

XXIV
ВСЕРОССИЙСКАЯ
МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
(с элементами
научной школы)

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

Сыктывкар 2017

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

XXIV Всероссийская молодежная
научная конференция
(с элементами научной школы)

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

посвященная 55-летию
Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Материалы докладов

3–7 апреля 2017 г.
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар
Издательство Коми НЦ УрО РАН
2017

УДК 574/577 (063)
ББК 28
А 43

055(02)7

Актуальные проблемы биологии и экологии : материалы докладов : XXIV Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы), посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН : 3–7 апреля 2017 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия / отв. редактор С. В. Дегтева. – Сыктывкар : ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017. – 216 с.

Представлены материалы докладов XXIV Всероссийской молодежной научной конференции, проводимой 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

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

*Конференция проведена при финансовой поддержке
Федерального агентства научных организаций России,
ООО «Агентство Химэксперт» (г. Москва)*



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО



ХИМЭКСПЕРТ

ISBN 978-5-9909731-0-7

© ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXIV Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 3 по 7 апреля 2017 г. Конференция собрала студентов, аспирантов, сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, участвующих в научно-исследовательской работе в области биологии и экологии. Основная цель конференции заключалась в создании условий для общения молодых исследователей с целью обмена опытом, поиска новых идей, в предоставлении им возможности обсудить в кругу квалифицированных специалистов результаты своих научных исследований. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института, ФАНО России и ООО «Агентство Химэксперт» (г. Москва).

В работе конференции приняли участие 110 человек, из них большая часть – молодые ученые Института биологии, 12 – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара (Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкарский лесной институт), остальные участники прибыли из других городов России. Они представляли Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН (г. Архангельск), Архангельский областной институт открытого образования (г. Архангельск), Вологодский государственный университет (г. Вологда), Удмуртский государственный университет (г. Ижевск), Казанский (Поволжский) федеральный университет (г. Казань), Балтийский федеральный университет им. И. Канта (г. Калининград), Вятский государственный университет (г. Киров), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Институт систематики и экологии животных СО РАН (г. Новосибирск), Институт биологии Карельского НЦ РАН (г. Петрозаводск), Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург), Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), Сахалинский государственный университет (г. Южно-Сахалинск).

Среди участников – пять докторов наук, более 30 кандидатов наук разных специальностей, 10 аспирантов и 28 студентов.

На конференции были сделаны 75 докладов, в том числе пять пленарных. На пленарной сессии прозвучали лекции приглашенных специалистов в области биотехнологии и молекулярной биологии, чьи исследования широко известны и высоко оценены во всем мире. Чл.-корр. РАН, д.б.н. Е.А. Бонч-Осмоловская дала характеристику термофильным микроорганизмам с точки зрения современных представлений об их природе, распространении, метаболическом разнообразии и применении в биотехнологии. В докладе д.б.н., проф. К.В. Северинова были освещены молекулярно-генетические аспекты адаптивного иммунитета бактерий. Пленарные доклады сделали специалисты Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Моделирование географических пределов распространения борщевика Сосновского было рассмотрено в сообщении к.б.н. И.В. Далькэ. Данные о температурном состоянии почв в таежно-тундровом геоэкоотоне представлены в докладе к.б.н. Д.А. Каверина. Охарактеризовала состояние экологической биотехнологии в Республике Коми к.б.н. Т.Н. Щемелинина.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» прозвучало 13 докладов, которые были посвящены выявлению разнообразия водорослей, грибов, лишайников и сосудистых растений, изучению жизненных форм модельных видов растений, классификации растительности, проблемам интродукции и сохранения редких видов растений.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» озвучены 15 докладов по вопросам биологии, таксономического состава и экологии различных групп водных организмов, проблемам видовой идентификации групп организмов, комплексов почвенных и наземных беспозвоночных, а также миграции птиц на европейском северо-востоке России.

Проблемы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем были затронуты в одноименной секции (15 докладов). Молодые ученые представили результаты исследований морфологии, физико-химических свойств и температурного режима почв, влияния на них хозяйственной деятельности человека и природных факторов, последствий загрязнения почвенного покрова поллютантами различной природы, особенностей функционирования микробиоты почвы и закономерностей эмиссии парниковых газов с ее поверхности.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (19 докладов) и «Морфолого-физиологические и молекулярно-генетические аспекты влияния экологи-

ческих факторов на организмы» (шесть 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.

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

В рамках конференции проведены четыре мастер-класса с экскурсиями в лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН, экскурсии в музеи других Институты Коми НЦ УрО РАН.

Прошедшая 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.

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН за помощь в организации и проведение конференции, а также ФАНО России и ООО «Агентство Химэксперт» (г. Москва) за финансовую поддержку. Оргкомитет выражает признательность всем участникам конференции за интересные доклады, активное участие и положительную оценку его работы.

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

Секция 1
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
И ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ
РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ

Ю.Е. Аганина

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
E-mail: julja-a30@rambler.ru

Биохимические методы в совокупности с морфологическими позволяют дать более полную характеристику количеству и качеству лесных ресурсов. Постоянное избыточное увлажнение, типичное для почв северной тайги европейского севера России, приводит к корневой гипоксии, вызывая хронический стресс у деревьев *Pinus sylvestris* L. В этих условиях дефицит кислорода отражается на интенсивности физиолого-биохимических процессов как корневой системы, так и наземных органов (Mancuso, 2010).

Согласно нашим данным, доля деревьев *P. sylvestris* с «выпуклым» типом (f. *gibba* Christ) апофиза семенных чешуй шишек в сосняках сфагновой группы типов леса в северной тайге бассейна Северной Двины может достигать 90%, с «плоским» типом (f. *plana* Christ) – 20%, а с крючковатым (f. *reflexa* Neer) составляет менее 10% или такой тип совсем отсутствует. Характер морфоструктуры *P. sylvestris* в условиях постоянного избыточного увлажнения почв проявляется в потере апикального доминирования, сокращении объема вегетативной и генеративной сфер, годичного прироста (размера побегов), усилении поврежденности ассимиляционного аппарата, снижении продолжительности жизни и длины хвой (Тарханов, 2010). Эти морфологические изменения могут характеризовать ее стрессовое состояние (Судачкова, 1998).

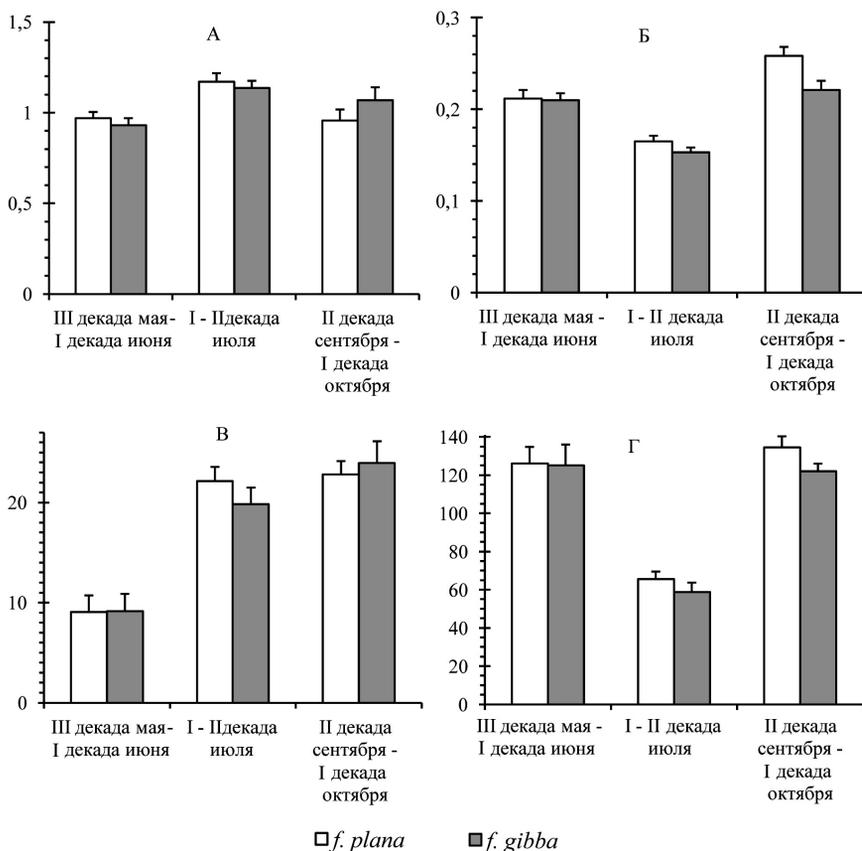
По нашим данным, появление хлоротических зон, а также микроскопических пятен некрозов вследствие окисления фенолов наблюдаются уже на однолетних побегах. С возрастом степень повреждения хвои в среднем увеличивается у деревьев с «плоским» типом апофиза семенных чешуй (в среднем от 1.3 – в однолетнем до 2.3 – в пятилетнем возрасте). В выборках деревьев сосны с «выпуклым» типом апофиза величина степени повреждения хвои несколько ниже (в среднем соответственно от 1.2 до 2.5). Это соответствует диапазону 1-3 классов поврежденности хвои (от почти здоровой хвои в однолетнем возрасте до умеренно поврежденной – в пятилетнем). Интенсивная потеря хвои на побегах наблюдается в более старшем возрасте. У деревьев с «плоской» формой апофиза категория потери хвои в этом возрасте в среднем составляет 1.8-3.0 балла, с «выпуклой» формой – 1.8-2.8 балла (от слабой до сильной степени). Большая потеря хвои, начиная с трехлетнего возраста, характерна для сосны с «плоским» типом апофиза по сравнению с деревьями с «выпуклой» формой апофиза. В трех- и пятилетнем возрасте хвои эти различия достоверны ($t = 2.1$ и 2.3 ; $t_{0.05} = 2.0$). В одно-трехлетнем возрасте потеря хвои почти не происходит (близка к нулевому баллу).

По предельной продолжительности жизни хвои эти формы существенно не различаются (в среднем 4.3-4.4 года). Средняя величина индекса повреждения деревьев (I) больше в выборках деревьев сосны с «плоским» апофизом ($I = 2.0$) по сравнению с сосной с «выпуклой» формой апофиза ($I = 1.9$) (Методические рекомендации..., 1990). Хотя различия между ними статистически достоверны ($t = 2.1$; $t_{0.05} = 2.0$), однако это категории здоровых и слабо поврежденных деревьев (Санитарные правила..., 1990). Однофакторный дисперсионный анализ подтверждает зависимость индекса повреждения от формы деревьев с разным типом апофиза ($F = 4.39$; $F_{0.05} = 3.88$).

В пределах выборки деревьев с «выпуклой» и «плоской» формой апофиза шишек уровень индивидуальной вариабельности содержания хлорофиллов и каротиноидов в однолетней хвое колеблется от среднего до высокого ($C_v = 17-33\%$). Причем у обеих форм он довольно близок, хотя и различается в разные календарные периоды. Уровни индивидуальной изменчивости концентрации свободного пролина в хвое колеблются в вегетационный сезон от среднего до очень высокого ($C_v = 17-44\%$), активности пероксидаз – от высокого до очень высокого ($C_v = 28-95\%$).

Достоверных различий (при критических значениях t -критерия) у рассматриваемых форм *P. sylvestris* (f. *gibba* – f. *plana*) по содержанию фотосинтетических пигментов, пролина и активности

пероксидаз в вегетационный период 2013 г. не наблюдалось (см. рисунок). Вместе с тем, установлены достоверные ($t > t_{0,05}$) различия в их сезонной динамике. С начала роста побегов и хвои разных форм *P. sylvestris* (III декада мая–начало июня) до его завершения (в середине июля) происходит существенное увеличение содержания хлорофиллов и уменьшение концентрации каротиноидов в однолетней хвое. В конце периода вегетации наблюдается снижение содержания хлорофиллов и повышение концентрации каротиноидов. Активность пероксидаз повышается с начала ро-



Динамика биохимических признаков *Pinus sylvestris* с различной формой апофиза семенных чешуй: А – суммарное содержание хлорофиллов (а и b), мг/г воздушно-сухой массы хвои; Б – содержание каротиноидов, мг/г воздушно-сухой массы хвои; В – активность пероксидаз, усл. ед./г воздушно-сухой массы в 1 с; Г – содержание свободного пролина, мкг/г воздушно-сухой массы хвои.

ста до его окончания, а к концу вегетационного периода стабилизируется. Содержание в однолетней хвое свободного пролина значительно уменьшается с начала роста побегов до его завершения, а осенью – резко увеличивается. Влияние сезонной изменчивости на динамику содержания хлорофиллов и каротиноидов, свободного пролина и активности пероксидаз подтверждается результатами однофакторного дисперсионного анализа. Двухфакторный дисперсионный анализ также показал достоверное влияние фактора «сезон» на содержание хлорофиллов ($F = 9.12$; $F_{0.05} = 3.08$; $p < 0.001$) и каротиноидов ($F = 43.67$; $F_{0.05} = 3.08$; $p < 0.001$), активность пероксидаз ($F = 44.12$; $F_{0.05} = 3.06$; $p < 0.001$) и содержание пролина ($F = 41.20$; $F_{0.05} = 3.08$; $p < 0.001$). Достоверное влияние фактора «форма» на изменчивость детерминируемых биохимических признаков при критических значениях F -критерия не выявлено ($F < F_{0.05}$).

Таким образом, сосна с «выпуклой» формой апофиза в возрасте 60-80 лет характеризуется более слабой поврежденностью кроны, хотя и представлена внешне неповрежденными и слабо поврежденными деревьями. Формы с различным типом апофиза семенных чешуй на избыточно увлажненных почвах существенно не различаются по содержанию хлорофиллов и каротиноидов, свободного пролина и активности пероксидаз однолетней хвои. Это указывает на сходство и общий характер биохимических процессов у морфологических форм *P. sylvestris* в стрессовых условиях. Вместе с тем, наблюдается значительная сезонная динамика этих биохимических признаков.

Исследование выполнялось в рамках конкурсного проекта Комплексной программы УрО РАН (№ 15-12-5-24).

ЛИТЕРАТУРА

Mancuso S., Shabala S. Waterlogging Signalling and Tolerance in Plants. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2010. 299 p.

Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области / Сост. В.Ф. Цветков. Архангельск: АИЛЛХ, 1990. 20 с.

Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М.: Экология, 1998. 20 с.

Судачкова Н.Е. Состояние и перспективы изучения влияния стрессов на древесные растения // Лесоведение, 1998. № 2. С. 3-9.

Тарханов С.Н. Формы внутривидовой изменчивости хвойных в условиях атмосферного загрязнения (на примере Северо-Двинского бассейна). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 229 с.

СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА МЕЛКОКОНТУРНЫХ БОЛОТ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ В КАРЕЛИИ

П.А. Игнашов

Институт биологии Карельского НЦ РАН
E-mail: paul.ignashov@gmail.com

Мелкоконтурные болота (площадью от 2 до 100 га) распространены по всей Карелии, однако остаются слабо изученными. Изучение мелкоконтурных болот Карелии позволит оценить их роль в сохранении биоразнообразия, а также внесет вклад в выполнение задачи выявления ценных и уникальных болот Карелии.

Исследования проводились в подзоне средней тайги в двух типах ландшафта: сельговом (денудационно-тектоническом грядовом) и водно-ледниковом холмисто-грядовом. В силу особенностей рельефа (сильная расчлененность и обилие впадин) в этих ландшафтах распространены мелкоконтурные болота.

Болотные массивы водно-ледникового холмисто-грядового ландшафта были исследованы на Вешкельской и Вохтозерской ледораздельных аккумулятивных возвышенностях. Рельеф возвышенностей представляет собой комплекс камовых холмов и озовых гряд, между которыми остаются котловины и ложбины, занятые озерами и болотами. Как показали наши исследования, болота имеют как озерный, так и суходольный генезис. Мощность торфяных залежей и озерных отложений достигает на некоторых из них 6-9 м.

В замкнутых котловинах (Галкина, 1959) сформировались болота олиготрофного типа. Лишь малая часть таких болот имеет выраженные грядово-мочажинные болотные участки, типичные для болот Карелии. Большинство болот находится на начальной стадии формирования комплексности. На вогнутой поверхности болота формируется характерная структура растительного покрова, описанная для камовых болот на севере Карелии (Юрковская, 1965; Елина, Юрковская, 1971). Центральную часть массива занимают топяные сообщества *Scheuchzeria palustris*–*Sphagnum majus* и *Rhynchospora alba*–*Sphagnum majus*. Из-за отсутствия стока и застоя талых вод нередко образуются участки разной степени регрессивности – от участков с угнетенными сфагновыми мхами с большой примесью печеночных мхов до участков с обнажениями торфа и черной коркой печеночников и водорослей, полным отсутствием сфагнов и редким покровом сосудистых растений (*Rhynchospora alba* (L.) Vahl, *Scheuchzeria palustris* L., *Drosera anglica* Huds.) с примесью лишайников (*Cladonia stygia* (Fr.) Ruoss,

C. arbuscula (Wallr.) Flot., *C. ragniferina* (L.) Weber ex F.H. Wigg). Единичные кочки занимают сообщества *Chamaedaphne calyculata*–*Sphagnum angustifolium*. Центральную часть окружают ковровые пушицево-сфагновые сообщества. Края массивов занимают омбротрофные кустарничково-сфагновые и сосново-кустарничково-сфагновые сообщества.

В менее распространенных проточных котловинах (Галкина, 1959) болота находятся на мезотрофных стадиях развития. Растительный покров таких массивов нередко представляет динамический ряд из нескольких полос. На ручьях развиваются мезотрофные растительные сообщества *Carex lasiocarpa*–*Menyanthes trifoliata*, *Equisetum fluviatile*–*Calla palustris*. Они характеризуются разнообразием травянистых растений (*Comarum palustre* L., *Naumburgia thyrsiflora* L., Sp. Pl., *Scutellaria galericulata* L., Sp. Pl) и редким моховым покровом. Берега ручьев занимают мезотрофные древесно-травяно-сфагновые сообщества *Betula pubescens*–*Menyanthes trifoliata*. Однако и на таких болотах окрайки и удаленные от водотоков участки заняты омбротрофными сообществами.

Болотные массивы, расположенные в сельговом ландшафте, были изучены в окрестностях с. Кончезеро Кондопожского района и на Заонежском п-ове. Сельговый ландшафт характеризуется чередованием гряд, сложенных кристаллическими породами и покрытых небольшим слоем четвертичных отложений, и узкими межсельговыми котловинами, часто занятыми озерами или болотами.

В замкнутых котловинах располагаются олиготрофные сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые болота. В центральных частях, вокруг ламб, развиваются осоково-сфагновые ковры, образующие сплавины. Окрайки болот сосново-кустарничково-сфагновые. Характерной чертой для болот сельговых ландшафтов является развитие на краях мезоевтрофных древесно-травяно-сфагновых сообществ, что связано с поступлением на окрайки делювиальных или грунтовых вод с высоким содержанием солевых элементов. В таких сообществах встречаются ольха *Alnus incana* (L.) Moench, *A. glutinosa* (L.) Gaertn., ивы *Salix cinerea* L., *S. aurita* L., травяно-кустарничковый ярус слагают папоротники *Dryopteris cristata* (L.) A. Gray, *Thelypteris palustris* Schott, *Equisetum fluviatile* L., *Calla palustris* L., Sp. Pl., *Menyanthes trifoliata* L., моховой покров образован из *Sphagnum warnstorffii* Russow, *S. centrale* C.E.O. Jensen, *S. squarosum* Crome, *Calliergon cordifolium* (Hedw.) Kindb.

На болотах проточных и сточных котловин окрайки заняты мезотрофными и мезоевтрофными древесно-травяно-сфагновыми сообществами. Велико разнообразие евтрофных сообществ – это и облесенные березово-осоково-сфагновые, и ковровые травяные, и осоковые сообщества со сфагновыми (*Sphagnum warnstorffii* Rus-sow, *S. teres* Engström in C.J. Hartman) и гипновыми мхами. Пространства вдоль протекающих через болота ручьев и проточных топей заняты евтрофными тростниково-гипновыми сообществами с участием *Carex flava* L., *Carex diandra* Schrank, *Trichophorum alpinum* (L.) Pers., *Menyanthes trifoliata* L. и мхов *Scorpidium revolvens* Sw. Rubers, *Calliergonella cuspidate* (Hedw.) Loeske, *Campylium stellatum* (Hedw.) С.Е.О. Jensen.

Разнообразие и структура растительного покрова мелкоконтурных болот зависит от условий водно-минерального питания. В условиях замкнутых котловин наблюдается микропоясность от топяного центра к облесенным окрайкам. На болотах проточных котловин поясность выражается в смене растительных сообществ в удалении от проточной топи или ручья.

ЛИТЕРАТУРА

Галкина Е.А. Болотные ландшафты Карелии и принципы их классификации // Труды Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1959. Вып. 15. С. 3-48.

Елина Г.А., Юрковская Т.К. Растительность и стратиграфия болотных массивов в камовом рельефе у Луусальмы // Очерки по растительному покрову Карельской АССР. Петрозаводск: Карелия, 1971. С. 95-102.

Юрковская Т.К. О болотных массивах камовых ландшафтов северной Карелии // Научная конференция Института биологии, посвященная 25-летию Петрозаводского государственного университета им. О.В. Куусинена: Тез. докл. Петрозаводск, 1965. С. 144-145.

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ ЛИШАЙНИКОВ *POPULUS MAXIMOWICZII* A. HENRI В ГОРОДЕ ЮЖНО-САХАЛИНСК И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

В.В. Каганов¹, А.К. Ежкин²

¹ Институт естественных наук и техносферной безопасности СахГУ

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

E-mail: vladimirkaganov@mail.ru; ezhkin@yandex.ru

Тополь Максимовича (*Populus maximowiczii* A. Henri) доминирует в посадках г. Южно-Сахалинск, а также в парковой и лесопарковой зоне в окрестностях города, что дает хорошую возможность для проведения мониторинга лишайников по одному фо-

рофиту. Всего было заложено 25 площадок, на которых зарегистрирован 61 вид лишайников, растущих на тополе. Для идентификации лишайников использовали стандартную методику (Оксер, 1974). Жизненные формы указаны согласно биоморфологической классификации лишайников, разработанной Н.С. Голубковой (1983). Чувствительность видов лишайников оценивали по литературным данным (Ежкин, Галанина, 2016).

Цель исследования – оценка видовой структуры эпифитных лишайников, обитающих на *Populus maximowiczii*.

В задачи исследования входило изучение видового состава, анализ жизненных форм и групп чувствительности видов лишайников в разных условиях антропогенной нагрузки на территории г. Южно-Сахалинск и в его окрестностях. Такие подробные исследования лишайников, обитающих на коре *Populus maximowiczii*, в г. Южно-Сахалинск и его окрестностях проводятся впервые.

По результатам исследования выявленные виды лишайников относятся к девяти порядкам, 16 семействам и 30 родам. Большинство видов принадлежит к порядку *Teloschistales* D. Hawksw. (20 видов; 33%), второе место занимает порядок *Lecanorales* Nannf. (16 видов; 26%), следующие по численности *Peltigerales* Walt. (девять видов; 15%) и *Caliciales* Bessey (7 видов; 11%). В остальные порядки отнесено по одному-два вида. В видовом составе лишайников зарегистрировано пять жизненных форм. Наибольшее количество видов лишайников принадлежит к группе листоватых лопастных ризоидальных (32 вида; 52%). На втором месте находится группа накипных плотно-корковых (22 вида; 36%). Однообразно-корковые лепрозные занимают третье место (четыре вида; 7%). Остальные жизненные формы включают один-три вида. На коре *Populus maximowiczii* было выявлено четыре группы чувствительности видов лишайников в трех зонах антропогенной нагрузки – зона 1 (городская), зона 2 (парковая) и зона 3 (лесопарковая). Для всей исследуемой территории на тополе Максимовича были выявлены следующие группы чувствительности – средне-чувствительные (20 видов), умерено-толерантные (15 видов), чувствительные (12), толерантные (четыре вида).

В городской зоне было выявлено 20 видов лишайников, принадлежащие к трем порядкам, пяти семействам и восьми родам. Большинство видов принадлежит к порядку *Teloschistales* D. Hawksw. (13 видов; 65%), второе место по количеству видов занимает порядок *Lecanorales* Nannf. (шесть видов; 30%). К ведущим семействам по числу видов относятся *Physciaceae* Zahlbr. (10 видов; 50%), *Parmeliaceae* Zenker (четыре вида; 20%). Доминирующими родами являются *Physcia* (Schreb.) Michx (семь видов; 35%), *Pha-*

eophyscia Moberg и *Parmelia* Ach. (по три вида; 15%). В городской зоне было выявлено три жизненные формы. Наибольшее количество видов лишайников принадлежит к группе листоватых лишайников лопастных ризоидальных (ЛЛР) и составляет 16 видов. Второе место по количеству видов принадлежит группе накипных плотно-корковых (ОКпк) (три вида). К третьей группе – однообразно-корковой лепрозной (ОКЛ) – принадлежит всего один вид. В ходе анализа в городской зоне было выявлено три группы чувствительности: умеренно-толерантная (УТ), толерантная (Т) и средней чувствительности (СЧ). Доминирующее положение занимает группа умеренно-толерантных видов (13). Остальные две группы имеют по три-четыре вида.

В парковой зоне было зарегистрировано 25 видов. Выявленные виды относятся к шести порядкам, девяти семействам и 14 родам. Количество видов в данной зоне увеличилось на пять – к ним добавились виды родов *Arthonia* Ach., *Biatora* Ach., *Buella* De Not., *Lepraria* Ach., *Graphis* Adans. и *Ramalina* Ach. К списку семейств в парковой зоне добавились четыре семейства: *Arthoniaceae* Rchb., *Graphidaceae* Dumort., *Ramalinaceae* C. Agardh., *Stereocaulaceae* Chevall. В парковой зоне было зарегистрировано пять жизненных форм лишайников. К уже известным группам в городской зоне добавились группы однообразно-корковых бластидиозных (ОКБ) и прямостоячих дернисто-кустистых псевдомфовых (КПДКпг). Толерантные и умеренно-толерантные виды уменьшили свои показатели в этой зоне. Число средне-чувствительных (СЧ) лишайников увеличилось в три раза.

Видовой состав лишайников лесопарковой зоны гораздо богаче по сравнению с другими зонами. По количеству видов данная зона в два раза превышает парковую зону и содержит 54 вида – 88.5% от общего числа зарегистрированных в трех зонах (61 вид). Выявленные виды относятся к девяти порядкам, 16 семействам и 27 родам. Добавились виды родов *Bacidia* De Not., *Biatora* Ach., *Peltigera* Willd., *Lobaria* (Schreb.) Hoffm. и др. К списку семейств в лесопарковой зоне добавились *Opegraphaceae* Stizenb., *Peltigeraceae* Dumort, *Mycoblastaceae* Hafellner, *Collemataceae* Zenker. и др. В лесопарковой зоне увеличивается количество видов определенных жизненных форм. Например, количество видов, принадлежащих к накипным плотно-корковым (ОКпк), увеличивается в три раза (21 видов; 39%), листоватым лопастным ризоидальным (ЛЛР) – почти в два раза (27 видов; 50%). В лесопарковой зоне количество чувствительных (Ч) видов увеличилось в шесть раз (12 видов; 22%).

По результатам исследования было выявлено, что с изменением уровня антропогенной нагрузки меняется видовой состав лишайников: в городской зоне было зарегистрировано 20 видов, парковой – 25, лесопарковой – 54. С изменением антропогенной нагрузки меняется спектр жизненных форм и соотношение групп чувствительности. Во всех исследуемых зонах – городской, парковой и лесопарковой – отмечается характерный набор ведущих родов, семейств и порядков, что дает возможность выделить особые группы чувствительности лишайников.

Авторы выражают благодарности профессору, д.б.н. В.Н. Ефанову и доценту, к.б.н. О.Ж. Цырендоржиевой за критические замечания, советы и поддержку, а также старшему преподавателю И.А. Фелеловой за рекомендации и советы.

ЛИТЕРАТУРА

Голубкова Н.С. Анализ флоры лишайников Монголии / Отв. ред. И.И. Абрамов. Л., 1983. 248 с.

Ежкин А.К., Галанина И.А. Эпифитные лишайники лиственных деревьев города Южно-Сахалинск и особенности их распределения по степени чувствительности к антропогенному воздействию // Вестник Северо-Восточного НЦ ДВО РАН, 2016. № 4. С. 95-107.

Окснер А.Н. Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Наука, 1974. 284 с.

ПЕРВЫЕ СООБЩЕНИЯ О МУЧНИСТОРОСЯНЫХ ГРИБАХ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Е.Д. Карелина

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

Мучнисторосяные, или эризифовые грибы представляют собой монофилетичную группу (порядок *Erysiphales*, класс *Leotiomycetes*, подотдел *Pezizomycotina*, отдел *Ascomycota*) облигатных паразитов сосудистых растений. Они вызывают заболевание, называемое «мучнистой росой». Внешне поражение обычно легко обнаруживается по белому налету на листьях, стеблях и других органах растений. Этот налет образован мицелием и расположенными на нем конидиеносцами с конидиями, представляющими собой бесполое stadium в жизненном цикле данной группы грибов. Пристальное внимание к этому заболеванию связано с его большим практическим значением. Мучнисторосяные грибы могут вызы-

вать заболевания и гибель декоративных растений в ботанических садах и оранжереях, снижение урожайности на полях с пищевыми и кормовыми культурами, а также порчу винограда и других хозяйственно значимых видов. Работ по изучению развития мучнистой росы в городских условиях проводилось не так много, тем не менее, такие работы представляют большой интерес, так как условия произрастания растений в городах значительно отличаются от природных. Имеются данные о разнообразии мучнисторосяных грибов в таких крупных городах России, как Санкт-Петербург (Тобиас, Тихомирова, 1998), Новосибирск (Томошевич, 2009), Москва (Головина, 2016), Воронеж (Мелькумов, 2014), Ростов-на-Дону (Русанов, Булгаков, 2008), но подобного рода исследования на территории г. Екатеринбурга не проводились.

