 2012). Ягоды голубики обыкновенной содержат большое количество антоцианов и фенольных соединений. В последнее время антоцианы вызывают большой интерес у исследователей из-за потенциального профилактического и терапевтического воздействия на здоровье человека (Michalska, Łysiak, 2015). Антоцианы обладают мощными антиоксидантными свойствами, а содержание антоцианового пигмента напрямую коррелирует с антиоксидантной активностью экстрактов растений (Wallace, Giusti, 2015). Плоды, листья и побеги голубики оказывают антидиабетическое, противовоспалительное, противоопухолевое, противогрибковое, противогрибковое, противогрибковое, противогрибковое, противогрибковое, противогрибковое и антигельминтное действие. Листья и ягоды нормализуют обмен веществ, снижают уровень сахара в крови, укрепляют стенки кровеносных капилляров, нормализуют функции кишечника и поджелудочной железы (Буданцев, Лесиовская, 2001).

Цель данной работы – изучить геропротекторные свойства экстракта *Vaccinium uliginosum* в концентрациях 1.0, 2.5, 5.0 мг/мл на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster*.

Работа выполнена на особях *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*. Отбирали по 120–150 особей на вариант эксперимента. Самцы и самки жили отдельно по 30 мух в пробирке. Экстракт наносили на поверхность стандартной питательной среды, растворенный в этаноле в трех исследуемых концентрациях 1.0, 2.5, 5.0 мг/мл. Контрольных мух содержали на этаноле без добавления экстракта. Дрозофилы содержались в климатических камерах при температуре 25 °С, 12-часовом режиме освещения и 60% -ной влажности. Мух пересаживали на свежую среду два раза в неделю без наркотизирования.

**Влияние экстракта голубики обыкновенной
на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster***

Вариант	Пол	M	dM	Тест Мантеля-Кокса	Критерий Гехана-Вилкоксона	90%	d90%	Тест Ванг-Аллисона	N
Контроль	Самцы	62				71			141
1.0 мг/мл	Самцы	57	-8.1	p < 0.01	p < 0.01	70	-1.4	p > 0.05	135
2.5 мг/мл	Самцы	55	-11.3	p < 0.0001	p < 0.0001	69	-2.8	p > 0.05	128
5.0 мг/мл	Самцы	58	-6.5	p > 0.05	p > 0.05	70	-1.4	p > 0.05	133
Контроль	Самки	69				78			140
1.0 мг/мл	Самки	71	2.9	p > 0.05	p < 0.05	78	0	p > 0.05	122
2.5 мг/мл	Самки	70	1.4	p > 0.05	p > 0.05	78	0	p > 0.05	131
5.0 мг/мл	Самки	71	2.9	p > 0.05	p > 0.05	77	-1.3	p > 0.05	113

Примечание. M – 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.

Экстракт голубики в концентрации 1 мг/мл увеличивал медианную ПЖ самок дрозофил на 2.9% (p < 0.05 по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона), также наблюдали тенденцию к увеличению медианной ПЖ самок при концентрации экстракта 2.5 мг/мл на 1.4% (p > 0.05) и при концентрации 5 мг/мл на 2.9% (p > 0.05). У самцов наблюдали статистически значимые отрицательные эффекты на медианную ПЖ в большинстве исследуемых концентраций (снижение до 11.3%, p < 0.0001) (см. таблицу).

Полученные результаты указывают на разнонаправленный эффект воздействия экстракта голубики на самцов и самок дрозофил. Продолжительность жизни самок особей *Drosophila melanogaster* увеличивается до 2.9%, но при этом наблюдается отрицательный эффект на самцах.

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

ЛИТЕРАТУРА

- Буданцев А.Л. Дикорастущие полезные растения России / А.Л. Буданцев, Е.Е. Лесиовская. – СПб.: Изд-во СПХФА, 2001. – 663 с.
- Benzie I.F.F. Herbal medicine: biomolecular and clinical aspects / I.F.F. Benzie, S. Wachtel-Galor. – Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis, 2011. – 464 p.
- Michalska A. Bioactive compounds of blueberries: post-harvest factors influencing the nutritional value of products / A. Michalska, G. Lysiak // International Journal of Molecular Sciences. – 2015. – Vol. 16. – № 8. – P. 18642–18663.

Peng C. Blueberry extract prolongs lifespan of *Drosophila melanogaster* / C. Peng, Y. Zuo, K.M. Kwan [et al.] // *Experimental Gerontology*. – 2012. – Vol. 47. – № 2. – P. 170–178.

Scerbak C. Mechanosensory neuron aging: differential trajectories with lifespan-extending Alaskan berry and fungal treatments in *Caenorhabditis elegans* / C. Scerbak, E.M. Vayndorf, A. Hernandez [et al.] // *Frontiers in Aging Neuroscience*. – 2016. – Vol. 8. – P. 173.

Wallace T.C. Anthocyanins / T.C. Wallace, M.M. Giusti // *Advances in Nutrition*. – 2015. – Vol. 6. – № 5. – P. 620–622.

ВЛИЯНИЕ ДЕЙТЕРИРОВАННЫХ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ МОДЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Н.Р. Минниханова, А.А. Горбунова, Н.С. Уляшева, А.А. Москалев,
М.В. Шапошников

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: minikhanova.n.r@ib.komisc.ru

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) входят в обширную группу липидов, содержащих две или более двойные связи между атомами углерода. Организм человека не способен синтезировать незаменимые ПНЖК, например, такие как альфа-линоленовая кислота семейства омега-3 и линолевая кислота семейства омега-6, необходимые в свою очередь для синтеза физиологически значимых длинноцепочечных ПНЖК: арахидоновой кислоты семейства омега-6, а также эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот семейства омега-3. Последние играют немаловажную роль в функционировании организма человека и животных, поскольку являются значимыми структурными компонентами фосфолипидов клеточных мембран (Гладышев, 2012).

Активация свободнорадикального окисления клеточных мембран ускоряет процессы старения, нарушая течение нормальных биохимических процессов. В результате возрастных структурно-функциональных изменений в митохондриях увеличивается продукция активных форм кислорода (АФК). АФК оказывают прямое разрушительное действие на клеточные структуры и активируют перекисное окисление липидов (ПОЛ). ПНЖК являются одними из наиболее уязвимых клеточных мишеней среди клеточных компонентов, подверженных действию активных форм кислорода (Hill et al., 2011). При окислении образуются токсичные для клеток карбонильные соединения, которые повреждают липидные мембраны и приводят к атеросклерозу, старению и таким нейродегенеративным

заболеваниям, как болезнь Паркинсона, Альцгеймера (Verbee et al., 2017; Elharram et al., 2017).

Однако, замещение бис-аллильных атомов водорода атомами дейтерия в ПНЖК способно ограничить скорость перекисидации липидов за счет изотопного эффекта, что в конечном итоге обеспечивает устойчивость к окислительному стрессу, защищая клетки от повреждения. Дейтерированные ПНЖК подавляют образование изопропанов, продуктов ПОЛ, сохраняют дыхательную функцию митохондрий и защищают клетки млекопитающих и дрожжей от окислительного стресса. Снижение уровня ПОЛ посредством дейтерированных ПНЖК показано в исследовании на мышах с моделью болезни Альцгеймера (Elharram et al., 2017). В работе Verbee et al. (2017) отмечено благоприятное воздействие ПНЖК с дейтерием у трансгенных мышей вследствие снижения перекисного окисления липидов и общего уровня холестерина в плазме, препятствующего развитию атеросклероза.

В некоторых случаях (воспаление, неврологические заболевания) при повышенном окислительном стрессе стандартные (водородсодержащие) ПНЖК могут быть токсичными для клеток, тогда как добавление даже сравнительно небольшой части (20%) дейтерия в ПНЖК мембраны оказывает положительный эффект, защищая от повреждений, обусловленных окислительной деградацией липидов. Результаты исследований указывают, что дейтерированные ПНЖК могут оказывать противовоспалительное действие. Эксперимент по продолжительности жизни у мышей показал тенденцию к увеличению средней продолжительности жизни (до 5%) (Shchepinov et al., 2019).

В качестве простой модели для изучения путей перекисидации липидов могут выступать дрожжи с добавлением ПНЖК. В исследовании проводилось сравнение чувствительности между дрожжами дикого типа и *Saccharomyces cerevisiae coq* мутантами по отношению к дейтерированным и стандартным ПНЖК. Инкубированные дрожжи с мутацией с добавлением альфа-линоленовой и линолевой кислот имеют низкую жизнеспособность. При добавлении дейтерия к ПНЖК дрожжи с мутацией имеют жизнеспособность, подобную дрожжам дикого типа. Это указывает на значительную степень защиты дейтерированных ПНЖК от токсического действия продуктов ПОЛ (Hill et al., 2011).

Таким образом, усиление ПНЖК тяжелым изотопом дейтерия позволяет снизить чувствительность к окислительному стрессу, вызванному активными формами кислорода, увеличить продолжительность жизни и повысить устойчивость к возраст-зависимым заболеваниям (Shchepinov, Pestov, 2010).

Предполагается, что *Drosophila* может быть релевантной моделью в исследовании основных механизмов действия ПНЖК на старение (Champigny et al., 2018). В нашем исследовании планируется изучить влияние стандартных и дейтерированных полиненасыщенных жирных кислот на продолжительность жизни линии дико-го типа *Canton-S Drosophila melanogaster*.

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

ЛИТЕРАТУРА

Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека / М.И. Гладышев // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2012. – Т. 5. – № 4. – С. 352–386.

Berbee J.F. Deuterium-reinforced polyunsaturated fatty acids protect against atherosclerosis by lowering lipid peroxidation and hypercholesterolemia / J.F. Berbee, I.M. Mol, G.L. Milne [et al.] // Atherosclerosis. – 2017. – Vol. 264. – P. 100–107.

Champigny C.M. Omega-3 monoacylglyceride effects on longevity, mitochondrial metabolism and oxidative stress: insights from *Drosophila melanogaster* / C.M. Champigny, R.P.J. Cormier, C.J. Simard [et al.] // Marine Drugs. – 2018. – Vol. 16. – № 11. – P. 453.

Elharram A. Deuterium-reinforced polyunsaturated fatty acids improve cognition in a mouse model of sporadic Alzheimer's disease / A. Elharram, N.M. Czegledy, M. Golod [et al.] // FEBS Journal. – 2017. – Vol. 284. – № 23. – P. 4083–4095.

Hill S. Isotope-reinforced polyunsaturated fatty acids protect yeast cells from oxidative stress / S. Hill, K. Hirano, V.V. Shmanai [et al.] // Free Radic Biol Med. – 2011. – Vol. 50. – № 1. – P. 130–138.

Shchepinov M.S. Beneficial effect of deuterated polyunsaturated fatty acids in rodent models of Parkinson's disease and aging / M.S. Shchepinov, M.F. Beal, J.T. Brenna [et al.] // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2019.