Сбор пораженных мучнистой росой растений с их последующей гербаризацией проводился на территории г. Екатеринбурга с 27 июля по 14 августа 2016 г. преимущественно на территории Верх-Исетского района. Идентификацию патогенов проводили по гербарному материалу в лабораторных условиях по монографии Уве Брауна и Роберта Кука (Braun, Cook, 2012).

Мучнистая роса была обнаружена на 34 видах растений из 19 семейств. Всего было выявлено 28 видов эризифовых грибов, относящихся к пяти родам: *Erysiphe* (13 видов), *Golovinomyces* (7), *Podospaera* (6), *Sawadaea* (1), *Blumeria* (1). 36 образцов передано в фитопатологический гербарий кафедры микологии и альгологии МГУ им. М.В. Ломоносова. 17 видов находились в половой стадии жизненного цикла, 10 – в бесполой. На гербарном образце дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) был обнаружен только мицелий, конидии и плодовые тела отсутствовали, однако патоген можно идентифицировать как *Erysiphe alphitoides* (Griffon et Maubl.) U. Braun et S. Takam., так как другие виды с подобной симптоматикой на дубе не известны. Такая же ситуация наблюдалась и на образце тополя (*Populus nigra* L.), но в данном случае определить патоген оказалось невозможно, так как на тополе известно несколько видов мучнисторосяных грибов: *Erysiphe adunca* (Wallr.) Fr., *E. populicola* U. Braun и *Phyllactinia populi* (Jacz.) Y.N. Yu. Согласно литературным данным, в Москве (Головина, 2016) и Новосибирске (Томошевич, 2009) на тополях развивается вид *E. adunca*, и есть основание полагать, что он поражает деревья тополя и в Екатеринбурге, но подтверждение или опровержение этого факта требует уточнения.

Далее приведен список обнаруженных видов. Названия таксонов грибов приведены в соответствии с монографией Уве Брауна (Braun, Cook, 2012), таксонов растений – по базе Плантариум, «тел.» – вид обнаружен в телеоморфе, «ан.» – в анаморфе.

1. *Blumeria graminis* (DC.) Speer на *Poaceae*. (ан.); 2. *Erysiphe alphitoides* (Griffon et Maubl.) U. Braun et S. Takam. на *Quercus robur*; 3. *E. aquilegiae* DC. на *Aquilegia* sp. (тел.); 4. *E. berberidis* DC. на *Berberis vulgaris* (тел.); 5. *E. capreae* DC. на *Salix* sp. (тел.); 6. *E. convolvuli* DC. на *Convolvulus arvensis* (ан.); 7. *E. heraclei* DC. на *Anthriscus sylvestris* (ан.); 8. *E. ornata* (U. Braun) U. Braun et S. Takam. на *Betula* sp. (тел.); 9. *E. palczewskii* (Jacz.) U. Braun et S. Takam. на *Caragana arborescens* (тел.); 10. *E. pisi* DC. на *Melilotus albus* (тел.); 11. *E. polygoni* DC. на *Polygonum aviculare* (тел.) и *Rumex* sp. (тел.); 12. *E. syringae-japonicae* (U. Braun) U. Braun et S. Takam. на *Syringa* sp. (тел.); 13. *E. urticae* (Wallr.) S. Blumer. на *Urtica dioica* (тел.); 14. *E. vanbruntiana* (W.R. Gerard) U. Braun et S. Takam. на *Sambucus racemosa* (тел.); 15. *Golovinomyces artemisiae* (Grev.) V.P. Heluta. на *Artemisia vulgaris* (тел.); 16. *G. asterum* (Schwein.) U. Braun. на *Aster alpinus* (ан.); 17. *G. biocellatus* (Ehrenb.) V.P. Heluta. на *Mentha* sp. (ан.); 18. *G. cynoglossi* (Wallr.) V.P. Heluta. на *Borago officinalis* (ан.); 19. *G. depressus* (Wallr.) V.P. Heluta. на *Arctium tomentosum* Mill. (тел.); 20. *G. sonchicola* U. Braun et R.T.A. Cook. на *Sonchus arvensis* (тел.); 21. *G. sordidus* (L. Junell) V.P. Heluta. на *Plantago major* (тел.); 22. *Podosphaera aphanis* (Wallr.) U. Braun et S. Takam. на *Potentilla* sp. (ан.), *Geum urbanum* (ан.) и *Alchemilla* sp. (ан.); 23. *P. clandestine* (Wallr.) Lév. на *Crataegus* sp. (тел.); 24. *P. erigerontis-canadensis* (Lév.) U. Braun et T.Z. Liu. на *Matricaria chamomilla* (тел.) и *Taraxacum officinale* (тел.); 25. *P. xanthii* (Castagne) U. Braun et Shishkoff. на *Calendula* sp. (ан.); 26. *P. pannosa* (Wallr.) de Bary. на *Rosa* sp. (ан.); 27. *P. tridactyla* (Wallr.) de Bary. на *Prunus* cf. *padus* (тел.); 28. *Sawadaea tulasnei* (Fuckel) Homma. на *Acer negundo* (ан.) и *A. tataricum* (ан.).

При микроскопировании некоторых образцов было обнаружено поражение плодовых тел и конидиеносцев микопаразитными грибами рода *Ampelomyces*. Это проявлялось в виде выхода довольно мелких конидий из плодового тела при его вскрытии или же гиперпаразит образовывал пикниды в конидиеносцах мучнисторосяных. Всего поражение было отмечено на шести видах эризофитовых: *Erysiphe berberidis*, *E. heraclei*, *E. vanbruntiana*, *Golovinomyces asterum*, *G. biocellatus* и *Podosphaera aphanis*.

ЛИТЕРАТУРА

Головина Е.Д. Развитие мучнисторосяных грибов в городских условиях // XXIII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых ЛОМОНОСОВ. Секция «Биология». М., 2016. С. 222.

Мелькумов Г.М. Вредоносные болезни древесного компонента паркоценозов города Воронежа // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича, 2014. Вып. 12. С. 425-428.

Плантариум [Электронный ресурс]: Определитель растений on-line / Открытый атлас сосудистых растений России и сопредельных стран. URL: <http://www.plantarium.ru/> (дата обращения 01.03.2016).

Русанов В.А., Булгаков Т.С. Мучнисторосяные грибы Ростовской области // Микология и фитопатология, 2008. Т. 42. Вып. 4. С. 314-322.

Тобиас А.В., Тихомирова И.Н. Мучнисторосяные грибы в условиях Санкт-Петербурга // Микология и фитопатология, 1998. Т. 32. № 2. С. 45.

Томошевич М.А. Патогенная микобиота древесных растений зеленых насаждений города Новосибирска // Сибирский экологический журнал, 2009. Вып. 4. С. 615-621.

Braun U., Cook R.T.A. Taxonomic Manual of the Erysiphales (Powdery Mildews). The Netherlands, Utrecht: CBS-KNAW, Fungal Biodiversity Centre, 2012. 707 p.

РОЛЬ БОЛОТ В СЛОЖЕНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ФЛОРЫ (НА ПРИМЕРЕ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

А.В. Леострин

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН

E-mail: ALeostrin@binran.ru

На примере Костромской области (КО) в работе рассматривается один из компонентов региональной южнотаежной флоры сосудистых растений – ценотическая флора болот. Согласно болотному районированию (Боч, Мазинг, 1979), территория КО относится к Восточноевропейской провинции зоны верховых сосново-сфагновых и низинных травяных болот. На ее территории представлены верховые, переходные и низинные болота. Заболоченность региона составляет около 2% (Торфяной фонд..., 1947).

Материалом для работы послужили флористические исследования, проводившиеся в 2011-2016 гг. в западной части региона (всего обследовано около 30 болотных массивов), а также материалы гербарных фондов (LE и MW) и немногочисленные ранние работы по данной теме. На основе всех доступных данных мы предполагаем, что флора болот (объединенная парциальная флора, ОПФ) региона включает не менее 193 видов (далее в работе рассматриваются 167 видов, остальные исключены из-за отсутствия достаточных для анализа сведений об их участии в болотных сообществах). Данные о составе ОПФ болот КО стоит считать предварительными.

Основываясь на результатах маршрутных флористических исследований, каждый вид был условно отнесен к определенной категории «верности» болотным сообществам (табл. 1). При этом ви-

ды четвертой и третьей категорий мы относим к «ядру» ОПФ болот. Таким образом, ОПФ болот составляет не менее 20% от аборигенной флоры региона (Маевский, 2014), а ее «ядро» – не менее 8%, что несколько ниже, чем на болотах северо-запада России (Боч, Смагин, 1993) и Карелии (Кузнецов, 2006).

Распределение видового богатства ОПФ болот КО и ее «ядра» по типам болотных массивов представлено в табл. 2. В обоих случаях количественно и в отношении к общему составу ОПФ преобладают виды низинных болот. Переходные и верховые болота характеризуются заметно меньшим числом видов. При этом количественное соотношение числа видов «ядра» и ОПФ для флоры верховых болот близко к единице, тогда как для низинных и переходных – около 0.5.

Соотношения числа видов по трем типам болот (низинные, переходные, верховые) также различны: для ОПФ – 7.9:4:1, для «ядра» ОПФ – 3.6:2.3:1.

Флора верховых болот по сравнению с другими типами болот характеризуется наименьшим числом видов, постоянством их состава и незначительным присутствием факультативных (случайных) видов. В данном случае объем ОПФ практически совпадает с объемом «ядра» флоры. Ни один вид сосудистых растений не дифференцирует флору верховых болот (признак «наличие/отсутствие» вида) от флор других типов болот, т.е. она полностью в них включена.

Таблица 1

Распределение видов ОПФ болот Костромской области по категориям верности

Категория верности	Число видов	Доля от ОПФ (%)
4 – облигатные виды	51	30.5
3 – преимущественно болотные виды	19	11.4
2 – преимущественно не болотные виды	82	49.1
1 – случайные виды	15	9.0
Всего видов	167	100

Таблица 2

Видовое богатство ОПФ болот Костромской области по типам болот

Тип болот	ОПФ	Ядро	Ядро/ОПФ
Олиготрофный	18/10.8*	17/24.3*	0.94**
Мезотрофный	72/43.1	39/55.7	0.54
Евтрофный	142/85.0	61/87.1	0.43
Общее число видов	167/100	70/100	0.42

* Видовое богатство в процентах от общего состава ОПФ болот и ее «ядра».

** Отношение числа видов в «ядре» к общему числу видов для отдельного типа болот.

Флора переходных болот заметно отличается как от флоры верховых, так и от флоры низинных болот. Объем ее факультативной части сопоставим с объемом ее «ядра». Из его состава можно условно выделить несколько дифференциальных видов, например, *Eriophorum angustifolium* Honck.

На низинных болотах произрастает около 85% видов всей ОПФ болот региона, при этом 40% от ее состава входит в «ядро» флоры. Таким образом, для этой флоры характерно наибольшее число факультативных видов, которые составляют заметную часть видового богатства низинных болот. Кроме того, флора низинных болот обладает наибольшим числом дифференциальных видов (не менее 30 в ее «ядре»). По видовому богатству низинные болота приближаются к растительным сообществам минеральных грунтов (леса, луга).

Только 10 видов являются общими для всех трех типов болот, т.е. являются наиболее пластичными относительно условий произрастания (некоторые из них обычно играют заметную роль в сообществах: *Pinus sylvestris* L., *Carex lasiocarpa* Ehrh., *Eriophorum vaginatum* L., *Oxycoccus palustris* L.).

Таксономический спектр ОПФ болот четко смещен в сторону нескольких крупных семейств: *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Orhidaceae*, *Ericaceae*, *Rosaceae*, *Salicaceae*, что отличает его от спектра крупных семейств региональной флоры в целом. Представители ряда семейств и родов (*Droseraceae*, *Scheuchzeriaceae*, *Saxifraga*, некоторые *Ericaceae*) в КО являются исключительно болотными растениями, т.е. именно болота вносят это разнообразие в состав региональной флоры (всего не менее 50 видов, или около 6% от объема местной флоры).

В целом ОПФ болот отражает спектр географических элементов аборигенной флоры КО, но характеризуется более высоким содержанием бореальных видов и меньшим – бореально-неморальных и неморально-лесостепных. При этом доля разных геоэлементов в ОПФ и ее «ядре» заметно не различаются. Помимо этого в ОПФ болот присутствуют и редкие географических элементы – виды, произрастающие на границе ареала (в основном это редкие северные виды). Представители некоторых геоэлементов в КО связаны исключительно с болотами (*Salix lapponum* L., *Betula nana* L.).

Болота мало подвержены проникновению инвазионных видов, однако в средней России уже отмечен ряд адвентов (Виноградова и др., 2009; Гришуткин, Варгот, 2016), проникающих на болота, в том числе ненарушенные. В КО адвентивные виды были отмечены только на участках, в той или иной мере нарушенных деятельностью человека. Нетривиальные примеры адвентивных видов на

болотах региона отмечены на клюквенных плантациях (Макеева и др., 2010) и в месте прежней соледобычи на низинном болоте (Леострин, Ефимова, неопубл.).

Будучи довольно редким типом сообществ в КО, болота (в основном низинные) являются местообитанием для целого ряда редких в регионе видов. Всего на болотах области был отмечен 51 вид из региональной Красной книги (и девять рекомендованных для включения в нее видов), а также четыре вида, включенных в Красную книгу РФ. 29 охраняемых в регионе видов входят в «ядро» болотной флоры.

ЛИТЕРАТУРА

Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 188 с.

Боч М.С., Смагин В.А. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны. СПб., 1993. Вып. 7. 225 с.

Гришуткин О.Г., Варгот Е.В. Находки инвазионных видов сосудистых растений на болотах лесостепи // Тр. Мордовского гос. природного заповедника им. П.Г. Сидовича. Саранск, 2016. Вып. 17. С. 64-67.

Кузнецов О.Л. Структура и динамика растительного покрова болотных экосистем Карелии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 53 с.

Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.

Макеева Г.Ю., Бобров А.А., Голубева М.А. Находка *Scirpus cyperinus* (Cyperaceae) в Костромской области // Бот. журн., 2010, Т. 95, № 1. С. 96-100.

Торфяной фонд РСФСР: Костромская область. М., 1947. 185 с.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДОРОСЛЯХ (ИСКЛЮЧАЯ VASCILLARIOPHYTA) ГОРНЫХ ОЗЕР ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРЫ ХАЛЬМЕРСАЛЕ (БАССЕЙН РЕКИ ЩУГОР, СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

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

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: alena-makarova-97@inbox.ru; irina.sterlyagova@rambler.ru

В экосистемах горных озер водоросли играют большую роль как одни из основных продуцентов. Кроме того, они являются индикатором состояния среды. Район исследования расположен на территории природного национального парка «Югыд ва», охраняемого государством, поэтому практически не испытывает антропогенного воздействия. Эта область является труднодоступной, име-

ет суровый климат, горный рельеф, в связи с чем является слабо изученной в альгологическом отношении (Флоры..., 2016).

Целью работы было изучение разнообразия водорослей (исключая *Vacillariophyta*) в разных сообществах четырех горных озер Северного Урала в окрестностях горы Хальмерсале, ранее не исследованных в альгологическом отношении. В задачи входило определение видового состава водорослей озер, проведение таксономического и эколого-географического анализа.

Исследуемые озера расположены в окрестностях горы Хальмерсале. Данные водоемы имеют ледниковое происхождение. Озера № 1 и 2 (названия условные) проточные, соединяются узким протоком и находятся на высотах 670 и 650 м над ур.м. Озера № 3 и 4 являются бессточными, расположены на высотах 632 и 833 м над ур.м. соответственно.

По берегам озера № 1 макрофиты образуют узкую кайму, в озерах № 2 и 3 они практически отсутствуют, в четвертом озере отсутствуют полностью. Средняя глубина озер № 1 и 2 достигает 2 м, озер № 3 и 4 – до 1 м. Из исследуемых водоемов самым теплым является озеро № 3 (21.6 °С), а самым холодным – № 2 (13.8 °С). Водоемы № 1, 2 и 3 имеют голубовато-зеленый цвет воды, в озере № 4 вода имеет цвет медного купороса. Химический состав вод данных водоемов формируется под влиянием таяния снежного покрова, что определяет их низкую минерализацию. Вода во всех озерах по преобладающим ионам является гидрокарбонатно-кальциевой. Цветность изменяется от 11 до 30°. Кислотность воды озер колеблется в пределах от 6.1 до 7.02. Электропроводность имеет значения от 8 до 13.5 мкСм/см. Водоросли собирали по общепринятой методике (Методика..., 1975; Руководство..., 1983). Виды идентифицировали в пробах, фиксированных 4%-ным формальдегидом, и в живых пробах.

В исследуемых озерах обнаружен 61 вид водорослей, принадлежащих к пяти отделам, восьми классам, 16 порядкам, 23 семействам и 29 родам. При исследовании проб часто отмечали наличие диатомовых водорослей, но их идентификация в задачи настоящего исследования не входила.

Лидирующими по числу видов являются отделы *Streptophyta* (30 видов, или 49.2%), *Chlorophyta* (14 видов, или 23%), *Cyanoprokaryota* (10 видов, или 16.4%). В третьем озере цианопрокариоты выходят на второе место в связи с тем, что водоем № 3 является непроточным и более теплым. Водоросли других отделов *Dinophyta*, *Ochrophyta* представлены лишь семью таксонами (в сумме оставляют 11.5%). Среди семейств преобладающими являются *Desmidiaceae* (41%), *Scenedesmeceae* (8%), *Tribone-*

mataceae (4%). Маловидовые семейства составляют 44%. Лидирующими видами среди родов являются *Cosmarium* (21%), *Staurastrum* (10%), *Scenedesmus* (8%), *Tribonema* (7%). Маловидовые роды составляют 56%, что характерно для северных горных водоемов (Ярушина, 2004).

Уровень сходства видового состава водорослей в обследованных озерах определяли с помощью коэффициента Сьеренсена-Чекановского (Ks). Наиболее сходными оказались озера № 1 и 2 (коэффициент сходства – 33%), имеющие одинаковые экологические условия и образующие единую систему за счет соединяющего их ручья.

Согласно географическому анализу большинство найденных водорослей, для которых известна данная характеристика, являются космополитами (27.4% от всех обнаруженных видов), что характерно для большинства водоемов умеренной зоны (Гецен и др., 1994), второе место занимают бореальные таксоны (3.2%), меньше всего было найдено голарктических видов (1.6%). Экологический анализ показал, что большинство таксонов, для которых известна характеристика, являются планктонно-бентосными 24.6%. Виды, развивающиеся как планктонные, составляют 13.1%, а бентосные – 6.6%, эпифитных видов – 1.6%. По отношению к рН для большинства выявленных видов характеристика неизвестна (95.1%). Отмечены два вида-индифферента – *Cosmarium subprotumidum* Nordstedt и *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz. и один вид-ацидофил – *Tribonema viride* Pascher. По отношению к содержанию солей 12 таксонов (19.7%) – индифференты. Галофилы и галофобы представлены тремя таксонами (в сумме составляет 6.6%). Виды с неясной галобной характеристикой – 45 (73.8%).

Анализ видового состава по показателю сапробности выявил, что индикаторы чистых вод составляют 11%, индикаторы загрязнения – 5%, толерантные – 21%, видов, для которых данные по этому показателю отсутствуют – 62%.

С высокой частотой встречаемости (50% и более) отмечены *Tribonema viride*, *Scenedesmus obliquus*, *Monoraphidium tortile* (West & G.S. West) Komarkova-Legnerova, *Cylindrocystis brebissonii* (Ralfs) De Bary, *Cosmarium phaseolus* Bréb., *C. subcrenatum* Hantzsch, *C. undulatum* Corda.

В исследуемых озерах с наибольшим обилием отмечены два вида: *Tribonema vulgare* (шесть – в массе, более 50 индивидов в ряду препарата) и *Cylindrocystis brebissonii* (четыре – часто, 11-25 индивидов в одном ряду препарата). Остальные таксоны встречаются единично (1 балл, менее 10 индивидов в препарате).

Таким образом, выявленное распределение водорослей по разнообразию и экологическим характеристикам в целом является типичным для северных олиготрофных водоемов.

Исследования выполнены в лаборатории геоботаники и сравнительной флористики Института биологии Коми НЦ УрО РАН в рамках государственной темы: АААА-А16-116021010241-9 «Структурно-функциональная организация растительных сообществ, разнообразие флоры, лишено- и микобиоты южной части национального парка «Югыд ва» и частично при поддержке гранта РФФИ: № 16-34-00080 мол_а «Структурная организация альгокомплексов разнотипных водоемов западного макросклона Приполярного Урала с учетом высотного градиента».

ЛИТЕРАТУРА

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

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Гл. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 239 с.

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

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

Ярушина М.И. Водоросли // Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. С. 18-56.

СТРОЕНИЕ ПОБЕГОВЫХ СИСТЕМ *ELEOCHARIS PALUSTRIS* (L.) R. BR. С ПОЗИЦИИ МОДУЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Е.А. Михайлова, Н.П. Савиных

Вятский государственный университет

E-mail: biomikhaylova@gmail.com; savva_09@mail.ru

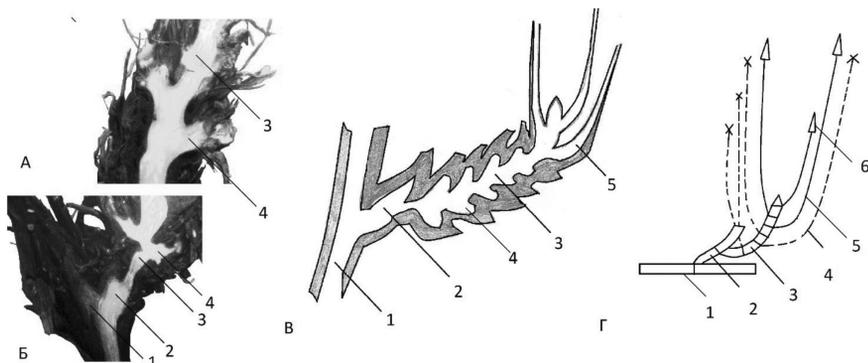
Выделение в структуре побега повторяющихся элементов – модулей – позволяет систематизировать данные о морфологии побеговых систем и выявить пути адаптации растений к условиям произрастания, таким как переменное обводнение. Объектом нашего исследования стала болотница болотная (*Eleocharis palustris* (L.) R. Br.) – типичный для средней полосы России прибрежно-болотный вид, повсеместно встречающийся в Кировской области (Тарасова, 2007).

Ранее нами было показано, что одно- и двухлетние побеговые системы образованы 11 элементарными и двумя универсальными

модулями: удлиненным или полурозеточным геофильным побегом n -го порядка и моноциклическими вегетативно-генеративными побегами $n+1$ -го порядка с редуцированными листьями и верхушечными соцветиями (Савиных, Михайлова, 2016). Основной слагающий элемент побеговой системы (парциальный куст) развивается на основе побегов, формирующихся из почек геофильного побега. Изучение этой структуры стало целью нашего исследования.

Материалом для изучения послужили побеговые системы, собранные в сентябре 2016 г. в окрестностях пос. Зониха Слободского района Кировской области на ежегодно затопляемом участке искусственного водоема. Растения собраны на глубине 50-80 см от поверхности воды. Проективное покрытие *E. palustris* – 30-40%, также присутствовали побеги горца земноводного (менее 5%).

Парциальный куст развивается на базе полурозеточного ортотропного вегетативно-генеративного побега: сначала в узлах плагиотропного побега формируются полурозеточные ортотропные побеги, затем из пазушной почки первого, реже первых двух чешуевидных листьев развиваются розеточные побеги следующего порядка ветвления. Из пазушных почек укороченной оси развивается от трех-четырёх до нескольких десятков ортотропных побегов. Нарастание описанной структуры – моноподиальное (см. рисунок). Таким образом, формирование осей парциальных образований у *E. palustris* происходит согласно моноподиальной розеточной модели побегообразования в понимании Т.И. Серебряковой (1977).



Продольный срез оси парциального образования *E. palustris*: А, Б – фотография среза при увеличении $\times 10$; В – рисунок, Г – схема; 1 – плагиотропный побег n -го порядка, 2 – основание отмершего ортотропного побега $n+1$ -го порядка; 3 – укороченный плагиотропный побег $n+2$ -го порядка; 4 – основания отмерших ортотропных побегов $n+3$ -го порядка; 5 – ортотропные побеги $n+3$ -го порядка.

При отмирании надземной части ортотропных побегов осенью их основание входит в состав оси, непрерывно нарастающей несколько лет. Остатки отмерших побегов (придаточные корни, листья и почки) образуют своеобразный «чехол», который вместе с коровой частью стебля розеточных побегов выполняет защитную и термоизоляционную функции. Почки, расположенные в основании боковых побегов, иногда трогаются в рост, обеспечивая ветвление оси. Обычно парциальные образования *E. palustris* ветвятся до второго-третьего порядка. С возрастом порядок ветвления в парциальном кусте увеличивается. Многолетние участки побеговой системы полностью или частично утрачивают связь между собой в результате морфологической дезинтеграции.

В результате описанных процессов формируются парциальные образования различного строения: ортотропный вегетативный или вегетативно-генеративный побег с моноподиально нарастающей розеточной осью; розеточный моноподиально нарастающий побег с многочисленными ортотропными побегами в пазухах чешуевидных листьев; побеговая система из розеточного побега с отмершей апикальной меристемой и одного-двух таких же побегов замещения в виде моно- или дихазия; ветвящаяся моноподиально нарастающая укороченная ось; полурозеточный плагиотропный побег с боковыми ортотропными вегетативными или вегетативно-генеративными побегами. В условиях затенения (например, при погребении под слоем ила или обострении внутривидовой конкуренции) у такого побега на апексе формируются длинные междоузлия. В результате образуется полурозеточный побег, дающий начало новому плагиотропному участку. Подобные описанным удлиненные или полурозеточные побеги могут формироваться при итеративном ветвлении из пазушных почек в основании ортотропных побегов.

Таким образом, в структуре основного модуля *E. palustris* последовательно сменяют друг друга специализированные структуры: плагиотропные вегетативные побеги (удлиненные и полурозеточные – выполняющие функцию расселения, или розеточные – в составе парциальных образований, обеспечивающие заполнение пространства) и ортотропные вегетативно-генеративные побеги, выполняющие функцию ассимиляции. Модель побегообразования, характерная для *E. palustris* – моноподиальная со специализированными вегетативно-генеративными побегами, проявляется в трех вариантах: моноподиальная длиннопобеговая, полурозеточная и розеточная. Структура побеговых систем *E. palustris* отличается большой пластичностью, что связано с широкой экологической амплитудой исследуемого вида и переменными условия-

ми местообитания (периодическое пересыхание и затопление, отложения ила, песка). Выраженное итеративное ветвление, а также обособление парциальных образований в результате морфологической дезинтеграции обеспечивают высокую вегетативную подвижность и закрепление *E. palustris* на занятой территории.

ЛИТЕРАТУРА

Савиных Н.П., Михайлова Е.А. О побегообразовании и жизненной форме *Eleocharis palustris* (L.) R.Br. / Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Матер. XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2016. Кн. 2. С. 97-102.

Серебрякова Т.И. Об основных «архитектурных моделях» травянистых многолетников и модусах их преобразования / Бюлл. МОИП. Отд. биол., 1977. Т. 82. № 5. С. 112-128.

Тарасова Е.М. Флора Вятского края. Ч. 1. Сосудистые растения. Киров, 2007. 440 с.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВОДОРΟΣЛЯХ ГОРНОГО РУЧЬЯ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРЫ ХАЛЬМЕРСАЛЕ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ, НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ЮГЫД ВА»)

Д.А. Постельный¹, Ю.Н. Шабалина¹, И.Н. Стерлягова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: ra.ko@inbox.ru; irina.sterlyagova@rambler.ru

Водоросли – это один из основных компонентов экосистем горных водотоков (Шубина, 1986; Стенина, 2004). Они являются индикаторами состояния среды, поэтому их изучение позволяет сформировать понятие не только о биологическом разнообразии, но и об экологическом состоянии окружающей среды.

Гора Хальмерсале (Северный Урал) расположена на территории национального парка «Югид ва», входящего в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. На настоящий момент эта территория практически не испытывает антропогенного воздействия. Горные ручьи бассейна р. Щугор не изучены в альгологическом отношении (Шубина, 1986). Целью работы было получение первых данных о биологическом разнообразии водорослей горного ручья, расположенного в окрестностях горы Хальмерсале. В задачи входило выявление видového состава водорослей, проведение таксономического и эколого-географического анализа, выявление доминирующих комплексов и редких видов, на основе альгоиндикации – оценка состояния исследуемого водного объекта.