Shchepinov M.S. Isotope effect, essential diet components, and prospects of aging retardation / M.S. Shchepinov, N.B. Pestov // Russian Journal of General Chemistry. – 2010. – Vol. 80. – P. 1514–1522.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SORBUS AUCUPARIA*) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.Ю. Платонова^{1,2}, М.В. Шапошников¹, А.А. Москалев^{1,2}

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) относится к семейству розоцветных (*Rosaceae*). Род рябина насчитывает больше 100 видов растений, распространенных в северном полушарии (Растительные ресурсы, 1993). Плоды рябины содержат каротиноиды (α -каротин, β -каротин, лютеин, ликопин, фитофлуин), флавоноиды (кверцетин, рутин, кемпферол, кверцитрин, мератин), антоцианы (цианидин), органические кислоты (яблочная, лимонная, винная, янтарная, сорбиновая), фосфолипиды (кефалин, лецитин) (Растительные ресурсы..., 2009), а также обладают богатым комплексом витаминов, в том числе жирорастворимых: С, Е, В1, В2, Р, РР, К. В листьях растения содержатся витамин С и флавоноиды; в семенах рябины – жирное масло (до 22%) и гликозид амигдалин; в коре – дубильные вещества (Лекарственные растения..., 1999; Растительные ресурсы..., 1993). Как показывает анализ данных литературы, ряд содержащихся в плодах и листьях рябины веществ (β -каротин, кемпферол, кверцетин) имеют геропротекторные свойства (Moskalev et al., 2015).

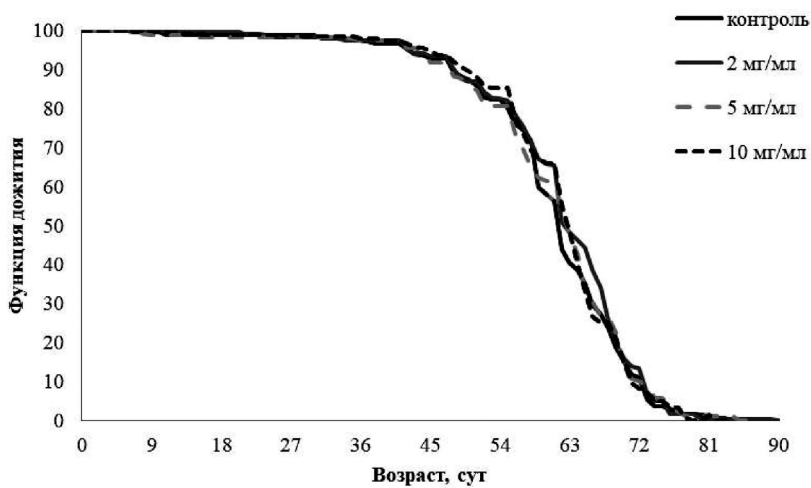
Цель данной работы – изучить влияние геропротекторных свойств экстракта *Sorbus aucuparia* в концентрациях 2, 5 и 10 мг/мл на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*.

Влияние экстракта рябины обыкновенной на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster*

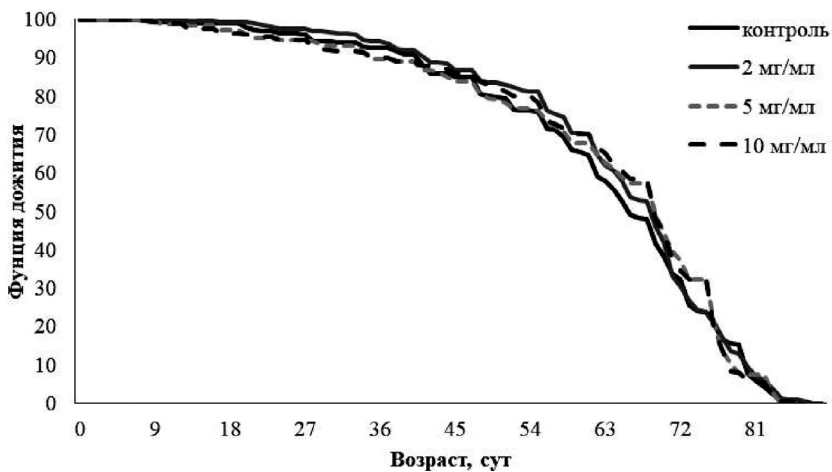
Вариант	Пол	M	dM	Тест Мантеля-Кокса	Критерий Гехана-Вилкоксона	90%	d90%	Тест Ванг-Аллисона	N
Контроль	Самцы	63				71			282
2 мг/мл	Самцы	64	2	$p > 0.05$	$p > 0.05$	74	0	$p > 0.05$	246
5 мг/мл	Самцы	64	2	$p > 0.05$	$p > 0.05$	74	0	$p > 0.05$	255
10 мг/мл	Самцы	64	2	$p > 0.05$	$p > 0.05$	72	-3	$p > 0.05$	278
Контроль	Самки	67				81			286
2 мг/мл	Самки	70	5	$p > 0.05$	$p > 0.05$	81	0	$p > 0.05$	278
5 мг/мл	Самки	70	5	$p > 0.05$	$p > 0.05$	80	-1	$p > 0.05$	260
10 мг/мл	Самки	70	5	$p > 0.05$	$p > 0.05$	79	-3	$p > 0.05$	277

Примечание. M – 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.

А



Б



Влияние экстракта рябины на продолжительность жизни самцов (А) и самок (Б) *Drosophila melanogaster*.

Для проведения экспериментов по изучению влияния экстракта рябины на продолжительность жизни дрозофил использовали линию дикого типа *Canton-S*, далее линия обозначена как *Drosophila melanogaster*. Было отобрано 120–150 особей для каждого варианта эксперимента, самки и самцы содержались раздельно по 30 особей на пробирку.

Экстракт растворяли в 96%-ном этаноле и наносили на поверхность питательной среды в концентрациях 2, 5 и 10 мг/мл. Состав питательной среды: вода – 1 л, кукурузная мука – 92 г, сухие дрожжи – 32.1 г, агар-агар – 5.2 г, глюкоза – 136.9 г (Xia et al., 2016). Контрольных мух содержали на 96%-ном этаноле. Контрольные и экспериментальные особи были собраны и разделены по полу в течение 24 ч после вылупления имаго. Начиная с первого дня жизни имаго, ежедневно вели подсчет числа умерших особей, два раза в неделю мух переносили на свежую среду без анестезии. Дрозофил содержали при температуре 25 °С, 60%-ной влажности и 12-часовом режиме освещения. Эксперимент проведен в двух повторностях.

Для статистического анализа результатов применяли непараметрические методы статистики. При оценке различий по медианной продолжительности жизни использовали критерии Мантеля-Кокса и Гехана-Вилкоксона, а для возраста 90%-ной смертности – тест Ванг-Аллисона, для кривых выживаемости – Колмогорова-Смирнова.

В результате проведенных исследований не обнаружили статистически значимых эффектов экстракта рябины обыкновенной на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* (см. таблицу, рисунок).

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

ЛИТЕРАТУРА

Лекарственные растения государственной фармакопеи. Фармакогнозия / Под ред. И.А. Самылиной, В.А. Северцева. – М.: «АМНИ», 1999. – 488 с.

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.

Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование / Отв. ред. П.Д. Соколов. – СПб.: Наука, 1993. – С. 145–148.

Moskalev A.A. Geroprotectors.org: a new, structured and curated database of current therapeutic interventions in aging and age-related disease /

A. Moskalev, E. Chernyagina, J.P. de Magalhaes [et al.] // Aging (Albany NY). – 2015. – Vol. 7. – P. 616–628. [Электронный ресурс]. URL: <https://geroprotectors.org>.

Xia B. Transgenerational programming of longevity through E(z)-mediated histone H3K27 trimethylation in *Drosophila* / B. Xia, E. Gerstin, D.E. Schones [et al.] // Aging (Albany NY). – 2016. – Vol. 8. – № 11. – P. 2988–3008.

БИОИНФОРМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ ПРЕПАРАТОВ KL001 И KS15, АКТИВАТОРА И ИНГИБИТОРА РЕЦЕПТОРА СИНЕГО СВЕТА КРИПТОХРОМА

И.А. Соловьёв, М.В. Шапошников, А.А. Москалев

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: soloviev@ib.komisc.ru

В последние годы все большую значимость в медицинской повестке приобретают трансляционные технологии, под которыми в частном случае трансляционной биоинформатики следует понимать преобразование гигантских массивов данных и достижений фундаментальной науки в прикладные разработки практического здравоохранения. Одной из наиболее востребованных областей трансляционной биоинформатики является совокупность математических методов и информационных технологий репозиционирования уже лицензированных фармпрепаратов и предсказания спектров биологической активности соединений – кандидатов в список лекарств. В настоящей работе мы попытались спрогнозировать спектры фармакологических мишеней двух соединений, модифицирующих белок криптохром, методами *in silico*.

Целью исследования являлось осуществление реконструкции спектров биологической активности двух соединений: активатора и ингибитора криптохрома, KL001 и KS15, методами фармакологии *in silico*. Гипотезы: 1) криптохром не является единственной перспективной мишенью соединения KL001 в человеческом организме; 2) ингибитор криптохрома KS15 способен взаимодействовать с множеством мишеней в организме человека; 3) гипотетический терапевтический потенциал KL001 и KS15 преобладает над токсическим действием и нежелательными эффектами.

Базы данных: ChemBL 11 – ChemBL 21, BindingDB, PubChem Bioassay, Supertarget, KEGG, GeneOntology. **Онлайн ресурсы, осуществляющие реконструкцию спектров биологической активности:**

PASS online, SwissTarget, SEA, PPB2, Potentia.cbs, ChemProt 2.0, TargetNET, Prediction.Charite (Forouzesh et al., 2019). Алгоритм: 1) соединения KL001 и KS15 загружались в формате SMILES поочередно в сервисы, осуществляющие предсказания биологической активности; 2) осуществлялась выгрузка списков мишеней, их сравнение и ранжирование; 3) для выяснения списка ассоциированных с белками-мишенями заболеваний проводился анализ обогащения по GeneOntology.

Проведен биоинформатический анализ спектров биологической активности двух фармакологических модуляторов циркадных ритмов: KL001 и KS15, которые являются, соответственно, активатором и ингибитором белка CRY, рецептора синего света, вовлеченного в патогенез различных социально-значимых заболеваний (онкологических, психических, возрастных недугов). KL001, помимо активатора CRY, является агонистом рецепторов FGF-1 (миметиком фактора роста фибробластов FGF-1 $P_a = 0.625$, $P_i = 0.014$), что позволяет причислить его к ряду потенциальных геропротекторов, поскольку FGF-1 признан одним из наиболее перспективных средств, омолаживающих кожу (de Araújo et al., 2019). KL001 косвенно подтвержден в качестве агониста криптохрома, его средство к PER2 (из димера CRY2/PER2) указывает на это ($p = 1.246 \times 10^{-243}$). Обнаружены побочные эффекты, наиболее вероятный из которых – гипотензивный ($P_a = 0.558$, $P_i = 0.048$), что в контексте гериатрической практики является преимуществом. Грозными побочными эффектами больших концентраций стоит назвать метаболический ацидоз и нефрит, однако, на основные мишени вещество действует и в малых концентрациях в силу высокого средства, что позволяет нивелировать побочные действия. KS15 является многообещающим антидиабетическим препаратом, поскольку результаты предсказаний спектра мишеней воспроизводятся пятью различными алгоритмами, помимо CRY, препарат является агонистом PPAR α и PPAR γ ($p = 8.262 \times 10^{-62}$ и $p = 4.713 \times 10^{-54}$), применение этого класса соединений может омолаживать кожу (Shin et al., 2016). На мышах показана ключевая роль PPAR γ в долголетию (Argmann et al., 2009). Побочные эффекты KS15 пренебрежимо малы в случае использования низких доз и являются следствием существования альтернативных мишеней с низким средством к KS15 (сонливость, гипогликемия, болевой синдром, потеря веса, $0.3 < P_a < 0.5$).