Исследуемый ручей соединяет два горных озера, расположенных на высотах 670 и 650 м над ур.м. Ширина ручья составляет 1-2 м, глубина достигает 1 м. Грунт каменисто-песчаный. Береговая линия извилистая, берег пологий, задернованный. Макрофиты образуют узкую кайму вдоль берега. Вода прозрачная, без цвета и запаха.

Вода в ручье слабощелочная (рН 7.26), гидрокарбонатно-кальциевая, минерализация невысокая, так как водоем имеет снеговое питание. Содержание биогенных элементов небольшое, цветность воды низкая.

Качественные пробы обрастаний мха, нитчаток и эпилитона из ручья были отобраны 1 июля 2016 г. традиционными методами (Методика..., 1975). Пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида и люголем. Водоросли идентифицировали в фиксированных и живых пробах. Створки диатомовых водорослей получали путем обработки кислотой, идентифицировали в постоянных препаратах.

В исследуемом ручье было обнаружено 45 видов водорослей из четырех отделов, пяти классов, 11 порядков, 23 семейств и 28 родов. Преобладающим по числу видов является отдел Bacillariophyta (38 видов, или 84.4%). Водоросли других отделов – Ochrophyta, Chlorophyta, Cyanoprokaryota – представлены лишь семью таксонами (в сумме составляют 15.6%). Преобладание диатомовых является обычным для северных и горных водотоков (Стенина, 2004; Науменко, 2015).

Ведущим по числу таксонов является класс Bacillariophyceae (80%). Из числа порядков более 10% составляют виды порядков Naviculales (37.8%) и Cymbellales (13.3%). Наиболее разнообразно среди семейств представлено только Pinnulariaceae (13.3%), среди родов – Pinnularia (13.3%). Большинство родов водорослей в ручье представлены одним-двумя видами (89.2% всех выявленных видов), редко более трех (10.8%).

Все виды, образующие доминирующие комплексы в исследованных сообществах ручья, принадлежат к отделу Bacillariophyta. Доминантами являются *Encyonema minutum* (Hilse) Mann, *E. silesiacum* (Bleisch) Mann, *Naviculales* sp. 1, субдоминантами – *Nitzschia palea* (Grun.) Grun., *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz.

Согласно географическому анализу, большинство видов являются космополитами – 27 видов (60%), в том числе виды доминирующего комплекса. Арктоальпийских видов пять (11.1%), два вида бореальных (4.4%), для остальных данная характеристика неизвестна. Были найдены редкие и ограниченно распространенные виды *Boreozonacola hustedtii* Lange-Bert., Kulikovskiy &

Witkowski, *Luticola goeppertiana* (Bleisch ex Rabenh.) Mann, *Pinnularia bullacostae* Krammer & Lange-Bert, *P. pulchra* Østr., *Stauroneis kriegeri* Patrick.

По месту обитания большинство водорослей относятся к разряду бентосных – 27 (60%), к ним относятся доминанты *Encyonema minutum*, *E. silesiacum*. Планктонно-бентосных – 10 (22.2%), в том числе субдоминанты *Nitzschia palea*, *Tabellaria flocculosa*. Обнаружено два планктонных вида (4.44%), для остальных приуроченность к месту обитания не установлена. По отношению к содержанию солей в воде преобладают индифференты – 27 видов (60%), к ним относятся виды доминирующего комплекса (*Encyonema minutum*, *E. silesiacum*, *Nitzschia palea*). Галофобов – семь (15.6%) *Tabellaria flocculosa*, галофилов – три (6.7%), для остальных характеристика неизвестна. По отношению к pH большую часть видов, для которых известен данный показатель, составляют индифференты – 15 (33.3%). Видов-алкалофилов выявлено 12 (26.7%), ацидофилов – шесть (13.3%).

По отношению к способности обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ большая часть видов является индикаторами чистых вод (ксено-олигосапробионты, олиго-ксеносапробионты, олигосапробионты в сумме составляют 46.7%). К данной группе относятся все виды доминирующего комплекса, для которых известна данная характеристика. Видов, характерных для вод со значительным содержанием органических веществ, – 11.1%. Для 20% таксонов данная характеристика неизвестна. Для оценки степени органического загрязнения водоема был применен метод Пантле-Бука в модификации Сладечека. По результатам расчетов индекс сапробности водного объекта составил 1.0, исходя из этого, ручей можно считать ксеносапробным, что также подтверждается данными химического анализа воды.

Таким образом, альгофлора исследуемого ручья является характерной для северных и горных водотоков, не испытывающих антропогенного влияния. Преобладающим отделом по числу видов является *Vacillariophyta*. Доминирующие комплексы альгосообществ образованы исключительно диатомовыми водорослями. Соотношение географических и экологических групп характерно для северных и горных водотоков и соответствует данным химического анализа воды ручья.

Исследования выполнены в лаборатории геоботаники и сравнительной флористики Института биологии Коми НЦ УрО РАН в рамках государственной темы АААА-А16-116021010241-9 «Структурно-функциональная организация растительных сообществ, разнообразие флоры, лишено-

и микобиоты южной части национального парка «Югд ва» и частично при поддержке гранта РФФИ № 16-34-00080 мол_а «Структурная организация альгокомплексов разнотипных водоемов западного макросклона Приполярье Урала с учетом высотного градиента».

ЛИТЕРАТУРА

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Гл. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 239 с.

Науменко Ю.В. Водоросли реки Текту (Республика Алтай) // Растительный мир Азии России, 2015. № 3 (19). С. 3-9.

Стенина А. С. Диатомовые водоросли в двух уральских притоках реки Печоры // Сибирский экологический журнал, 2004. № 6. С. 849-858.

Шубина В.Н. Гидробиология лососевой реки Северного Урала. Л.: Наука, 1986. 158 с.

РЕДКИЕ ВИДЫ РОДА КИЗИЛЬНИК (*COTONEASTER* MEDIC.) В КОЛЛЕКЦИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ КОМИ НЦ УрО РАН

А.Н. Пунегов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: apunegov@ib.komisc.ru

Сохранение генофонда редких и исчезающих видов растений является одной из основных задач ботанических садов. Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН активно участвует в сохранении биоразнообразия. Род Кизильник (*Cotoneaster* Medic.) семейства *Rosaceae* Juss. включает до 70 видов (Поляркова, 1961) листопадных, полувечнозеленых, вечнозеленых высокодекоративных растений различного габитуса – от стелющихся почвопокровных кустарников до небольших деревьев, широко используемых в культуре при создании альпинариев, рокариев и живых изгородей. Во флоре Республики Коми встречается два вида: *C. melanocarpus* Fisch. ex Blytt. (к. черноплодный) и *C. uniflorus* Bunge. (к. одноцветковый) (Флора Северо-Востока..., 1976). Первые посадки некоторых видов рода были сделаны М.М. Чарочкиным в 50-60-х гг. XX в. (Чарочкин, 1970), до 2003 г. в коллекции насчитывалось шесть видов (Скупченко и др., 2003). На настоящий период родовой комплекс *Cotoneaster* включает 14 видов, из которых три являются редкими: *C. alaunicus* Golitsin (к. алаунский), *C. cinnabarinus* Juz. (к. киноварно-красный), *C. lucidus* Schlecht. (к. блестящий) (Красная книга..., 2008).

Целью исследований являлось изучение биоморфологии редких видов рода *Cotoneaster* и возможности их воспроизводства при интродукции в среднетаежной подзоне Республики Коми.

Исследования проводили в дендрарии Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенном в 8 км на юго-восток от г. Сыктывкара (61.6° с.ш., 50.8° в.д.). При изучении биологии видов в новых почвенно-климатических условиях произрастания использовали общепринятые методики изучения древесных растений при интродукции.

Материалы, полученные в ходе ранее выполненных исследований (Скупченко и др., 2016) и настоящих по изучению биологии некоторых представителей редких видов рода *Cotoneaster*, позволили дать их биоморфологическую характеристику.

Cotoneaster alaunicus – листопадный вид, имеет статус категории редкости 3а, является узкоареальным эндемиком Среднерусской возвышенности, особенно характерен для ее восточной части (Красная книга..., 2008).

Семена *C. alaunicus* получены из Чехии в 2008 г., посев произведен в 2009 г. Молодые растения появились на второй год после посева, в 2013 г. они были пересажены на постоянное место в дендрарий с учетом географического принципа происхождения растений. После пересадки в 2014 г. высота особей четвертого года жизни достигала 0.56 м, прирост однолетних побегов за сезон – 25 см, завершался он только при наступлении низких температур, что приводило к их обмерзанию. Отмечена низкая зимостойкость (III-IV балла) растений. В связи с неблагоприятными метеоусловиями, сложившимися в зимний период 2015/2016 гг., образец выпал из коллекции.

Cotoneaster cinnabarinus – листопадный кустарник до 1 м высотой или прижатый к земле стланник, имеет статус категории редкости 3д (Красная книга..., 2008), является эндемиком Кольского п-ова и Северной Карелии. Общая численность особей естественного ареала произрастания не превышает 1000 экз.

В коллекцию был привлечен в 2008 г. семенами, полученными из Чехии. В настоящее время в дендрарии сада произрастают три растения. В новых условиях культивирования это листопадные пряморастущие кустарники от 0.8 до 1.6 м высотой. Начало распускания листьев отмечено 15-18 мая, фаза появления свободного листа приходится на 20-23 мая. Листья у данного образца широко-яйцевидной формы с округленным основанием и вершинкой, крупные (до 4.5 см длиной и 3.5 см шириной), сверху темно-зеленые, снизу беловато-опушенные. Завершение вегетации (начало листопада) отмечено в последних числах сентября. Продолжительность роста побегов составляет 120±7 дней. Размножается семенами, зелеными черенками. Зафиксировано ежегодное обмерзание однолетних побегов, зимостойкость вида оценивается в I-II балла.

Cotoneaster lucidus – листопадный вид, имеет статус категории редкости 3а, является узкоареальным эндемиком юга Центральной Сибири (Красная книга..., 2008). В коллекцию дендрария был привлечен еще в 1946 г. саженцами, полученными из Липецкой области, долгое время культивировался, но выпал из-за низкой зимостойкости. Другой образец в количестве 5 экз. был завезен в 2003 г. из Новосибирска. Начало бутонизации растений отмечено в конце третьей декады мая. Массовое цветение наблюдалось в середине июня, период цветения растянут и длится до 20-23 июня. Рыхлые щитковидные соцветия состоят из трех-четырех мелких светло-розовых цветков до 5 мм в диаметре. В первых числах июля происходит завязывание плодов, массовое созревание – в сентябре. Плоды обратнояйцевидной формы до 8-10 мм длиной и 6-7 мм в диаметре, содержат от двух до четырех косточек. Цветет и плодоносит не каждый год. Продолжительность роста побегов составляет 53 ± 7 дня. Размножается семенами, зелеными черенками. Зимостойкость вида оценивается в I-III балла. Растения неприхотливы к почве, засухоустойчивы, переносят затенение, но лучше произрастают на хорошо освещенных местах.

Анализ результатов наших исследований показал, что *C. lucidus*, имеющий в природе более обширный ареал, успешно прошел период адаптации, имеет законченный генеративный цикл, высокую зимостойкость, сроки начала и окончания роста побегов у него соответствуют климатическим ритмам местных условий. Растения этого вида декоративны в одиночной и групповой посадке и могут быть рекомендованы для озеленения южных и центральных районов Республики Коми. Растения *C. cinnabarinus* и *C. alaunicus*, которые в природе имеют узкий тип ареала, менее устойчивы в новых условиях произрастания и требуют дальнейшего изучения. Интродукция редких видов рода *Cotoneaster* способствует сохранению их генофонда.

ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Редколл.: Ю.П. Трутнев и др.; сост. Р.В. Камелин и др. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

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

Скупченко Л.А., Мишуrow В.П., Волкова Г.А., Портнягина Н.В. Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми (итоги работы Ботанического сада за 50 лет). СПб.: Наука, 2003. Т. III. 213 с.

Скупченко Л.А., Пунегов А.Н., Зайнуллина К.С. Виды рода Кизильник (*Cotoneaster* Medik.) при выращивании в среднетаежной подзоне Республики Коми // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2016. № 1 (25). С. 30-36.

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

Чарочкин М.М. Экзоты в Коми АССР // Бюл. Гл. ботан. сада, 1970. Вып. 76. С. 13-18.

СООБЩЕСТВА КЕДРОВОГО СТЛАНИКА НА ОСТРОВЕ САХАЛИН И ИХ АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Р.Н. Сабиров¹, Н.В. Шеварденко²

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

² Сахалинский государственный университет

E-mail: nikitasakh1995@gmail.com; r.sabirov@imgg.ru

Основным эдификатором этой лесной формации является один из самых пластичных видов региона – кедровый стланник (*Pinus pumila* (Pall.) Regel). Благодаря своим биоэкологическим свойствам он произрастает практически повсеместно – от крайне сухих до сырых и даже заболоченных местообитаний. Вследствие этого на о-ве Сахалин заросли кедрового стланика имеют довольно широкое распространение и занимают около 6% лесопокрытой площади. Кедровостланиковые сообщества встречаются по горным склонам, вершинам, хребтам, образуя здесь самостоятельный растительный пояс, расположенный выше каменноберезового и особенно ярко выраженный на Восточно- и Западно-Сахалинских горных системах. Кроме этого, кедровый стланник занимает обширные пространства Северо-Сахалинской низменности и прибрежные участки Охотского моря, а также активно и практически повсеместно участвует в качестве подлеска в лиственничниках, высокогорных ельниках и каменноберезняках. В pessимальных условиях, особенно в подгольцовом поясе и вдоль морского побережья, кедровый стланник принимает низкорослые, сильно стелющиеся формы, а в благоприятных местообитаниях он достигает до 5-6 м в высоту и образует густые непроходимые заросли.

Исследования сообществ кедрового стланика на Сахалине проводили с использованием стандартных методов (Сукачев, Зонн, 1961; Понятовская, 1964; Методы..., 2002 и др.). Кедровый стланник является мощным эдификатором и в зрелых сообществах занимает практически все жизненное пространство. Вследствие этого другие виды в составе сообществ развиваются недостаточно, что обуславливает весьма низкий уровень флористического разнообразия кедровостланиковой формации. Консолидированный состав ценофлоры этой формации на острове составляет в целом око-

ло 110 видов сосудистых растений, обилие и проективное покрытие которых в каждом конкретном сообществе варьирует и порой бывает совсем незначительным.