Данные хемореактомного и биоинформатического анализа спектров биологической активности показывают, что оба препарата относительно безопасны и могут рассматриваться как потенциальные геропротекторы, таргетирующие ключевые механизмы старения с приемлемой (KL001) и высокой точностью (KS15). Полученные дан-

ные свидетельствуют в пользу рациональности продолжения дальнейшего тестирования активностей препаратов на высокоорганизованных модельных животных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90058 «Аспиранты»: «Исследование геропротекторных свойств стабилизатора и ингибитора криптохрома, KL001 и KS15, на модели *Drosophila melanogaster*». Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов», № АААА-А19-119021590022-2.

ЛИТЕРАТУРА

Argmann C. Ppary2 is a key driver of longevity in the mouse / C. Argmann, R. Dobrin, S. Heikkinen [et al.] // PLoS genetics. – 2009. – Vol. 4, 5. – № 12. – P. e1000752.

de Araújo R. Fibroblast Growth Factors: A Controlling Mechanism of Skin Aging / R. de Araújo, M. Lôbo, K. Trindade [et al.] // Skin pharmacology and physiology. – 2019. – Vol. 4. – № 5. – P. 275–282.

Forouzesh A. Reliable target prediction of bioactive molecules based on chemical similarity without employing statistical methods/ A. Forouzesh, S. Samadi Foroushani, F. Forouzesh [et al.] // Frontiers in pharmacology. – 2019. – Vol. 10. – P. 835.

Shin M.H. Activation of peroxisome proliferator-activated receptor alpha improves aged and UV-irradiated skin by catalase induction / M.H. Shin, S.R. Lee, M.K. Kim [et al.] // PloS one. – 2016. – Vol. 11. – № 9. – P. e0162628.

ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ РАСТЕНИЙ *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L. И *TRIFOLIUM PRATENSE* L.

Н.С. Уляшева, А.А. Горбунова, Н.Р. Минниханова, А.А. Москалев

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: ulyasheva-1309@yandex.ru

В последнее время многие природные соединения и растительные экстракты были изучены с точки зрения геропротекторных свойств на различных модельных организмах.

Целью данной работы является исследование геропротекторного потенциала экстрактов растений тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) и клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) на модельном объекте *Drosophila melanogaster*.

Тысячелистник обыкновенный широко известен своими полезными свойствами и оказываемым лечебным эффектом. Что касается биологической активности этого растения, имеются свидетельства

противомикробного, противовоспалительного, гепатозащитного эффекта (Vitalini et al., 2011). Также экстракты тысячелистника обладают антиоксидантной, противовирусной, спазмолитической, эстрогенной, иммунологической активностью (Растительные ресурсы..., 2012).

Цветущие верхушки клевера лугового используются в различных препаратах, включая настои, отвары и настойки. Сообщалось, что клевер полезен для лечения симптомов менопаузы, масталгии, высокого уровня холестерина и других состояний (Растительные ресурсы..., 2010). Ранее проделанные исследования на модельных организмах показали противовоспалительный и антиоксидантный потенциал выдержки листьев клевера (Lee et al., 2018; Malca-Garcia et al., 2019).

В нашей работе для изучения геропротекторных свойств брали сухие части растений и делали экстракт путем выделения фенольных соединений. Наличие фенолов идентифицировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ-МС).

В результате ВЭЖХ-МС показано наличие значительного количества фенольных соединений в компонентном составе экстракта тысячелистника обыкновенного и клевера лугового.

В готовых экстрактах тысячелистника обыкновенного выявлено наличие фенольных соединений, таких как кемпферол, кверцетин, циннамиловая кислота, мирицетин, кумарин, р-кумаровая кислота, о-кумаровая кислота, изокверцетин, среди которых основным по содержанию является кемпферол.

Компонентный состав клевера лугового представляет наличие фенольных соединений: изокверцитрин, о-кумаровая кислота, р-кумаровая кислота, мирицетин, циннамиловая кислота, кверцетин, апигенин, гесперидин, хризин. Среди идентифицированных наибольшим по количеству является хризин.

Оценку геропротекторного потенциала экстрактов растений проводили на модели *D. melanogaster*. При изучении влияния экстрактов на продолжительность жизни (ПЖ) особей использовали следующие концентрации: для экстракта клевера (*T. pretense* L.) – 2 нг/мл, 200 нг/мл, 2 мкг/мл, 20 мкг/мл, 2 мг/мл, для экстракта тысячелистника (*A. millefolium* L.) – 100, 300 и 600 мкг/мл. Для сравнения показателей в качестве контроля использовали спиртовой раствор рутина и этанол.

Предварительные данные по ПЖ (45 сут.) показали, что концентрация 100 мкг/мл менее благоприятно влияет на выживаемость по сравнению с контролем, относительно этанола (рис. 1).

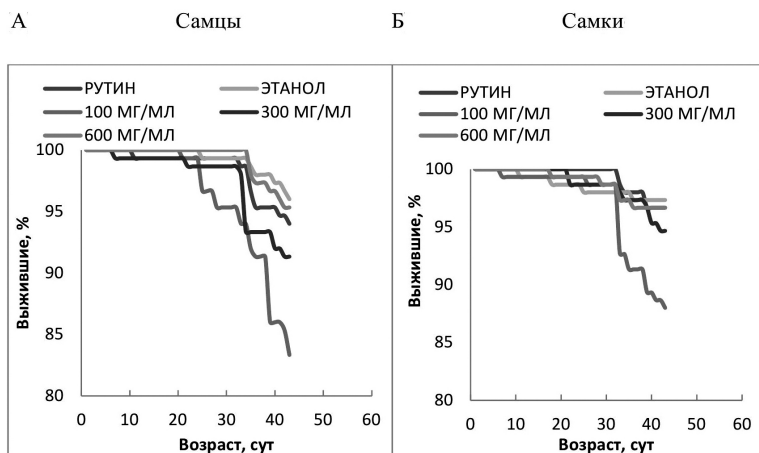


Рис. 1. Кривые выживаемости самцов (А) и самок (Б) *D. melanogaster* при добавлении экстракта тысячелистника обыкновенного.

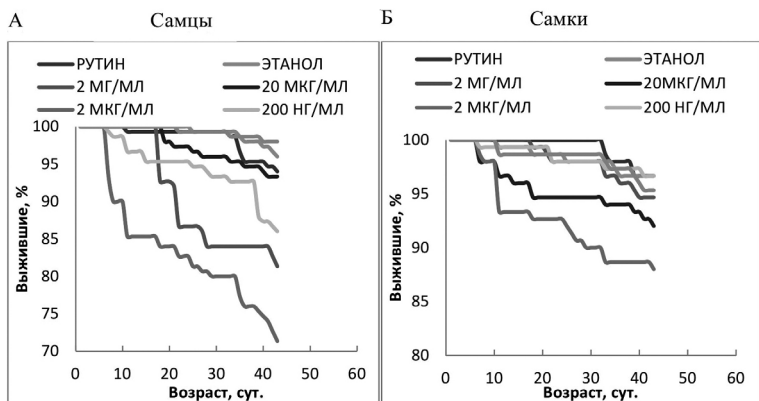


Рис. 2. Кривые выживаемости самцов (А) и самок (Б) *D. melanogaster* при добавлении экстракта клевера лугового.

Предварительные данные анализа по ПЖ (45 сут.) экстракта клевера лугового показали, что концентрация 2 мкг/мл приводит к гибели самок и самцов в раннем возрасте (рис. 2).

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов», № АААА-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, 2010. – Т. 3. – 602 с.

Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность / Отв. ред. А.Л. Буданцев. – СПб.-М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – Т. 5. – 317 с.

Lee S.A. Anti-inflammatory potential of *Trifolium pratense* L. leaf extract in LPS-stimulated RAW264.7 cells and in a rat model of carrageenan-induced inflammation / S.A. Lee, B. Park, S. Moon [et al.] // Archives of Physiology and Biochemistry. – 2018. – Vol. 126. – № 1. – P. 74–81.

Malca-Garcia G.R. Dynamics of the isoflavone metabolome of traditional preparations of *Trifolium pratense* L. / G.R. Malca-Garcia, D. Zagal, J. Graham [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2019. – Vol. 238. – P. 111865.

Vitalini S. Phenolic compounds from *Achillea millefolium* L. and their bioactivity / S. Vitalini, G. Beretta, M. Iritil [et al.] // Aela Biochim. – 2011. – Vol. 58. – P. 203–209.

ПОДБОР И ТЕСТИРОВАНИЕ ПРАЙМЕРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, СВЯЗАННЫХ С АДАПТАЦИЕЙ К ХРОНИЧЕСКОМУ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ, В ТКАНЯХ НЕМОДЕЛЬНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Е.М. Шестерикова, В.С. Бондаренко, Е.А. Казакова, И. В. Горбатова,
П.Ю. Волкова

ВНИИ радиологии и агроэкологии
E-mail: EShesterikova89@gmail.com

Радиоактивное загрязнение природных территорий в результате радиационных аварий представляет собой серьезный антропогенный стрессовый фактор для природных популяций растений. В ряде работ, проведенных в зоне аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), изучали влияние радиационного воздействия на структуру природных популяций растений и животных, а также физиологические, биохимические и молекулярные изменения, индуцированные облучением. Однако на этих территориях не проводились комплексные полевые исследования механизмов адаптации к хроническому облучению в природных популяциях травянистых растений, резко различающихся по радиочувствительности. Показано, что организмы в их естественной среде обитания более чувствительны к радиационному воздействию, чем в лабораторных условиях, причем различия в чувствительности практически достигают одного порядка величины (Garnier-Laplace et al., 2013). **Чувствительность расте-**

ний к острому облучению во многом связана со структурными особенностями генома, в то время как факторы чувствительности к хроническому облучению слабо изучены, имеют функциональную (а не структурную) природу и, по-видимому, связаны с особенностями молекулярных путей ответа на длительный стресс у разных видов растений.

В представленной работе были выбраны четыре контрастных по чувствительности к острому облучению видов растений в рамках одного полевого исследования: клевер ползучий (*Trifolium repens*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris*).

Для каждого вида экспериментальных растений выбраны два контрольных участка и три участка в зоне отчуждения ЧАЭС с разными уровнями радиоактивного загрязнения. Экспериментальные участки находятся в Полесском радиационно-экологическом заповеднике на территории Гомельской области Республики Беларусь, созданного в районах, сильно загрязненных долгоживущими радионуклидами после Чернобыльской аварии. Листья экспериментальных растений были отобраны в июне 2019 г. и немедленно заморожены в жидком азоте до анализа.

Подбор кандидатных генов для анализа осуществляли исходя из известных закономерностей действия хронического ионизирующего излучения на растения и ранее выявленной важной роли АБК-сигналинга в адаптации древесных растений к хроническому облучению (Duarte et al., 2019). Известно, что в условиях хронического облучения популяции растений испытывают окислительный стресс в результате ускоренной генерации активных форм кислорода (АФК) (Volkova et al., 2017). Известно, что митохондрии и хлоропласты растительных клеток являются важнейшими органеллами, вовлечёнными в работу путей внутриклеточной сигнальной трансдукции, активируемых АФК и связанных со стресс-сигналингом в условиях окислительного стресса (Suzuki et al., 2012). Процесс фотосинтеза, протекающий в хлоропластах, очень чувствителен к стрессовым факторам окружающей среды (Ashraf, Harris, 2013), в том числе к ионизирующему излучению, которое может оказывать воздействие на разные компоненты фотосинтетического аппарата.