С довольно высоким постоянством в сообществах кедровостланиковой формации присутствует ряд таежных и субальпийских кустарников и кустарничков: брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), шикша (*Empetrum sibiricum* L.), рябина бузинолистная (*Sorbus sambucifolia* (Cham. & Schltdl.) M. Roem.), багульники (*Ledum decumbens* Lodd. ex Steud., *L. hypoleucum* и др.), спирея березолистная (*Spiraea betulifolia* Baumann ex K. Koch), береза Миддендорфа (*Betula middendorffii* Trautv. & C.A. Mey.), ольховник (*Duschekia maximowiczii* (Callier)), вейгела (*Weigela middendorffiana* (Carrière) K. Koch), рододендрон золотистый (*Rhododendron aureum* Georgi), филлодоце голубая (*Phyllodoce caerulea* (L.) Bab.), арктоус (*Arctous alpine* (L.) Spreng.), луазелеурия лежачая (*Loiseleuria procumbens* (L.) Gift, Kron & P.F. Stevens ex Galasso, Banfi & F.Conti), лишайники и листостебельные мхи. Зачастую в составе горных кедровостланиковых сообществ в виде единичной примеси участвуют низкорослые деревья лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr), ели аянской (*Picea ajanensis* (Siebold & Zucc.) Carrière) и березы каменной (*Betula ermanii* Cham).

Сообщества кедровостланиковой формации на острове также не отличаются большим разнообразием. Однако, благодаря высокой толерантности и успешному произрастанию кедрового стланика практически во всевозможных широтно-зональных и высотно-поясных условиях, встречается довольно широкий набор фитоценологических вариантов. В результате проведенных исследований на Сахалине нами выделено семь групп ассоциаций: кедровостланичники мертвопокровные (*Pineta pumilae pura*), лишайниковые (*Pineta pumilae lichenosa*), кустарничковые (*Pineta pumilae fruticulosa*), травяные (*Pineta pumilae herbosa*), кустарниковые (*Pineta pumilae fruticosa*), зеленомошные (*Pineta pumilae hylacomiosa*), сфагновые (*Pineta pumilae sphagnosa*). Из них лишь травяные и кустарниковые кедровостланичники обладают весьма широким разнообразием сообществ и включают по четыре-шесть ассоциаций и субассоциаций. Кедровостланичники кустарниковые в основном встречаются в подгольцовом поясе и болотных комплексах острова, травяные – преимущественно в плакорных местообитаниях, отчасти на прибрежных участках.

Сообщества кедрового стланика на о-ве Сахалин испытывают довольно широкий спектр антропогенных воздействий: промышленные рубки леса, лесные пожары, строительство дорог и населенных пунктов, прокладка трубопроводов и электролиний, рекреационные нагрузки, геолого-геофизические изыскания, разра-

ботка, обустройство и эксплуатация объектов нефтегазопромышленного комплекса и др. Одни из них напрямую влияют на сообщества кедрового стланика, другие – косвенно или опосредованно. В частности, строительство дорог и линий электропередачи, а также прокладка нефтегазопроводов сопровождаются вырубкой многокилометровых лесных полос. Так, например, при прокладке транссахаалинской нефтегазовой магистрали с севера на юг острова была вырублена полоса длиной 600 км и шириной 50 м. Аналогичная полоса леса была отчуждена и вырублена при прокладке нефтегазопровода с восточного на западное побережье Сахалина. Кроме этого, при устройстве разведочных геофизических профилей во взаимно-перпендикулярном направлении через каждые 1-2 км вырубается лесная растительность шириной 5-6 м. В настоящее время вся северная часть Сахалина, где сконцентрированы основные нефтегазовые месторождения, пронизана многокилометровыми геофизическими профилями. Безусловно, указанные профили расширяют ареал доступности многих ранее нетронутых природных ландшафтов и лесных угодий, существенно расширяют зону влияния рекреационных нагрузок и других антропогенных факторов. Вместе с этим при обустройстве и эксплуатации нефтегазовых буровых установок полностью уничтожается лесная растительность на площади около 2 га. Густая сеть таких буровых, строительство подъездных дорог, прокладка трубопроводов и линий электропередачи к ним, а также сооружение других объектов инфраструктуры нефтегазовой отрасли привели к элиминации лесного покрова на значительной площади и формированию техногенных ландшафтов в районах добычи нефти и газа.

Однако наиболее важным и опасным фактором, оказывающим решающее влияние на сообщества кедрового стланика и лесов в целом, являются пожары. Кедровый стланник вследствие своих биоэкологических свойств обладает высокой степенью горимости. Особенно часто горят кедровостланичники на сухих песчаных и супесчаных почвах, которые широко распространены на северном Сахалине. Лесные пожары в регионе имеют преимущественно антропогенное происхождение (Сабиров, Сабирова, 2015) и зачастую напрямую связаны с издержками производства нефтегазопромышленного комплекса. Постоянно работающие промышленные агрегаты и механизмы, горящие факелы при сжигании попутного газа являются наиболее вероятным источником возгораний. В этой связи пирогенная роль в трансформации зарослей кедрового стланика является доминирующей и составляет около 70%.

ЛИТЕРАТУРА

- Методы изучения лесных сообществ. СПб.: БИН РАН, 2002. 240 с.
- Понятовская В.М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.-Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209-299.
- Сабиров Р.Н., Сабирова Н.Д. Причины и предпосылки лесных пожаров на Сахалине // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 391-394.
- Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

**НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ОНТОГЕНЕЗА
PETASITES SPURIUS (RETZ.) REICHENB.**

М.Н. Шаклеина, Н.П. Савиных
Вятский государственный университет
E-mail: mariyashakleina@mail.ru; savva_09@mail.ru

В каждый момент времени любой организм характеризуется специфическим набором морфологических, анатомических, физиологических и других признаков, совокупность которых определяет его онтогенетическое состояние. Процесс индивидуального развития непрерывен, однако, используя ряд индикаторных показателей, его можно разделить на довольно крупные периоды, которые, в свою очередь, подразделяются на более мелкие возрастные этапы (онтогенетические состояния). Последние характеризуют биологический возраст растения – степень его индивидуального развития (Ценопопуляции растений..., 1988). Согласно Т.А. Работнову (1950), в онтогенезе растений выделяются латентный, прегенеративный, генеративный и постгенеративный периоды с серией онтогенетических состояний.

Условия обитания особей накладывают отпечаток на их строение и развитие. Переменное обводнение, в условиях которого произрастает *Petasites spurius*, непосредственно влияет на ход его онтогенеза, строение и развитие особей каждого онтогенетического состояния. Выявление морфологических адаптаций *P. spurius* на ранних этапах индивидуального развития – наша задача на данном этапе исследований.

На основе анализа структур молодых особей, изъятых из природных условий, изучены латентные и онтогенетические состояния прегенеративного периода *P. spurius*. Для этого в июле-сентябре 2016 г. извлекали растения из субстрата, анализировали их

строение, зарисовывали внешний вид. Семянки собирали полностью созревшими в конце июня–начале июля. Особенности строения апикальных почек особей и семянки выявляли с использованием бинокляра Микромед МС-2-ZOOM со встроенным видеокляром.

Латентный период. Семянки *P. spurius* цилиндрические, сужающиеся к основанию, светло-коричневые с пятью-шестью крупными гранями и множеством мелких бороздок между ними (рис. 1а). В месте прикрепления семянки к оси находится особое цилиндрическое образование (нижний придаток), светлее по окраске. За ним располагается небольшое черное кольцо (рис. 1а). По-видимому, эти структуры обеспечивают, с одной стороны, прикрепление молодых плодов к оси, с другой – осыпание их по мере созревания. Средняя длина семянки 2.3 ± 0.5 мм, ширина (в центральной части) – 0.5 ± 0.1 мм, длина придатка – 0.3 ± 0.08 мм.

На верхушке семянки имеется хохолок, состоящий в среднем из 97 ± 9 длинных белых волосков, расположенных по кругу односторонне. В центре расположен темно-коричневый столбик с отмершим рыльцем. Волоски хохолка не ветвятся, но имеют хорошо заметные зубчики, расположенные попарно либо беспорядочно, что создает впечатление их щетинистого строения. Средняя максимальная длина хохолка 12.2 ± 1.7 мм, места крепления волосков хохолка к семянке (верхний придаток) – 0.14 ± 0.03 мм. Длина семянки примерно в пять раз меньше длины хохолка. Масса 100 плодов – 0.06 г.

В строении семянки выделяется околоплодник (рис. 1б), семенная кожура (рис. 1в) и зародыш (рис. 1г). Околоплодник тонкий, легко отделяется вместе с нижним придатком (рис. 1б). Семенная кожура представлена тонкой коричневой пленкой, окутывающей весь зародыш. Зародыш прямой, крупный, длиной 2.7 ± 0.29 мм, хорошо дифференцирован на две семядоли длиной 2.06 ± 0.36 и шириной 0.74 ± 0.13 мм, между которыми распола-

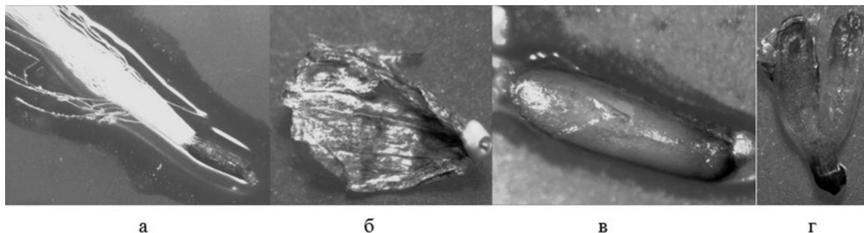
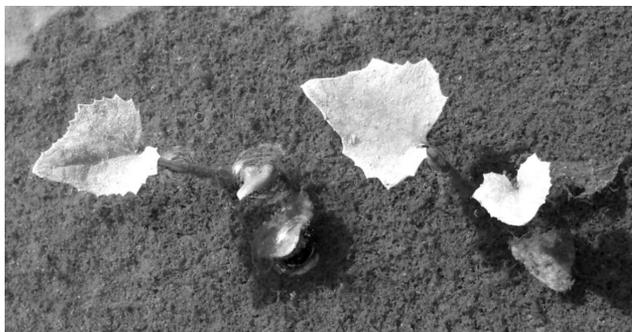


Рис. 1. Строение семянки *Petasites spurius*: а – внешний вид, б – околоплодник, в – семенная кожура, г – зародыш.

гается конус нарастания. Ниже расположен гипокотиль (длина 0.34 ± 0.15 мм) и зародышевый корешок (длина 0.28 ± 0.11 мм) более темного цвета.

Число семян в одной корзинке 36 ± 2 шт. При оценке семенной продуктивности получили следующие результаты: средняя семенная продуктивность в расчете на вегетативно-генеративный побег – более 900 семян; общая продуктивность в расчете на 100 м^2 – 36, потенциальная – 910 семязачатков на побег. Таким образом, семенная продуктивность этого растения практически равна потенциальной продуктивности. Это свидетельствует о высокой способности *P. spurius* к семенному воспроизведению. Распространяются семянки по воздуху и воде. Прорастают в этот же вегетационный сезон без периода покоя. Прорастание надземное.

Прегенеративный период. Проростки *P. spurius* появляются ближе к урезу воды, что способствует обеспечению их водой на начальных этапах развития (рис. 2А). Главный корень рано отмирает и формируется система из многочисленных длинных стеблеродных придаточных корней (рис. 2Б). Это способствует закреплению молодых особей в местах уреза воды по краям пляжей и песчаных отмелей. Ось побега нарастает до 0.5-1.0 см (определяли по длине гипокотила), выносит на поверхность субстрата семядольные листья лопатовидной формы, цельнокрайние, длиной 0.3-0.5 и шириной 0.1-0.3 см. Первые настоящие листья появляются очень рано и существуют вместе с семядольными, которые сохраняются обычно в течение недели, редко – двух. Об этом писал еще И.Г. Серебряков (1952), отмечая, что проростки обычно отличаются от особей других онтогенетических состояний наличием семядольных листьев наряду с фотосинтезирующими зелеными, а также сформированной корневой системой.



А



Б

Рис. 2. Проростки *Petasites spurius*.

Ювенильные растения большей частью резко отличаются от взрослых, что затрудняет их распознавание в природе и является одной из характерных особенностей особей этого онтогенетического состояния (Ценопопуляции растений..., 1988). При наших детальном исследованиях удалось выделить несколько вариантов строения ювенильных особей у *P. spurius*, отражающих их структурную поливариантность (рис. 3Б). Они содержат семядольные листья и верхушечную промежуточную вегетативную почку, но имеют разное число ассимилирующих листьев (от одного до трех).

Такие особи не всегда являются членами одной серии индивидуального развития, поскольку переход в имматурное онтогенетическое состояние характеризуется сменой ориентации побега в пространстве в связи с поворотом верхушки побега и заглублением ее в грунт: изначально ортотропный побег начинает расти ковертикально вниз до определенной глубины, затем – параллельно поверхности грунта.

Такие имматурные особи имеют также разное число листьев срединной формации: от одного до трех (рис. 3В) и отличаются разным числом чешуевидных. Соотношение листьев срединной формации и чешуевидных может быть: 3:2, 2:3, 1:3. В верхушечной промежуточной почке у таких растений заложено, как прави-

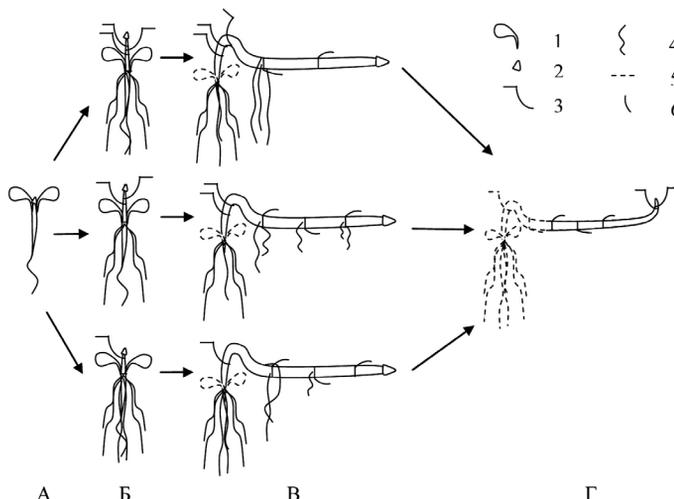


Рис. 3. Поливариантность строения особей *Petasites spurius* в прегенеративном периоде: А – проростки; Б – ювенильные особи; В – имматурные особи; Г – виргинильные особи: 1 – семядольные листья; 2 – верхушечная промежуточная вегетативная почка; 3 – ассимилирующие листья; 4 – придаточные корни; 5 – отмершие структуры; 6 – чешуевидные листья.