После анализа собственных и литературных данных был составлен список кандидатных генов (табл. 1), которые могут быть вовлечены в процесс адаптации экспериментальных растений в ответ на хроническое облучение. Также для каждого вида растений с помощью литературных источников были подобраны три референтных гена.

Таблица 1

**Список кандидатных генов для проверки их экспрессии
в тканях немодельных травянистых растений
из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС**

№	Название (AGI)	Функция
1	<i>SLAC1 (AT1G12480)</i>	Участвует в ответе на абсцизовую кислоту (АБК), регуляция устьичного аппарата
2	<i>APX1 (AT1G07890)</i>	Клеточный ответ на окислительный стресс, ответ на АФК
3	<i>GPX2 (AT2G31570)</i>	Ответ на окислительный стресс
4	<i>CAB1 (AT1G29930)</i>	Реакция на световой стимул, связывание хлорофилла
5	<i>NTRB (AT4G35460)</i>	Удаление супероксидных радикалов, кодирует НАДФН-зависимую тиоредоксинредуктазу
6	<i>PP2-B11 (AT1G80110)</i>	Модулирует сигналинг АБК, убиквитинирование белка
7	<i>RBOHF (AT1G64060)</i>	Сигнальный путь, активируемый АБК, процесс биосинтеза пероксида водорода, отрицательная регуляция апоптоза
8	<i>HY5 (AT5G11260)</i>	Ответ на АБК, играет роль в накоплении антоцианов
9	<i>SnRK2.4 (AT1G10940)</i>	Протеинкиназа, сигналинг АБК, ответ на АФК
10	<i>PDS1 (AT1G06570)</i>	Ответ на АФК, участвует в биосинтезе токоферолов
11	<i>CIPK20 (AT5G45820)</i>	Ответ на АБК, фосфорилирование белка, трансдукция сигнала
12	<i>SIP1 (AT5G58380)</i>	СВЛ-взаимодействующая протеинкиназа
13	<i>PIP1 (AT3G61430)</i>	Аквапорин
14	<i>TIP1 (AT2G36830)</i>	Аквапорин

Так как последовательности выбранных генов были получены для модельного растения *Arabidopsis thaliana*, было необходимо подобрать наиболее консервативные участки последовательности для разработки праймеров для выбранных четырех экспериментальных видов растений. С помощью программы NCBI BLAST для каждого растения для каждого гена были подобраны 3–10 консервативных фрагментов. Поиск проводили по последовательностям представителей того же семейства растений, к которому принадлежал целевой вид, с использованием последовательностей мРНК или кДНК. Затем полученные фрагменты загружали в программу «Clustal Omega», где проводили множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей между собой для каждого семейства. После этого выбирали наиболее консервативные участки последовательности нуклеотидов, характерные для всех видов одного семейства. Далее для каждой полученной последовательности нуклеотидов подбирали праймеры с помощью программы Primer BLAST.

Для тестирования праймеров из экспериментальных образцов тканей растений были выделены ДНК и тотальная РНК. Затем с помощью количественной ПЦР и деления в агарозном геле были

Таблица 2

**Результаты анализа кандидатных и референтных генов
с помощью количественной ПЦР и разделения в агарозном геле
с использованием ДНК и кДНК экспериментальных растений**

№	Растения	ДНК	кДНК
1	Клевер ползучий <i>Trifolium repens</i>	APX1, CAB1, NTRB, RBOHF, SnRK2.4, CIPK20, TIP1, EF1, ACT, UBQ	APX1, CAB1, EF1,
2	Одуванчик лекарственный <i>Taraxacum officinale</i>	RP, EF1, CAB1, SLAC1, CIPK20, NTRB, PDS1	CAB1, SLAC1, CIPK20, RP, EF1
3	Ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i>	ACT, CYP2, ABC, CAB1, SLAC1, TIP1, NTRB, APX1, GPX2, RBOHF, HY5, PDS1	CAB1, SLAC1, TIP1, NTRB

получены результаты по работе и специфичности выбранных праймеров, которые приведены в табл. 2. Показано, что большая часть разработанных праймеров для каждого вида растения подобрана верно. Для некоторых праймеров нужно провести оптимизацию условий проведения количественной ПЦР, а также провести для всех праймеров повторное тестирования при большей концентрации кДНК. Оптимизация набора праймеров позволит приступить к анализу экспрессии генов, потенциально вовлеченных в адаптивные реакции дикорастущих растений, произрастающих в условиях хронического радиоактивного загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-34-20012.

ЛИТЕРАТУРА

- Ashraf M. Photosynthesis under stressful environments: an overview / M. Ashraf, P.J.C. Harris // *Photosynthetica*. – 2013. – Vol. 51. – P. 163–190.
- Duarte G.T. The response profile to chronic radiation exposure based on the transcriptome analysis of Scots pine from Chernobyl affected zone / G.T. Duarte, P.Yu. Volkova, S.A. Geras'kin. // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 250. – P. 618–626.
- Garnier-Laplace J. Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates / J. Garnier-Laplace, S. Geras'kin, C. Della-Vedova [et al.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – Vol. 121. – P. 12–21.
- Suzuki N. ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress / N. Suzuki, S. Koussevitzky, R. Mittler [et al.] // *Plant, Cell & Environment*. – 2012. – Vol. 35. (2). – P. 259–270.
- Volkova P.Yu. Radiation exposure in the remote period after the Chernobyl accident caused oxidative stress and genetic effects in Scots pine populations / P.Yu. Volkova, S.A. Geras'kin, E.A. Kazakova // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7. – P. 43009.

Секция 5

ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И BIOTEХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

УЧАСТИЕ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ АППАРАТА ТРАНСКРИПЦИИ ХЛОРОПЛАСТОВ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПРИ ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ

И.А. Бычков, Н.В. Кудрякова, В.В. Кузнецов
Институт физиологии растений им. А.К. Тимирязева РАН
E-mail: ivan.a.b@mail.ru

Мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптамин) является многофункциональной молекулой, которая сочетает в себе сигнальные свойства регулятора интегральных физиологических процессов с ролью антистрессорного агента. Экзогенный мелатонин способен изменять экспрессию значительного числа генов, участвующих в стрессовых реакциях, сигнальной трансдукции и гормональной регуляции (Weeda et al., 2014). Имеются сведения, что биосинтез мелатонина в растениях может происходить в хлоропластах (Bask et al., 2016). Это говорит о том, что пластидные гены могут быть мишенью воздействия мелатонина на растения. Хлоропласты, как потомки цианобактерий, обладают собственным геномом и системой транскрипции, которые требуют координированной экспрессии ядерных и пластид-кодируемых генов (Kusnetsov, 2018). В пластидах используются два типа РНК-полимераза: фермент эубактериального типа (PEP), кодируемый пластидом, и кодируемая в ядре моно-субъединичная РНК-полимераза фагового типа (NEP). У двудольных NEP представлена двумя белками, которые поступают либо в пластиды (RPOTr), либо одновременно в митохондрии и пластиды (RPOTrp). Механизм участия мелатонина в защитных процессах может быть связан с изменением процесса транскрипции в хлоропластах. В связи с этим наша задача заключалась в исследовании на отделенных листьях *A. thaliana* молекулярных основ влияния мелатонина на экспрессию генов аппарата транскрипции хлоропластов при фотоокислительном стрессе.

В экспериментах использовали растения *Arabidopsis thaliana* экотипа Columbia 0. Растения выращивали в вегетационной камере при 16-часовом цикле освещения/8 ч темнота при 23 °C и интенсивности света 75 мкЭ м⁻²с⁻¹ до четырех недель. Отделяли пятый и шестой листья розеток и инкубировали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной водой (контроль) или раствором мелатонина (10 мкМ). Далее чашки находились 72 ч при постоянном освещении, создаваемом люминесцентными лампами (OSRAM L58W/640, Россия) с потоком световой энергии 250 мкЭ м⁻²с⁻¹. Уровни экспрессии ядерных и хлоропластных генов оценивали с помощью ОТ-ПЦР согласно Danilova et al. (2014) при помощи LightCycler 96 (Roche, Швейцария).

Анализ выявил существенное влияние мелатонина на уровни транскриптов пластидных генов *groA* и *groB* (α - и β -субъединиц РЕР), транскрибируемых NEP (см. таблицу). Сходная картина наблюдалась для ядерных генов полимеразы фагового типа (*RPOTr* и *RPOTmp*), мелатонин в несколько раз увеличивал их экспрессию. Активность РЕР в хлоропластах *A. thaliana* опосредуется шестью ядерно-кодированными сигма-факторами. Мелатонин положительно регулировал уровни транскриптов *SIG1-SIG5*. Ген *SIG6* не был достоверно активирован, вероятно потому, что он функционирует в основном на ранней стадии развития хлоропластов. Помимо вышеупомянутых генов система транскрипции РЕР содержит 12 ядерно-кодируемых белков (PAP), критически важных для правильного формирования комплекса РНК-полимеразы РЕР (Liebers, Pfannschmidt, 2017). Обработка мелатонином значительно влияла на профили экспрессии генов PAP. Примечательно, что уровни экспрессии генов, участвующих в защите от АФК (*PAP4*, 9) и окислительно-восстановительных генов (*PAP6*, 10), были выше, чем у генов, участвующих в метаболизме ДНК/РНК и регуляции экспрессии генов. Единственным исключением среди генов PAP, который достоверно не регулировался мелатонином, был *PAP5*. Известно, что белок *PAP5* локализуется как в хлоропластах, так и в ядерных фитохромных телах, где он действует в процессе протеолиза (Chen et al., 2010). Следовательно, его активация может вызвать нежелательную деградацию белка.

Таким образом, результаты этого исследования показывают, что в условиях светового стресса экзогенный мелатонин изменяет профили экспрессии генов, участвующих в транскрипции хлоропластов, что может быть частью процессов защиты растений от фотоокислительного стресса. Также это может свидетельствовать о возможной роли мелатонина в путях передачи сигнала в клетке.

Влияние умеренного фотоокислительного стресса и экзогенного мелатонина на уровне транскриптов хлоропластных и ядерно-кодируемых генов в отделенных листьях *A. thaliana*

Гены	Концентрация мелатонина, мкМ	
	0	10
<i>RPOTp</i>	1.000±0.041	3.950±0.504*
<i>RPOTmp</i>	1.000±0.039	3.260±0.077*
<i>SIG1</i>	1.000±0.093	2.594±0.219*
<i>SIG2</i>	1.000±0.078	2.007±0.114*
<i>SIG3</i>	1.000±0.104	2.185±0.136*
<i>SIG4</i>	1.000±0.024	1.548±0.054*
<i>SIG5</i>	1.000±0.010	2.387±0.074*
<i>SIG6</i>	1.000±0.112	1.218±0.289
<i>PAP1</i>	1.000±0.057	1.608±0.102*
<i>PAP2</i>	1.000±0.031	2.204±0.046*
<i>PAP3</i>	1.000±0.118	4.993±0.423*
<i>PAP4</i>	1.000±0.029	4.500±0.086*
<i>PAP5</i>	1.000±0.059	1.439±0.129
<i>PAP6</i>	1.000±0.025	2.549±0.045*
<i>PAP7</i>	1.000±0.065	2.899±0.090*
<i>PAP8</i>	1.000±0.014	2.990±0.265*
<i>PAP9</i>	1.000±0.085	3.182±0.191*
<i>PAP10</i>	1.000±0.139	4.098±0.407*
<i>PAP11</i>	1.000±0.124	2.107±0.286*
<i>PAP12</i>	1.000±0.118	1.847±0.026*
<i>rpoA</i>	1.000±0.064	2.099±0.108*
<i>rpoB</i>	1.000±0.014	2.042±0.028*

Примечание. Даны средние значения ± стандартные ошибки (n ≥ 3); * статистически значимые различия при p < 0.05 (согласно критерию Стьюдента).

ЛИТЕРАТУРА

Back K. Melatonin biosynthesis in plants: multiple pathways catalyze tryptophan to melatonin in the cytoplasm or chloroplasts. / K. Back, D.X. Tan, R.J. Reiter // *Journal of Pineal Research*. – 2016. – Vol. 61. – P. 426–437.

Chen M. Arabidopsis HEMERA/pTAC12 initiates photomorphogenesis by phytochromes. / M. Chen, R.M. Galvao, M. Li [et al.] // *Cell*. – 2010. – Vol. 141. – P. 1230–1240.

Danilova M.N. Membrane receptors of cytokinin and their regulatory role in Arabidopsis thaliana plant response to photooxidative stress under conditions of water deficit. / M.N. Danilova, N.V. Kudryakova, P.Yu. Voronin [et al.] // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2014. – Vol. 61. – P. 434–442.

Kusnetsov V.V. Chloroplasts: Structure and Expression of the Plastid Genome. / V.V. Kusnetsov // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2018. – Vol. 65. – P. 463–471.

Liebers M. Plastid RNA polymerases and nuclear-encoded proteins associated with them in *Arabidopsis thaliana*. / M. Liebers, T. Pfannschmidt // *Endocytobiosis and Cell Research*. – 2017. – Vol. 28. – P. 20–32.

Weeda S. *Arabidopsis* transcriptome analysis reveals key roles of melatonin in plant defense systems. / Weeda S., Zhang N., Zhao X. [et al.] // *PLoS ONE*. – 2014. – Vol. 9. – P. e93462.

КОРОДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ: НАКОПЛЕНИЕ И ПУТИ УТИЛИЗАЦИИ

Е.Р. Ерунцова^{1, 2}, Е.М. Анчугова²

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: 89042005273@mail.ru

В настоящее время остро стоит проблема комплексной утилизации отходов, образующихся в сфере лесной промышленности. При подготовке первичного сырья образуется 60–70% кородревесных отходов (КДО) от общего количества твердых отходов (Курило, 2015). КДО представляют собой древесные остатки разного размера, характера и степени разложения в сочетании с перегноем, формирующимся за счет естественных процессов разложения органических остатков растительного происхождения. Запасы отходов коры по РФ составляют 20–30 млн. т в год, а используется из них не более 10% (Ульянова, 2009). В результате невозможности внедрения наилучших доступных технологий существенно возросла техногенная нагрузка на урбанизированные территории, что обуславливает актуальность исследований, связанных с минимизацией негативного воздействия отвалов КДО на окружающую среду, безопасной утилизацией и разработкой способов использования ресурсного потенциала КДО длительного срока хранения (Ширинкина, 2014). Проблема захламления территорий КДО характерна для многих регионов России. В их числе Красноярский край, Пермский край, Кировская область, Иркутская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Республика Коми.

В лесном секторе Республики Коми сохраняется проблема переработки древесных отходов ввиду недостаточного сбыта и отсутствия комплексной переработки. Отходы деревопереработки обычно складываются поблизости от предприятий (Шишелов, 2017). В частности, на территории г. Сыктывкар в районе Лесозавода имеется склад коры, представляющий собой гребневидный отвал площадью около 10 га и высотой 25 м. Объем КДО – около 1 млн. м³, период накопления отходов – с 1950 по 2010 г.

Кора имеет высокую влажность, своеобразное строение, повышенное содержание минеральных компонентов, загрязнение неорганическими веществами, что затрудняет использование КДО. Переработка древесного сырья ведется в основном по трем направлениям – использование в качестве топлива и получение топлива, получение строительных материалов и в качестве источника для химических и биологических продуктов (Филичкина, 2017).

Наиболее простой и распространенный способ вторичного использования КДО – сжигание с получением тепловой и электрической энергии, но этот способ не является рациональным, так как кора обладает низкой теплотворностью и высокой зольностью. Для улучшения потребительских качеств целесообразно готовить из КДО брикеты для использования в качестве бытового топлива.

КДО могут также использоваться для получения строительных материалов, таких как древесно-стружечные плиты, легкие бетонные изделия с древесным наполнителем, которые могут использоваться в качестве конструкционного материала при строительстве домов, технических сооружений.

КДО можно использовать для приготовления кормовой муки и добавок к ней, получения дубильных экстрактов, пектиновых веществ, защитных биопрепаратов. КДО длительного срока хранения могут быть использованы в качестве сырья для получения рекультивационных и удобрительных материалов, что является наиболее рациональным способом использования. Это позволит уменьшить объем вывоза отходов, снизить негативное воздействие на окружающую среду (Филичкина, 2017).

Также существуют менее распространенные способы использования КДО, такие как использование в виде фильтрующего материала, для выравнивания или осушивания территории, мульчирования, в ландшафтном дизайне, в качестве подстилки для животных.

Важным диагностическим критерием оценки биологической активности в отходах и загрязненных (отходами деревопереработки) почвах является показатель дегидрогеназной активности. Она зависит от интенсивности процессов нитрификации, азотфиксации, дыхания, поглощения почвой кислорода, что определяет ее высокую информативность (Валова, 2012).

Были проведены предварительные исследования двух фракций образцов КДО, отобранных со склада коры в местечке Лесозавод с целью определения дегидрогеназной активности для последующей оценки биотехнологического потенциала КДО. Образцы выбирались по степени разложения – наиболее и наименее разложенные. Исследования выявили высокую степень дегидрогеназной активности.

Различия внутри фракций незначимы. Это выгодно с позиций подготовки образца к анализу. Различия между образцами значимы. Большим биотехнологическим потенциалом обладает образец 2.

Высокая дегидрогеназная активность говорит о происходящих в КДО процессах окисления. Разница этих процессов во фракциях менее и более разложенных указывает на положительную динамику постепенного образования земляной смеси, что выявляет высокий уровень биотехнологического потенциала КДО и возможность их использования для получения рекультивационных и удобрительных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания № АААА-А17-117121270025-1 «Разработка биокаталитических систем на основе ферментов, микроорганизмов и растительных клеток, их иммобилизованных форм и ассоциаций для переработки растительного сырья, получения биологически активных веществ, биотоплива, ремедиации загрязненных почв и очистки сточных вод».

ЛИТЕРАТУРА

Валова Е.Э. Влияние тяжёлых металлов на ферментативную активность почв / Е.Э. Валова, Ю.Б. Цыбенков, Э.В. Цыбикова // Ученые записки ЗабГГПУ. – 2012. – № 1 (42). – С. 63–66.

Курило О.Н. Снижение негативного воздействия короотвала целлюлозно-бумажного предприятия на окружающую среду путем использования кородревесных отходов длительного срока хранения / О.Н. Курило, Е.С. Ширинкина, Я.И. Вайсман // Ecology and Industry of Russia. – 2015. – Vol. 19. – № 1. – Р. 45–49.

Ульянова О.А. Трансформация органического вещества почвы под действием композиций из древесной коры и цеолита / О.А. Ульянова // Плодородие. – 2009. – № 2. – С. 23–25.

Филичкина М.В. Биотехнологии как альтернативный источник энергии будущего / М.В. Филичкина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж, 2017. – С. 150–155.

Ширинкина Е.С. Минимизация негативного воздействия кородревесных отходов целлюлозно-бумажной промышленности на окружающую среду / Е.С. Ширинкина // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 2. – С. 108–117.

Шишелов М.А. Проблемы и перспективы развития переработки древесных отходов в Республике Коми / М.А. Шишелов // Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2016 году. – Сыктывкар, 2017. – С. 274–276.

МИКРОВОДОРОСЛИ В ОЧИСТКЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Ю.С. Корчагина¹, Е. М. Анчугова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: pto15@ecoalyans.ru

Проблема загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами в России признана на государственном уровне. Число аварий на объектах нефтедобычи и транспортировки нефти ежегодно достигает порядка 25 тыс. инцидентов, в результате чего около 1.5 млн. т нефти поступает в окружающую среду. Основным источником нефтяных разливов – порыв промысловых нефтепроводов. По данным самих нефтяных компаний, количество их составляет порядка 10 тыс. в год (Квашева и др., 2016).

Один из самых эффективных методов очистки почвы от нефтепродуктов – биологический. В качестве биопрепарата для очистки почв можно использовать биомассу микроводорослей. Поиск по патентам, зарегистрированным в России, показал, что микроводоросли *Chlorella vulgaris* используются для различных целей, но в очистке нефтяных загрязнений почв в редких случаях, только в составе симбиотических комплексов.

Целью работы являлась эколого-биотехнологическая оценка эффективности методов очистки почв от нефтепродуктов с использованием микроводорослей.

Для исследования был выбран загрязненный нефтью участок, находящийся вдоль трассы недалеко от г. Лангепас. Разлив нефти на момент отбора проб был свежий, но повторный. Территория местами заболоченная. На исследуемом участке на поверхности земли можно было наблюдать фрагменты высачивания нефти.

Перед закладкой экспериментов были отобраны пробы фоновой и охранной зон. Фоновая проба почвы отбиралась в 100 м от автодороги и загрязненного участка, вне антропогенного воздействия, в лесном массиве, по горизонтам 0–5 см и 5–50 см. Также была отобрана проба почвы с охранной зоны. На загрязненном участке было выделено семь делянок 1×1 м. Перед проведением эксперимента были отобраны пробы почвы со всех делянок методом «конверта».

Для эксперимента заранее в бутылках (0.5 л) были разведены удобрения NPK (азотно-фосфорно-калийные) по 12 г, а также культивированы микроводоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-2024 (90 мл) на синтетической среде Тамия. По схеме эксперимента на шесть участков вносили растворенные удобрения. На три делянки вносили микроводоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-2024 по 30 мл

на каждую. Седьмая делянка (М1-7К) – контроль – без внесения удобрений и микроводорослей.

Повторные пробы с участков эксперимента отобрали через 60 сут. после начала эксперимента.

Эколого-биотехнологическую оценку восстанавливающихся и самовосстанавливающихся почв проводили по биотическим и абиотическим параметрам. Учет численности основных физиологических групп микроорганизмов проводили общепринятыми методами посева на агаризованные питательные среды. Для биохимических анализов за основу были взяты методы почвенной энзимологии.

Количественный химический анализ почвенных образцов был выполнен в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Почва верхней толщи фонового участка по степени обогащенности ферментом дегидрогеназой относится к богатой (шкала Звягинцева). В нижней толще активность микроорганизмов и ферментов снижается. В почве охранной зоны дегидрогеназная активность низкая.

Микроводоросли совместно с азотно-фосфатно-калийными удобрениями благоприятно влияют на почвенные слои, постепенно окисляя углеводороды нефти. Ферментативная активность в начале эксперимента подавлена. Через 60 сут. процессы дегидрирования усиливаются в почве как при стимулировании аборигенной микробиоты, так и при биоаугментации микроводорослями.