ло, два-три зачатка ассимилирующих листьев и один зачаток чешуевидного листа. По-видимому, до заложения в почке следующей серии наземных листьев формируется до пяти элементарных метамеров вне зависимости от типа листа, а в почке к осени сформированы зачатки всех ассимилирующих листьев, которые появятся в следующем году.

Особь виргинильного онтогенетического состояния характеризуется преобладанием в их структуре взрослых черт, характерных для вида ассимилирующих листьев, побеговой и корневой систем (Ценопопуляции растений..., 1988). Мы предполагаем, что у *P. spurius* эти особи появляются в следующем вегетационном сезоне (рис. 3Г). Они содержат несколько метамеров с чешуевидными листьями прошлого года, а также два-три метамера с ассимилирующими листьями, которые сформировались в прошлом году и развернулись в текущем. Базальный участок особи, включая метамеры с семядолями, ассимилирующими листьями и одним чешуевидным листом, отмирает ко времени разворачивания апикальной почки. Дальнейшее развитие растения подобно функционированию побеговых систем у генеративных особей *P. spurius*, описанных нами ранее (Шаклеина, Шабалкина, 2015).

Таким образом, к адаптациям особей прегенеративного периода относятся раннее развитие большого числа придаточных корней, полностью сформированные вегетативные структуры в почке с осени, динамическая и морфологическая поливариантность ювенильных и имматурных особей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-04-01073).

ЛИТЕРАТУРА

- Работнов Т.А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники, 1950. Т. 1. С. 465-483.
- Серебряков И.Г. Морфология вегетативных органов высших растений. М.: Советская наука, 1952. 390 с.
- Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Л.Б. Заугольнова, Л.А. Жукова и др. М.: Наука, 1988. 184 с.
- Шаклеина М.Н., Шабалкина С.В. Особенности строения и развития монокарпического побега *Petasites spurius* (сем. Compositae) // Фундаментальные и прикладные аспекты современной биологии: Матер. II Всерос. молодеж. науч. конф. Томск: Изд. дом ТГУ, 2015. С. 147-150.

Секция 2 ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИВОТНОГО МИРА

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) В УРБАНИЗИРОВАННОМ ЛАНДШАФТЕ

А.Р. Гараева¹, Р.А. Суходольская²

¹ Институт фундаментальной медицины и биологии

² Институт проблем экологии и недропользования АН Республики Татарстан
E-mail: albina.garaeva2010@mail.ru; ra5suh@rambler.ru

Изучение антропогенных воздействий на природу – одна из актуальнейших проблем современности, наиболее остро выраженная в городах. Популяции живых организмов представляют собой непосредственный объект, на котором возможно комплексно оценить влияние различных природных и антропогенных факторов. Большое внимание в биологических исследованиях уделяется разработке индикаторных методов, посредством которых можно оценивать степень устойчивости биоты. Изменения численности популяций и характеристик их биоразнообразия могут служить интегрирующими показателями состояния окружающей среды, так как уменьшение этих показателей свидетельствует о повышении уровня загрязнения окружающей среды и разрушении биотопов, в которых данные виды животных обитают (Иняева, 1963). Одним из признанных индикаторов среды обитания являются жуки-жужелицы. Это широко распространенное семейство, включающее 20 000 видов. Эти жуки, как правило, хищные, сообщества которых чутко реагируют на антропогенное или иное воздействие изменением структуры (Жеребцов, 2000).

Новой средой обитания животных являются города, где биотопы представлены островными структурами (Колесникова, 2008). На животных с малыми миграционными способностями особенно сказывается такая фрагментация мест обитания. В современных условиях нарастающего влияния человека на природ-

ные комплексы все большее внимание энтомологов привлекают специфические городские экосистемы (Дорофеев, 1995). Урбанизация оказывает существенное влияние на функционирование городских экосистем.

Цель исследования – оценить структуру популяций *Pseudophonus rufipes* (Carabidae, Coleoptera) городских и пригородных жужелиц по комплексу из шести мерных признаков.

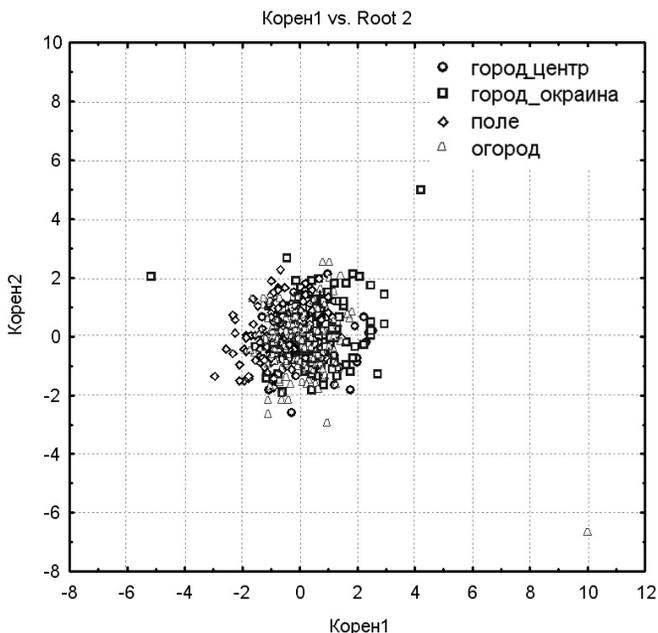
Материал был получен из четырех точек Республики Башкортостан: г. Нефтекамск (центр, окраина) и садоводческое товарищество «Белая поляна» (поле, огород) Краснокамского района.

В Нефтекамске жуки-жужелицы собирались в Центральном парке культуры и отдыха, а также на окраине города вблизи Николо-Березовского шоссе. В садоводческом товариществе жуки собирались в саду и в поле, неподалеку от озера.

В каждом биотопе в общей сложности было по 10 ловушек. Проверка ловушек проводилась не более чем через 5 сут. Общее количество собранного материала составляет 856 особей разного вида жужелиц. Учеты относятся к периоду с 20.06.16 г. по 26.08.16 г.

Жуки собирались с помощью ловушек Барбера (почвенная ловушка). Основное положительное качество ловушек – это автоматичность лова и возможность применения в течение продолжительного времени во многих биотопах одновременно. Ловушки ставились в линию на расстоянии приблизительно 10 м друг от друга. Содержимое ловушек перемещалось в емкость со спиртом или ацетоном для усыпления, потом жуки перемещались на ватные матрасики. После того, как была определена видовая принадлежности, отобрали жуков изучаемого вида. Жуков дифференцировали по полу по ширине члеников передней лапки. Затем под бинокуляром МВС-9 при увеличении (8×1) с помощью окуляр-микрометра проводили индивидуальный обмер семи мерных признаков: А: длина надкрылий – расстояние по шву от середины бортика до вершины; Б: ширина левого надкрылья – расстояние между плечевым углом левого надкрылья до середины бортика; В: ширина правого надкрылья – расстояние между плечевым углом правого надкрылья до середины бортика; Г: длина переднеспинки – расстояние по средней линии от основания до вершины; Д: ширина переднеспинки – ширина основания; Е: длина головы – расстояние от шеи до верхней губы; Ж: расстояние между глазами.

Все данные приведены в единицах мерной линейки стандартного окуляр-микрометра. Статистическая обработка материала проведена в программах Microsoft Excel-97 и Statistica 6.0.



Wilks' Lambda: ,7575904 approx. $F(18.1363) = 7.813675$ $p < 0.0000$.

Таблица 1

Квадрат расстояний Mahalanobi (Spreadsheet2 в матрица_дискрим.анализ)

	Город_центр	Город_окраина	Поле	Огород
Город_центр	0.000000	0.274802	1.671359	0.503030
Город_окраина	0.274802	0.000000	1.512905	0.426532
Поле	1.671359	1.512905	0.000000	0.637564
Огород	0.503030	0.426532	0.637564	0.000000

Таблица 2

p-levels (Spreadsheet2 в матрица_дискрим.анализ)

	Город_центр	Город_окраина	Поле	Огород
Город_центр		0.108003	0.000000	0.003510
Город_окраина	0.108003		0.000000	0.000058
Поле	0.000000	0.000000		0.000000
Огород	0.003510	0.000058	0.000000	

Выборки из центра и окраины города статистически значимо не отличаются. Остальные выборки, такие как центр города с полем, с огородом; окраина города с полем и огородом; поле с центром города, окраиной города и огородом; огород с центром города, окраиной города и полем статистически значимо отличаются.

Как видно из приведенных данных, значимых различий в размерах мерных признаков между популяциями *Pseudophonus rufipes*, обитающих в городе и за городом, нет.

ЛИТЕРАТУРА

Дорофеев Ю.В. Структура населения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) урбанизированного ландшафта северной лесостепи центральной России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1995. 18 с.

Жеребцов А.К. Определитель жужелиц Республики Татарстан. Казань: Форт-диалог, 2000. 74 с.

Иняева З.И. Жужелицы на посевах полевых культур: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1965. 19 с.

Колесникова А.Н., Мольков О.И. Почвенные беспозвоночные в городской среде // Вестник Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. № 12 (134). С. 16-20.

ПРОЛЁТ ГУСЕОБРАЗНЫХ И РЖАНКООБРАЗНЫХ ПТИЦ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Е.В. Данилова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: hvdan@rambler.ru

Гусеобразные и ржанкообразные птицы пролетают большие расстояния во время сезонных перелетов из мест зимовок в места гнездований и обратно. Известно два пути миграций гусеобразных и ржанкообразных птиц в Восточноевропейскую тундру. Первый путь, беломоро-балтийский, пролегает по побережью Баренцева моря или через материк, Архангельскую область, и далее через западную часть Республики Коми. Второй, волжско-каспийский, проходит через южные и центральные регионы Российской Федерации и далее через юг Республики Коми на север (Михеев, 1981).

Визуальные наблюдения проведены весной 2008-2011 гг. и осенью 2008-2010 гг. в районе с. Выльгорт и весной 2013-2015 гг. в районе с. Ыб по общепринятой методике (Кумари, 1955). Проанализирована имеющаяся литература по миграциям птиц в Республике Коми с первой половины XX в. по настоящее время. Основные исследования миграции птиц относятся к бассейну р. Пе-

чора (Дмоховский, 1933; Теплов, 1948, 2010; Теплова, 1957; Сокольский, 1964; Естафьев, 1982; Минеев, 1975).

Пролет гусеобразных и ржанкообразных птиц в Республике Коми весной проходит с конца марта–начала апреля по конец мая–начало июня; осенью – с середины августа–начала сентября по конец октября–начало ноября. Птицы мигрируют широким фронтом, придерживаясь географических ориентиров (бассейны рек, болота, озера, поля и луга близ населенных пунктов). Массовый пролет птиц отмечен волнами (Данилова 2012а, б): весной – конец апреля–начало мая (гуменник (*Anser fabalis*), лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*), кряква (*Anas platyrhynchos*), свиязь (*Anas penelope*), шилохвость (*Anas acuta*), чирок-свистунок (*Anas crecca*), широконоска (*Anas clypeata*), хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*), сизая (*Larus canus*) и озерная (*Larus ridibundus*) чайки, чибис (*Vanellus vanellus*), средний (*Numenius phaeopus*) и большой (*Numenius arquata*) кроншнепы, большой веретенник (*Limosa limosa*), турухтан (*Phylomachus pugnax*), фифи (*Tringa glareola*); вторая половина мая (белолобый гусь (*Anser albifrons*), свиязь, хохлатая чернеть, гоголь (*Bucephala clangula*), сизая и озерная чайки, золотистая ржанка (*Pluvialis apricaria*), турухтан, большой веретенник, фифи); осенью – конец августа–начало сентября (большинство местных ржанкообразных и гусеобразных птиц), середина сентября (белолобый гусь, кряква, свиязь, шилохвость, широконоска, хохлатая чернеть, чибис, сизая чайка); конец сентября–начало октября (гуменник, кряква, свиязь, хохлатая чернеть); середина–конец октября (гуменник, лебедь-кликун, хохлатая чернеть, синьга (*Melanitta nigra*), турпан (*Melanitta fusca*)).

Наши наблюдения (Данилова, 2012а, б, 2014) и литературные сведения (Сокольский, 1964; Естафьев, 1982; Минеев, 1975, 2004; Теплов, 2010) показали, что миграция птиц в Республике Коми весной проходит в северно-восточном, северном и северо-западном направлениях, осенью – в южном, юго-западном и западном.

На основе литературных данных и наших наблюдений выделены четыре миграционных пути в Республике Коми, по которым птицы совершают ежегодные сезонные миграции. Три из них осуществляются по бассейнам рек Вычегда, Мезень и Печора. Четвертый миграционный путь проходит через северо-восточную часть республики в Западную Сибирь (Рыжановский, 1998; Минеев, 2004).

ЛИТЕРАТУРА

Данилова Е.В. Миграции гусеобразных птиц в бассейне р. Сысола (Республика Коми) в 2008-2010 гг. // Изучение динамики популяций ми-

грирующих птиц и тенденций их изменений на северо-западе России / Под ред. Г.А. Носкова, Т.А. Рымкевич, А.Р. Гагинской. СПб., 2012а. Вып. 9. С. 100-108.

Данилова Е.В. Миграции ржанкообразных птиц в бассейне р. Сысола (Республика Коми) в 2008-2010 гг. // Рус. орнит. журн. Экспресс-выпуск, 2012б. Т. 21. Вып. 826. С. 3163-3172.

Данилова Е.В. Мониторинг миграции гусеобразных птиц в бассейне р. Сысола (Республика Коми) // Вестник охотоведения, 2014. Т. 11. № 2. С. 186-192.

Дмоховский А.В. Птицы средней и нижней Печоры // Бюл. МОИП. Отд. биол., 1933. Т. XLII. Вып. 1. С. 214-242.

Естафьев А.А. Сроки прилета, размножения и отлета гнездящихся птиц таежной зоны бассейна реки Печоры // Фауна Урала и прилегающих территорий. Свердловск, 1982. Вып. 10. С. 25-34.

Кумари Э.В. Инструкция по изучению миграции птиц. Тарту, 1955. 28 с.

Минеев Ю.Н. Весенний пролет и места линьки водоплавающих птиц Большеземельской тундры // Материалы Всесоюзной конференции по миграциям птиц. М., 1975. Ч. 1. С. 215-217.

Минеев Ю.Н. Осенний пролет гусей на европейском северо-востоке России // Тр. Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2004. № 175. С. 20-40.

Михеев А.В. Перелеты птиц. М., 1981. 232 с.

Рыжановский В.Н. Птицы долины р. Соби и прилегающих районов Полярного Урала // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1998. С. 148-158.

Сокольский С.М. Пролет водоплавающих в верховьях Печоры // Тр. Печоро-Ильчского гос. заповедника. Сыктывкар, 1964. Вып. XI. С. 83-124.