Высокая интенсивность процессов микробиологической минерализации органических веществ происходит в почвах вариантов без биологической добавки (М1-1, М1-2, М1-3). В почвах вариантов коэффициент минерализации указывает на преобладание процессов утилизации органических форм. К концу эксперимента практически во всех вариантах наблюдается высокая численность олиготрофилов (Эшби/МПА), связывающих азот из рассеянного состояния, что доказывает повышенную олиготрофность среды по углероду и азоту. В почве, отобранной спустя 60 сут., обнаружены микромицеты, что свидетельствует о благоприятном течении сукцессионных процессов.

Процессы нефтеокисления с помощью аборигенной микробиоты происходят как при активизации минеральными удобрениями, так и при внесении дополнительного биологического стимулятора – микроводорослей. Снижение содержания нефтепродуктов с их использованием происходит на 77%.

Таким образом, микроводоросли являются эффективным нефтеокисляющим биопрепаратом, не уступающим бактериальным или симбиотическим препаратам. В то же время микроводоросли как

биопрепарат превосходят по экологическим, экономическим и безопасным параметрам действующие на сегодняшний день препараты.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Государственного задания № АААА-А17-117121270025-1 «Разработка биокаталитических систем на основе ферментов, микроорганизмов и растительных клеток, их иммобилизованных форм и ассоциаций для переработки растительного сырья, получения биологически активных веществ, биотоплива, ремедиации загрязненных почв и очистки сточных вод» и программы «УМНИК», договор № 14888ГУ/2019 от 18.12.2019 г.

ЛИТЕРАТУРА

Квашева Е.А. Статистика разливов нефти и нефтепродуктов / Е.А. Квашева, Е.С. Ушакова, А.Г. Ушаков // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий: Материалы Международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2016. – С. 134–136.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ КАРОТИНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ *HYLOTELEPHIUM TRIPHYLLUM* МЕТОДОМ ОБРАЩЕННО-ФАЗОВОЙ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

А.А. Петухов¹, О.А. Кузванова², О.В. Дымова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: prutyaaan@gmail.com

Хлорофиллы (Хл), являясь основными фотосинтетическими пигментами высших растений, играют ключевую роль в фотосинтезе, осуществляют поглощение, передачу и трансформацию световой энергии. С Хл фотосинтетических мембран тесно связаны каротиноиды (Кар), которые являются структурными компонентами, участвуют в светосборе, выполняют антиоксидантную и фотопротекторную функции, предотвращая возможные повреждения фотосинтетического аппарата. Количество пигментов и соотношение между ними является важным и чувствительным показателем физиологического состояния растений, отражающим интенсивность фотосинтеза и адаптивные перестройки при стрессовых воздействиях (изменения освещенности и температуры, высокие потоки радиации).

Целью работы было изучение состава и содержания индивидуальных каротиноидов в зеленых и красных листьях очитка пурпурного (*Hylotelephium triphyllum* Holib. (Naw.). Клетки эпидермы листа *H. triphyllum* содержат разное количество антоцианов, что при-

дает листовую пластинку красноватый оттенок. В зависимости от этого листья были разделены на две группы: зеленые (З-листья) и красные (К-листья).

Растения *H. triphyllum* произрастали на супесчаной почве в пойме р. Вымь в окрестностях Ляльского лесобиологического стационара ИБ Коми НЦ УрО РАН (Княжпогостский район Республики Коми). Растения отбирали в фазу цветения (конец июля). При проведении исследований температура воздуха в местообитании растений достигала к полудню 30 °С, относительная влажность воздуха снижалась до 30–35%, освещенность при ясном небе составляла около 1400–1600 мкмоль/м²с ФАР.

В работе использованы два метода анализа фотосинтетических пигментов. Спектрофотометрический анализ был выполнен с целью дать общую характеристику пигментного комплекса двух типов листьев растений *H. triphyllum*. Пигменты экстрагировали ацетоном из высечек листьев (200–250 мг сырой массы). Содержание пигментов определяли спектрофотометрически на приборе UV-1700 («Shimadzu», Япония). Концентрацию Хл *a* и *b* измеряли при длинах волн 662 и 644 нм соответственно, Кар – при 478 нм (с поправками в максимумы поглощения). Для разделения Кар использовали метод высокоэффективной обращенно-фазовой жидкостной хроматографии (Knauer, Germany). Предварительно была проведена методическая работа по оптимизации способа фиксации растительного материала для анализа. В связи с этим одна часть материала была зафиксирована целым листом (без центральной жилки), другая – пятью-шестью дисками ($S_{\text{1 диска}} = 0.004 \text{ дм}^2$), высеченными трубчатым сверлом (внутренний диаметр 7 мм) из срединной части листовых пластинок. Навеска растительного материала была от 200 до 250 мг. Для экстракции пигментов использовали элюент А (ацетонитрил:метанол:вода = 75:12:4). Листовые пластинки размельчали в элюенте А, переносили в пробирку Эппендорф, центрифугировали 10 мин при 10 000 g. Супернатант отфильтровывали и наносили 100 мкл на колонку с помощью микрошприца. Пигменты элюировали при градиентном режиме в течение 39 мин в системе элюент А и элюент В (метанол:этилацетат = 68:32). Скорость потока элюента 2 см³/мин. Температура хроматографирования 25 °С. Пигменты детектировали при длине волны 440 нм. Для расчета количественного состава пигментов использована абсолютная градуировка (метод внешнего стандарта). Прием и обработку хроматографических данных проводили с помощью специальной компьютерной программы «EuroChrom for Windows». Состояние дезоксидации пигментов ВКЦ (DEPS, %) оценивали по соотношению [(Zea+0.5 Ант)/(Вио+Ант+Zea)], где Zea – зеаксантин, Вио – виолаксантин и Ант – антераксантин.

Спектрофотометрический анализ показал, что К-листья содержали вдвое меньше Хл (2.30 ± 0.27 мг/г сухой массы), в основном Хл а. В составе светособирающих комплексов фотосистем К- и З-листьев локализовалось до 70% всего фонда Хл. К-листья отличались также более низким содержанием Кар (0.57 ± 0.05 мг/г сухой массы), но по соотношению Хл/Кар различия были меньше выражены вследствие снижения фонда Хл в К-листьях. На фоне более низкого содержания Хл К-листья накапливали значительно больше (в шесть раз) антоцианов (2.70 ± 0.15 мг/г сухой массы) (Шелякин и др., 2017).

В общем фонде фотосинтетических пигментов доля Кар была в четыре-пять раз меньше, чем Хл. В тилакоидах хлоропластов они присутствуют в двух формах. Свободная фракция Кар составляла до 15% общего пула желтых пигментов и выполняла антиоксидантную функцию. Кар в составе пигмент-белковых комплексов тесно контактирует с молекулами Хл. Согласно (Latowski et al., 2014), одной из ключевых функций пигментов виолаксантинового цикла (ВКЦ) является диссипация избыточно поглощенной энергии.

Хроматографический анализ показал, что в листьях *H. triphyllum* среди Кар были идентифицированы β -каротин и ксантофиллы – лютеин, неоксантин, компоненты ВКЦ – виолаксантин, антераксантин, зеаксантин. На долю β -каротина приходилось до 40% фонда Кар, 30–35% составлял лютеин, 8–12% – неоксантин. Не обнаружено различий между образцами, зафиксированными разными способами (дисками и целым листом) (см. таблицу).

Дальнейшая фиксация растительного материала была выполнена с использованием дисков, высеченных из листовых пластинок. У двух типов листьев *H. triphyllum* выявлены суточные изменения содержания пигментов ВКЦ в листьях. По сравнению с К-листьями, в З-листьях пул пигментов ВКЦ был вдвое больше (0.12 мг/г сухой массы). При адаптации к высокой освещенности в полуденные часы З-листья характеризуются накоплением зеаксантина и высоким уровнем деэпоксидации – до 55%.

В целом, полученные данные свидетельствуют о высоком адаптивном потенциале пигментного аппарата растений *H. triphyllum* за счёт возрастания пула зеаксантина, способного к тепловой диссипации энергии. Применение дисков при фиксации образцов позволяет провести расчёт концентрации пигментов как на массу, так и на площадь листовой пластинки (мг/дм²), что важно для комплексной оценки функционального состояния *H. triphyllum* и других видов растений.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий ИБ Коми НЦ УрО РАН (№ АААА-А17-117033010038-7).

**Содержание индивидуальных каротиноидов
в листьях *Hylotelephium triphyllum*, массовая доля $\omega(x)$, %, 23.07. 2018 г. (n = 6)**

Каротиноиды	Красные листья		Зеленые листья	
	Диски	Целый лист	Диски	Целый лист
Неоксантин	0.097±0.008	0.101±0.026	0.102±0.009	0.098±0.019
Виолаксантин	0.102±0.014	0.144±0.022	0.135±0.013	0.137±0.037
Антраксантин	0.052±0.002	0.041±0.017	0.033±0.010	0.026±0.008
Лютеин	0.346±0.013	0.349±0.077	0.334±0.013	0.354±0.052
Зеаксантин	0.049±0.016	0.036±0.010	0.054±0.006	0.046±0.008
β -каротин	0.467±0.034	0.405±0.088	0.513±0.046	0.589±0.088
Сумма каротиноидов	1.11 ± 0.06	1.08±0.22	1.17 ± 0.06	1.25±0.19

Примечание. Приведено среднее арифметическое измерений массовой доли (ω_{cp}) пигмента со стандартным отклонением ($S(\omega_{cp})$; достоверность изменений параметра при разных способах фиксации (ANOVA, тест Дункана, α 0.05) не выявлена.

ЛИТЕРАТУРА

Шелякин М.А. Содержание антоцианов, активность антиоксидантной и энергодиссипирующих систем в листьях *Hylotelephium triphyllum* (Haw.) Holub. – представителя семейства Толстянковые на Севере / М.А. Шелякин, И.Г. Захожий, Г.Н. Табаленкова [и др.] // Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений: Материалы II Международного симпозиума. – Уфа, 2017. – С. 432–435.

Latowski D. Xanthophyll cycle and its physiological functions / D. Latowski, O. Dymova, T. Maslova, K. Strzalka [Eds. T.K. Golovko et al.] // Photosynthetic pigments – chemical structure, biological function and ecology. – Syktyvkar, 2014. – P. 183–206.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ В КЛЕТКАХ ШТАММА *CHLOROMONAS RETICULATA* (GOROSCHANKIN) GOBI

Д.А. Постельный¹, И.В. Новаковская², О.В. Дымова², М.Д. Сивков²,
А.А. Петухов¹, В.Н. Серебрякова¹

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: daniilpdp@yandex.ru

Температура является важным фактором для роста, развития и распространения любого фотосинтезирующего организма, в том числе и водорослей. Большой интерес представляют виды из экстремальных мест обитания, которые могут существовать при очень низком или высоком температурном режиме. Для существования

в таких условиях у этих организмов выработался целый комплекс признаков (Hoham, 1975). Так, криофильная водоросль *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi способна накапливать астаксантин, красный пигмент, являющийся вторичной пигментацией водорослей в ответ на УФ-излучение. Штамм этой водоросли был выделен с поверхности «красного снега» на Приполярном Урале и содержится в коллекции живых культур водорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН под номером SYKOA Ch-054-11.

Цель работы: изучить влияние разных температур на ростовые характеристики, состав и содержание пигментов в клетках штамма *C. reticulata*.

C. reticulata – одноклеточная зеленая водоросль, встречается в водной, почвенной среде, вызывает цветение снега и льда. Клетки одиночные, двужгутиковые, эллипсоидной или яйцевидной формы, 11–20 мкм в длину и 5–15 мкм в ширину.

Эксперимент проводили в 50-миллилитровых флаконах (Falcon) в двух повторностях для каждой исследуемой питательной среды Waris, BG 11, 3N BBM. Во флакон наливали 35 мл питательной среды и вносили по 1 мл исходной жидкой культуры водоросли. Нарращивание биомассы проводили в холодильнике при 10.5 °C и при комнатной температуре 19.5 °C на шейкерах со скоростью 150 оборотов/мин в течение двух недель при освещении 45 мкмоль м⁻²с⁻¹. Соотношение периодов день/ночь – 12/12 ч. Ростовые показатели культуры оценивали по следующим параметрам: средние размеры клеток в культуре, количество и биомасса клеток в 1 л, оптическая плотность культуры. Достоверность различий оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа с уровнем значимости $p < 0.05$. Средние размеры клеток и стандартные отклонения рассчитывали с использованием «Программы для расчета размеров клеток» (разработана М.Д. Сивковым). Показатель OD для каротиноидов (Кар) измеряли спектрофотометрически на приборе UV-1700 (Shimadzu) при $\lambda = 470$ нм. Для идентификации состава хлорофиллов (Хл) и Кар в биомассе *C. reticulata* проводили экстракцию с использованием диметилсульфоксида. Пигменты анализировали методом обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе (Knauer, Germany).

В ходе проведения эксперимента наибольшие показатели биомассы и количества клеток *C. reticulata* наблюдали во всех питательных средах при 10.5 °C (см. таблицу). Максимальная биомасса, количество клеток и наибольший показатель по накоплению Кар (OD = 0.63) были обнаружены на среде BG-11 при 10.5 °C. При низкой температуре биомасса водоросли была в 3.4 раза выше, чем при

**Основные показатели динамики роста клеток
и содержания каротиноидов в них у штамма *Chloromonas reticulata***

Условия культивирования	Биомасса		Число клеток в 1 л, млрд.	Средняя ширина		Средняя длина		OD 470	Каротиноиды	
	г/л	±		мкм	±	мкм	±		мкг/мл	±
3N BBM 19.5 °C	0.34	0.01	0.39	10.52	2.34	14.96	2.58	0.48	15.0	1.0
3N BBM 10.5 °C	1.18	0.19	1.26	10.85	2.53	15.31	1.85	0.54	26.0	8.0
BG 11 19.5 °C	0.44	0.02	0.33	13.22	1.63	13.89	1.56	0.35	4.0	0.3
BG 11 10.5 °C	1.50	0.02	1.71	10.70	2.65	14.67	2.34	0.63	41.0	4.0
Waris 19.5 °C	0.24	0.03	0.53	13.41	1.40	13.55	1.96	0.37	14.0	1.0
Waris 10.5 °C	0.30	0.01	1.00	7.18	1.63	11.02	1.79	0.34	8.0	1.0
F	159.75		171.84	52.24		30.51		6.50	19.92	
P	<0.001		<0.001	<0.001		<0.001		<0.001	<0.001	

19.5 °C на этой же среде. В ходе проведения эксперимента не обнаружено высоких результатов по накоплению биомассы при выращивании на среде Waris несмотря на то, что она содержит широкий спектр питательных элементов. На этой среде при 10.5 °C биомасса культуры увеличилась всего на 25%, тогда как количество клеток в 1 л возросло вдвое. Спектральный показатель для оценки накопления Кар (OD = 0.34–0.37) мало отличался при двух температурах (10.5 и 19.5 °C). В зависимости от температурного режима и питательной среды наблюдали изменения размеров и формы клеток. Так, на средах BG 11 и Waris при 10.5 °C отмечали клетки с эллипсоидной формой, тогда как при 19.5 °C клетки были округлые. При культивировании на среде 3N BBM при разных температурах не наблюдали явных отличий в размерах и форме клеток. Вероятно, морфологические особенности клеток связаны с различной кислотностью и содержанием азота в питательных средах. Так, в средах 3N BBM и BG 11 основным источником азота служит NaNO₃, но содержание азота в 3N BBM в пять-шесть раз меньше, чем в Bg 11. В среде Waris источниками азота являются нитрат калия, гидрофосфат аммония, нитрат кальция. Предполагаем, что низкие значения биомассы водоросли при культивировании на среде Waris обусловлены наличием осмотического стресса из-за большого количества солей в составе этой среды. Хроматографический анализ показал, что наибольшая концентрация Хл (195 мкг/мл) и Кар (41 мкг/мл) в клетках водоросли была получена при их культивировании на среде Bg 11 при низкой температуре. В клетках *C. reticulata* в составе фотосинтетических Кар были обнаружены неоксантин (20–29%), лютеин (20–31%), β-каротин (23–33%) и компоненты виолаксантинового цикла (зеаксантин, виолаксантин, антераксантин) (17–24%). Также был идентифицирован пик вторичного Кар – астакс-

сантина. Его доля в составе Кар была не менее 0.4% на среде Bg 11 при 10.5 °C и достигала 2.5% на среде Waris при той же температуре. Согласно (Bidigare et al., 1993), защита снежных водорослей от низких температур, по-видимому, достигается синтезом вторичного каротиноида астаксантина. На основании полученных нами данных можно предположить, что накопление Кар и их наличие в липофильной фазе мембран тилакоидов хлоропластов способно обеспечить текучесть мембран при низких температурах.

В ходе исследования сделаны следующие выводы:

Наибольший прирост биомассы микроводоросли *C. reticulata* наблюдали при температуре 10.5 °C.

В ходе эксперимента выявили, что оптимальной средой для культивирования штамма является среда Bg 11.

При культивировании на среде **Bg 11 при низкой температуре** (10.5 °C) клетки водоросли накапливали наибольшее количество хлорофиллов и каротиноидов. Вероятно, Кар выполняют защитную функцию при адаптации водоросли к низкой температуре.

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

Bidigare R.R. Evidence for a photoprotective function for secondary carotenoids of snow algae / R.R. Bidigare, M.E. Ondrusek, R. Iturriaga [et al.] // J. Phycol. – 1993. – № 29. – P. 427–434.

Hoham R.W. Optimum Temperatures and temperatures and Temperature Ranges doe Growth of Snow Algae / R.W. Hoham // Arctic and Alpine Research. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – P. 13–24.

ПРИРОДНО-ТРАНСГЕННЫЕ РАСТЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Г.В. Хафизова, Т.В. Матвеева

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: galina.khafizova@gmail.com

Последние 30 лет трансгенные растения являются одной из «горячих» тем в биологии растений. Ученые создают трансгенные сорта сельскохозяйственных культур, изучают взаимодействие генномодифицированных растений с окружающей средой (с родственными видами дикорастущих растений и насекомыми-опылителями), пытаются оценивать риски выращивания генномодифицированных растений. Однако трансгенные растения могут быть получены не

только в лабораторных условиях – почвенные бактерии рода *Agrobacterium* являются природными генными инженерами. Помещая фрагменты своих плазмид (Т-ДНК) в растительный геном, они активируют механизмы клеточного деления растения, что приводит к разрастанию растительных тканей с образованием опухоли либо «бородатого корня». Кроме того, растение начинает вырабатывать опиины, которые бактерия употребляет в пищу. Таким образом, агробактериальная инфекция оказывает угнетающий эффект на растительный организм. Однако в настоящее время известны растения, содержащие в своих геномах последовательности, гомологичные агробактериальным Т-ДНК, и имеющие при этом нормальный фенотип. Такие растения являются природно-трансгенными. Первое такое растение – табачное дерево *Nicotiana glauca* – было описано в 1982 г. (White et al., 1983). Результаты анализа методом Саузерн-блот гибридизации показали, что в геноме нетрансформированного растения *Nicotiana glauca* содержатся последовательности, гомологичные агробактериальным. Эти последовательности, названные клеточной Т-ДНК (клТ-ДНК), были найдены у всех проанализированных растений *Nicotiana glauca*, собранных на территории Перу, Боливии и Парагвая. Позже клТ-ДНК были найдены в геномах еще ряда представителей рода *Nicotiana*, а затем в геномах растений рода *Linaria* (Matveeva et al., 2012) и *Ipomea* (Kyndt et al., 2015). В данный момент насчитывается более 20 видов растений, содержащих в своих геномах клТ-ДНК-подобные последовательности (Matveeva, Otten, 2019).

Для изучения клТ-ДНК в настоящее время применяют широкий ряд методов. Структуру клТ-ДНК (последовательность генов) ранее изучали методом гибридизации по Саузерну в сочетании с ПЦР к входящим в состав Т-ДНК генам, а также ПЦР-РТ с вырожденными праймерами и зондами, и методом «прогулка по хромосоме». В нашей работе для изучения структуры клТ-ДНК мы используем различные варианты ПЦР и методы секвенирования нового поколения (NGS). Последние позволяют получить наиболее полную информацию о растительном геноме, понять, сколько копий клТ-ДНК он содержит, каков их состав, сайты локализации. Ранее были отсеквенированы геномы природно-трансгенных видов *N. tabacum*, *N. tomentosiformis* и *N. otophora*, благодаря чему стало известно точное количество копий клТ-ДНК и их состав (Chen et al., 2014). Нами был отсеквенирован и собран геном вида *N. glauca* (Khafizova et al., 2018), эволюционно далекий от видов *N. tabacum*, *N. tomentosiformis* и *N. otophora*. Полученные данные позволили проанализировать эволюционные процессы внутри рода *Nicotiana* и сделать вы-

вод, что для представителей разных ветвей рода *Nicotiana* показаны разные сценарии получения Т-ДНК. Использование биоинформатических методов, таких как выравнивания нуклеотидных и белковых последовательностей в различных вариациях, позволяет провести массовый поиск последовательностей клТ-ДНК в растительных геномах, а построение филогенетических деревьев на основе найденных последовательностей используют для выяснения путей эволюции агробактериальных фрагментов ДНК, их попадания и распространения в геномах растений. Так, недавно на основании результатов поиска по белковым последовательностям, гомологичным агробактериальным, был значительно расширен список природно-трансгенных растений (Matveeva, Otten, 2019). Наиболее достоверная картина получается в случае, когда с использованием разных методов удается получить сходные данные. Таким образом, при изучении природно-трансгенных растений следует использовать сочетание различных методов молекулярной биологии и биоинформатических методов.

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-016-00118 с использованием оборудования ресурсного центра «РМКТ» научного парка СПбГУ.

ЛИТЕРАТУРА

Chen K. Deep sequencing of the ancestral tobacco species *Nicotiana tomentosiformis* reveals multiple T-DNA inserts and a complex evolutionary history of natural transformation in the genus *Nicotiana* / K. Chen, F. Dorlhac de Borne, E. Szegedi, L. Otten // *Plant J.* – 2014. – Vol. 80. – № 4. – P. 669–682.

Khafizova G. *Nicotiana glauca* whole-genome investigation for cT-DNA study / G. Khafizova, P. Dobrynin, D. Polev, T. Matveeva // *BMC Research Notes.* – 2018. – Vol. 11. – № 18. – P. 1–3.

Kyndt T. The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: An example of a naturally transgenic food crop / T. Kyndt, D. Quispe, H. Zhai [et al.] // *P. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2015. – Vol. 112. – № 18. – P. 5844–5849.

Matveeva T. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by *Agrobacterium* / T. Matveeva, L. Otten // *Plant Molecular Biology.* – 2019. – Vol. 101. – P. 415–437.

Matveeva T. Horizontal gene transfer from genus *Agrobacterium* to the plant *Linaria* in nature / T. Matveeva, D. Bogomaz, O. Pavlova [et al.] // *Mol Plant Microbe Interact.* – 2012. – Vol. 25. – № 12. – P. 1542–1551.

White F. Sequence homologous to *Agrobacterium rhizogenes* T-DNA in the genomes of uninfected plants / F.F. White, D.J. Garfinkel, G.A. Huffman [et al.] // *Nature.* – 1983. – Vol. 301. – P. 348–350.

РЕЗОЛЮЦИЯ

XXVII Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» Сыктывкар, 16–20 марта 2020 г.

XXVII Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 16 по 20 марта 2020 г. Конференция собрала сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, аспирантов, студентов, участвующих в научно-исследовательской работе в области биологии и экологии. Основной целью конференции являлось создание условий для общения молодых и состоявшихся учёных для обмена опытом, поиска новых идей, предоставления начинающим исследователям возможности обсудить результаты своих работ в кругу квалифицированных специалистов. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института, ООО «ИнтерЛаб-Сервис» и ООО «Аптека Максимум».

На конференции прозвучало 47 докладов, в том числе четыре пленарных. Политов Дмитрий Владиславович рассказал о современном состоянии проблемы альтернативных путей видообразования. В докладе Мудрик Елены Анатольевны были отражены современные исследования популяционно-генетической структуры мигрирующих птиц на примере журавлей. Также в качестве пленарных докладчиков выступили молодые учёные Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Кириллов Дмитрий Валерьевич сделал сообщение о современном состоянии исследований охраняемого гриба саркосомы шаровидной. В сообщении Виктора Викторовича Старцева были освещены вопросы распределения органического вещества в разных высотных поясах Приполярного Урала.

Наибольшее число докладов представили молодые ученые Института биологии, семь – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара. Остальные участники прибыли из других городов России и они представляли ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. проф.

Б.М. Житкова (г. Киров), Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН (г. Москва), Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (г. Москва), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), ООО «ИнтерЛабСервис» (г. Москва), Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (г. Обнинск), Пензенский государственный университет (г. Пенза), Пущинский научный центр биологических гидрометеорологических исследований РАН (г. Пущино), Российский государственный гидрометеорологический университет (г. Санкт-Петербург), Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург), Всероссийский центр карантина растений по Республике Коми (г. Сыктывкар).

Среди участников – пять докторов наук, 37 кандидатов наук разных специальностей, 23 аспиранта, 25 студентов и 12 специалистов.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» прозвучало пять докладов, которые были посвящены анализу результатов выявления разнообразия водорослей и сосудистых растений как классическими, так и молекулярно-генетическими методами, вопросам классификации растительности, проблемам интродукции и сохранения редких видов растений.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» озвучены восемь докладов по вопросам биологии и экологии различных групп водных и наземных организмов. Представлены данные о комплексах почвенных и наземных беспозвоночных.

Проблемы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем были затронуты в выступлениях на одноименной секции (12 докладов). Молодые ученые представили результаты исследований морфологии, физико-химических свойств и температурного режима почв, влияния на них хозяйственной деятельности человека и природных факторов, оценки последствий загрязнения почвенного покрова и атмосферы поллютантами различной природы. Продемонстрированы особенности функционирования микробиоты почвы и закономерности эмиссии парниковых газов с ее поверхности.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (восемь докладов) и «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» (10 докладов) обсуждены результаты исследований в области физиологии растительных и животных организмов, биохимии растений, биотехнологии, проблемы влияния различных веществ на продолжительность жизни и устойчивость как целых организмов,

так и культур клеток, а также экотоксикологической оценки природных вод.

Оргкомитет конференции и оценочные комиссии секций отметили высокий научный уровень и практическую направленность многих работ, а также расширение спектра исследований с использованием специализированного оборудования и современных методик.

В рамках конференции проведены три мастер-класса и выездной круглый стол в Ляльский лесоэкологический стационар Института биологии в окрестностях г. Сыктывкар. Также были проведены экскурсии по Сыктывкару, в музей археологии Института языка, литературы и истории, этнографический музей.

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 опубликовать материалы докладов, представленных на XXVII 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 XXVIII Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2021 г.

4. Продолжить практику проведения мастер-классов, способствующих повышению квалификации молодых ученых, во время XXVIII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии».

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН, ООО «ИнтерЛабСервис» и ООО «Аптека Максимум» за помощь и финансовую поддержку при проведении конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Секция 1. Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира	
Коваленко К.А., Валуйских О.Е., Шадрин Д.М. Молекулярно-генетическая идентификация <i>Parrya nudicaulis</i> (L.) Boiss с использованием последовательности ITS2	5
Стаменов М.Н. Архитектура кроны генеративных особей дуба черешчатого на юге Подмосковья	8
Чикурова А.Д., Валуйских О.Е., Шадрин Д.М. Идентификация <i>Phlojodicarpus villosus</i> (Ariaceae) с применением молекулярных маркеров, используемых в ДНК-штрихкодировании растений	11
Секция 2. Изучение, охрана и рациональное использование животного мира	
Данилова Е.В. Миграции ржанкообразных птиц в средней тайге (Республика Коми) ...	15
Есаулов А.С., Малышева Е.А., Бабешко К.В., Цыганов А.Н., Белякова О.И., Мазей Ю.А. Существование близкородственных видов раковинных амёб отряда Arcellinida в апа-болотах Карельского берега Кандалакшского залива Белого моря	17
Лукин А.В. Распространение и динамика численности сибирского шелкопряда (<i>Dendrolimus sibiricus</i> Tchety.) в Республике Коми	18
Мазеева А.В., Кулакова О.И. Локальные фауны булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Rhopalocera) Кировской области	23

Малышева Е.А., Спиридонов В.А., Цыганов А.Н., Крашенинников А.Б., Кособокова К.Н., Гаврило М.В., Мазей Ю.А. Видовое разнообразие раковинных амёб в наземных биотопах на островах архипелага Северная Земля	27
Полушкин А.А. Изменение антропогенных ландшафтов вследствие модификационной деятельности речного бобра <i>Castor fiber</i> L.	29
Фатеева А.А., Кудрин А.А. Применение метода bait-lamina в оценке трофической активности почвенной фауны в бореальном лесу	31
Чернышев А.Н., Степанова А.Б. Пространственная изменчивость зоопланктона озера Лещевое (природный парк «Валаамский архипелаг») в летний период	36
Секция 3. Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем	
Белякова А.М., Зуева Н.В., Козлова А.В. Подходы к оценке экологического состояния городского водотока (река Охта, Санкт-Петербург)	39
Исаева А.В., Гончарова О.Ю. Оценка величины и динамики потока CO ₂ градиентным методом в почвах ботанического сада МГУ	42
Королёв М.А., Кызьюрова Е.В., Михайлов В.И. Исследование кислотности почв, содержащих обменные ионы железа (III)	44
Котова А.К., Воякина Е.Ю. Динамика лимнологических параметров Коневских озёр Валаамского архипелага	48
Кубик О.С. Состав низкомолекулярных органических веществ почв под действием растворов с высокой ионной силой	51
Кутявин И.Н., Осипов А.Ф. Северотаежные основные древостои Республики Коми: строение и возрастная структура	53
Осипов А.Ф. Пулы и потоки углерода в постпирогенном среднетаежном сосняке на автоморфной почве (Республика Коми)	56

Панова Н.В., Воякина Е.Ю. Влияние монастырской фермы на динамику лимнологических параметров озера Сисъярви (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро)	58
Расова Е.Е., Мелехина Е.Н., Маркарова М.Ю., Щемелинина Т.Н., Велегжанинов И.О. Почвенный микробиом в условиях нефтяного загрязнения экосистем Субарктики	61
Севергина Д.А., Старцев В.В., Дымов А.А. Содержание свободного и окклюдированного органического вещества в подзолах постпирогенных сосняков Республики Коми и Красноярского края	65
Шахтарова О.В., Денева С.В., Русанова Г.В., Лаптева Е.М. Характеристика структурной организации почв европейской Субарктики	69
Якубенко С.В., Мигловец М.Н. Методические аспекты картографирования болот на примере Каджеромского участкового лесничества (Республика Коми)	72
Секция 4. Радиационная биология, генетика.	
Влияние факторов физико-химической природы на организм	
Голубев Д.А., Москалев А.А. Влияние экстракта жимолости палласа (<i>Lonicera pallasii</i>) на продолжительность жизни <i>Drosophila melanogaster</i>	75
Ермакова А.В., Велегжанинов И.О. Увеличение пролиферативного потенциала фибробластов человека <i>in vitro</i> при действии ионизирующего излучения в малых дозах	77
Коваль Л.А., Яковлева Д.В., Голубев Д.А., Москалев А.А. Геропротекторные свойства метаболитов цикла Кребса на модели <i>Drosophila melanogaster</i>	82
Кукумань Д.В., Москалев А.А. Влияние экстракта голубики обыкновенной (<i>Vaccinium uliginosum</i>) на продолжительность жизни <i>Drosophila melanogaster</i>	86
Минниханова Н.Р., Горбунова А.А., Уляшева Н.С., Москалев А.А., Шапошников М.В. Влияние дейтерированных полиненасыщенных жирных кислот на продолжительность жизни модельных организмов	88

Платонова Е.Ю., Шапошников М.В., Москалев А.А. Влияние экстракта рябины обыкновенной (<i>Sorbus aucuparia</i>) на продолжительность жизни <i>Drosophila melanogaster</i>	91
Соловьёв И.А., Шапошников М.В., Москалев А.А. Биоинформатический анализ спектров биологической активности и геропротекторных свойств препаратов KL001 и KS15, активатора и ингибитора рецептора синего света криптохрома	94
Уляшева Н.С., Горбунова А.А., Минниханова Н.Р., Москалев А.А. Геропротекторный потенциал экстрактов растений <i>Achillea millefolium</i> L. и <i>Trifolium pratense</i> L.	96
Шестерикова Е.М., Бондаренко В.С., Казакова Е.А., Горбатова И.В., Волкова П.Ю. Подбор и тестирование праймеров для анализа экспрессии генов, связанных с адаптацией к хроническому радиационному воздействию, в тканях немодельных травянистых растений из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС	99
Секция 5. Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов	
Бычков И.А., Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В. Участие мелатонина в регуляции экспрессии генов аппарата транскрипции хлоропластов <i>Arabidopsis thaliana</i> при фотоокислительном стрессе	103
Ерунцова Е.Р., Анчугова Е.М. Кордревесные отходы: накопление и пути утилизации	106
Корчагина Ю.С., Анчугова Е.М. Микроводоросли в очистке нефтезагрязненных почв	109
Петухов А.А., Кузиванова О.А., Дымова О.В. Определение состава и содержания каротиноидов в листьях растений <i>Hylotelephium triphyllum</i> методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии	111
Постельный Д.А., Новаковская И.В., Дымова О.В., Сивков М.Д., Петухов А.А., Серебрякова В.Н. Влияние температурного режима на показатели роста и содержание пигментов в клетках штамма <i>Chloromonas reticulata</i> (Goroschankin) <i>gobi</i>	114
Хафизова Г.В., Матвеева Т.В. Природно-трансгенные растения и методы их изучения	117
Резолюция	120

Научное издание

XXVII 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-2020-03