Теплов В.П. Водоплавающие птицы района Печоро-Ильчского заповедника / Тр. Печоро-Ильчского заповедника // Отв. ред. Г.П. Дементьев. М., 1948. Вып. 4. Ч. 2. С. 3-66.

Теплова Е.Н. Птицы района Печоро-Ильчского заповедника / Тр. Печоро-Ильчского гос. заповедника // Отв. ред. О.И. Семенов-Тянь-Шанский. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1957. Вып. VI. С. 5-115.

Теплов В.В. Результаты мониторинга гусеобразных на весеннем и осеннем пролетах в Печоро-Ильчском заповеднике (1956-2008 гг.) // Тр. Печоро-Ильчского заповедника. Сыктывкар, 2010. Вып. 16. С. 170-173.

ВНУТРИВИДОВАЯ И МЕЖВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПОВ РОСТА РАКОВИН ЖЕМЧУЖНИЦ РОДА *MARGARITIFERA* В УСЛОВИЯХ ШИРОТНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР

М.Б. Кабаков

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
E-mail: *mike-kab@yandex.ru*

Многие экосистемы испытывают негативное влияние потепления климата, которое воздействует как на отдельные популяции, так и на целые виды. Воздействие на популяции видов-эдификаторов может иметь наиболее негативные последствия, поскольку данные виды определяют функционирование экосистем. Видами-эдификаторами бентосных сообществ олиготрофных рек зачастую являются пресноводные жемчужницы. В северной Палеарктике обитает четыре вида моллюсков рода *Margaritifera*, населяющих реки Европы и Дальнего Востока. Два из этих видов обитают на протяженных по широте ареалах: *Margaritifera margaritifera* (L., 1758) – от северо-восточной Европы до Пиринейского п-ова, *Margaritifera middendorffi* (Rosen, 1926) – от Камчатки до Японских островов. Таким образом, южные и северные популяции этих видов испытывают воздействие сравнительно высоких и достаточно низких температур соответственно. Целью нашей работы является анализ внутривидовой и межвидовой изменчивости скорости роста раковины у двух видов пресноводных жемчужниц: жемчужницы европейской *M. margaritifera* (n = 1520) и жемчужницы Миддендорфа *M. middendorffi* (n = 237), депонированных в коллекции Российского музея центров биоразнообразия ФИЦКИА РАН.

Для расчета коэффициентов роста были использованы 35 и 20 раковин жемчужниц соответственно. Раковины *M. margaritifera* были собраны в реках Солза, Малошуйка, Кожа, Нименьга, Юдьма (Архангельская область), р. Муткайоки (Лоухский район, Республика Карелия) и р. Пейпия (Кингисеппский район, Ленинградская область). Раковины *M. middendorffi* были собраны в реках Рикорда, Серебрянка, Головина (о-в Кунашир, Сахалинская область), а также из р. Начилова (Усть-Большерецкий район, Камчатский край) (рис. 1, 2).

Значения температуры воздуха были получены из базы данных National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (www.ncdc.noaa.gov) для метеостанций Куусамо (Финляндия), Кингисепп (Ленинградская область), Онега (Архангельская область), Южно-Курильск (о-в Кунашир) и Усть-Большерецк (Камчатский край) за период с 1960 по 2013 г. Рост раковины дву-



Рис. 1. Карта сбора образцов раковин жемчужницы европейской. 1 – Солза, 2 – Малошуйка, 3 – Нименьга, 4 – Юдьма, 5 – Кожа, 6 – Муткайоки, 7 – Пейпия.

створчатого моллюска останавливается при понижении температуры воды (Семенова, 1992). Ранее было показано, что существует прямая зависимость между температурой воды и температурой воздуха (Morril, 2005). В нашем анализе были использованы значения среднелетних температур воздуха.

Для описания роста моллюска было применено уравнение Берталанфи: $M = M_{\infty}(1 - Ae^{-kt})^{1/b}$, где $A > 0$ – константа интегриро-

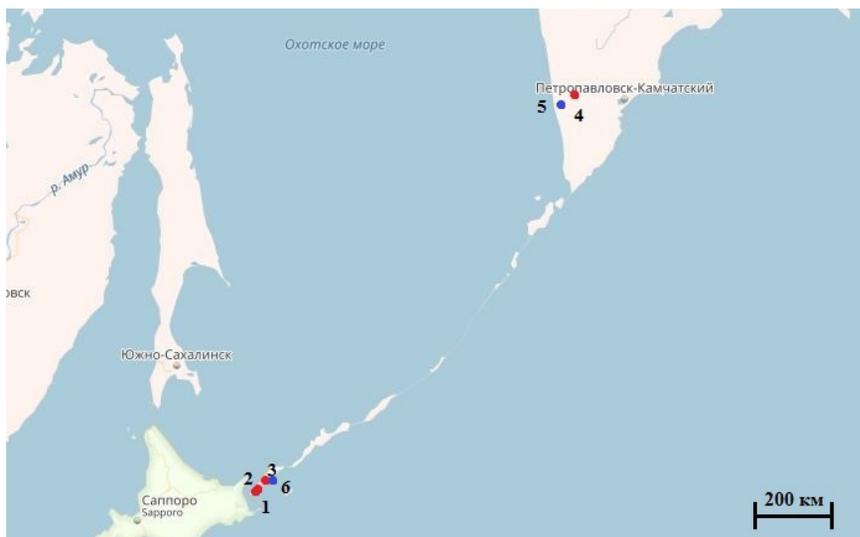


Рис. 2. Карта сбора образцов раковин жемчужницы Миддендорфа. 1 – Рикорда, 2 – Головнина, 3 – Серебрянка, 4 – Начилова.

вания. Коэффициент k определяет скорость нарастания массы и часто называется константой роста (Зотин, 2009).

Для вычисления значений коэффициентов уравнения Берта-ланфи использовалась его рекуррентная форма, называемая уравнением Форда-Волфорда (Walford, 1946). Уравнение имеет линейный вид, что дает возможность проводить сравнительное исследование значений коэффициентов методами регрессионного анализа: $M_{t+m}^b = cM_t^b + d$, где M_t – параметр роста в возрасте t ; M_{t+m} – параметр роста в возрасте $t+m$; b – константа из уравнения Берта-ланфи; m – промежуток времени между промерами. В данном исследовании коэффициент m принят равным одному году, коэффициент b – равным 1 (Зотин, 2009).

Расчет возраста особей жемчужниц был проведен методом склерохронологического анализа раковин *M. margaritifera* (64 образца) и *M. middendorffi* (21 образец) (Dunca et al., 2011) (см. таблицу).

Для моллюсков *M. margaritifera* из р. Пейпия характерна более высокая скорость роста ($k = 0.09$), чем для жемчужниц из рек Архангельской области ($k = 0.05$) и Республики Карелия ($k = 0.03$) (рис. 3А). Среднелетние температуры воздуха для района р. Пейпия составляет 15.9°C , что выше на градус по сравнению

**Значения возраста особей *M. margaritifera* и *M. middendorffi*
из рек Северо-Запада и Дальнего Востока России соответственно**

Вид	Регион	Река	n	t max	t min	t
<i>M. margaritifera</i>	Архангельская область	Солза	10	69	41	55
		Малашуйка	5	182	60	64
		Кожа	8	61	28	42
		Нименьга	4	79	28	60
		Юдьма	7	105	43	72
<i>M. margaritifera</i>	Ленинградская область	Пейпия	10	83	21	50
	Республика Карелия	Муткайоки	7	90	58	79
<i>M. middendorffi</i>	Усть-Большерецкий р-н, Камчатский край	Начилова	3	25	17	20
	Остров Кунашир	Рикорда	5	73	45	53
		Серебрянка	7	42	27	32
<i>M. middendorffi</i>		Головнина	6	60	54	56

Примечание: n – количество выборки, t max – максимальный возраст из выборки, t min – минимальный возраст из выборки, t – средний возраст из выборки.

со среднелетними температурами запада Архангельской области и на 3.4 °C выше, чем аналогичные температуры района р. Муткайоки (рис. 3Б). Средний возраст моллюсков из р. Пейпия составляет 50 лет, из рек Архангельской области – 58.6 лет, а из р. Муткайоки – 79 лет. Таким образом, подтверждено, что повышение температуры воздуха отражается на увеличении скорости роста раковины жемчужницы европейской и уменьшении продолжительности жизни.

Похожая ситуация наблюдается и для рек Дальнего Востока России. Так, для района р. Начилова характерны более низкие среднелетние температуры воздуха (10.4 °C), чем аналогичные температуры на о-ве Кунашир (13.4 °C) (рис. 4Б). Рассчитанные коэффициенты роста для *M. middendorffi* показывают, что жемчужницы из рек о-ва Кунашир растут быстрее, чем из р. Начилова. Так, медианный коэффициент роста k для популяций жемчужниц о-ва Кунашир составляет 0.08, а для популяции жемчужниц из р. Начилова – 0.02 (рис. 4А). При этом средний возраст моллюсков из рек Головнина, Рикорда и Серебрянка составляет 47 лет, а моллюсков из р. Начилова – 20 лет. Наши данные показывают, что скорость роста раковин жемчужницы Миддендорфа также зависит от температуры окружающей среды. При этом продолжительность жизни особей данного вида, в отличие от жемчужницы европейской, не увеличивается при понижении температуры окружающей среды.

Анализ межвидовой изменчивости скорости роста (рис. 5) показывает, что жемчужница Миддендорфа растет медленнее, чем жемчужница европейская в сходных температурных условиях среды.

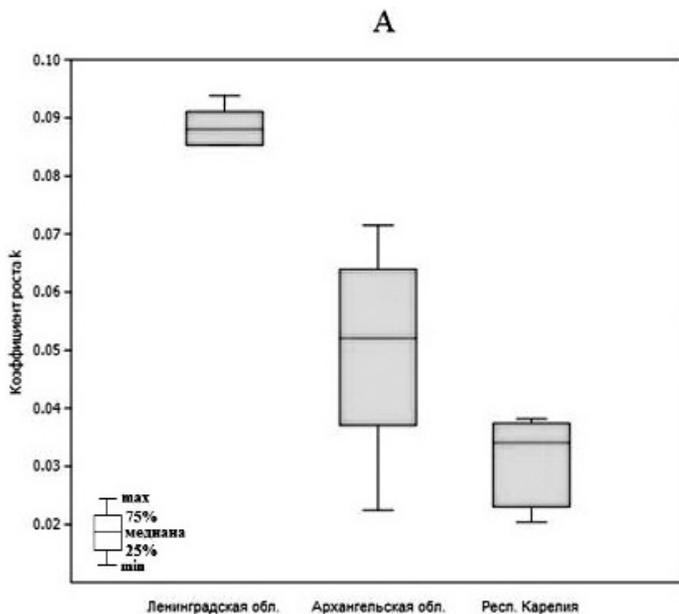
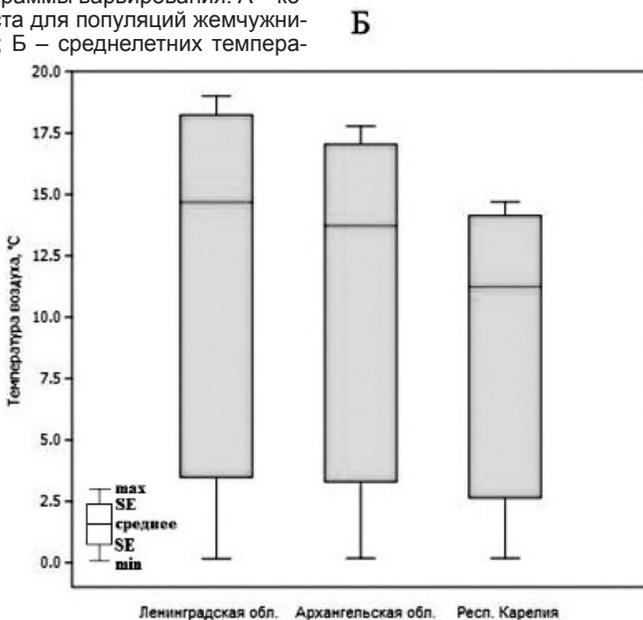


Рис. 3. Диаграммы варьирования: А – коэффициента роста для популяций жемчужницы европейской; Б – среднелетних температур воздуха.



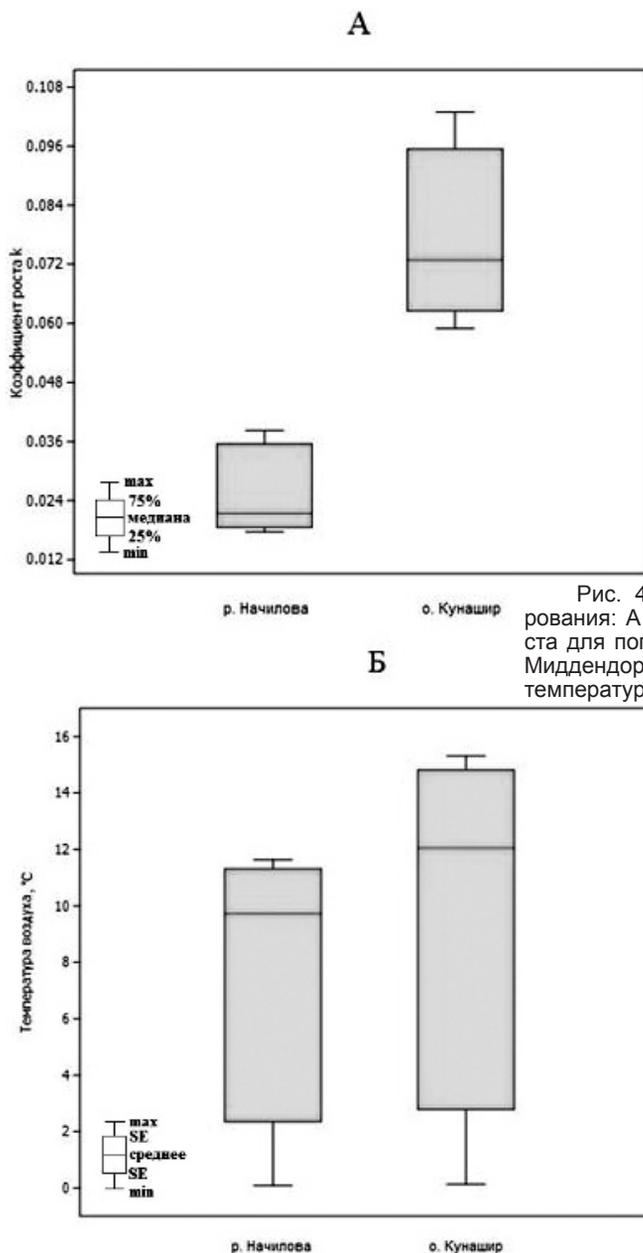


Рис. 4. Диаграммы варьирования: А – коэффициента роста для популяций жемчужницы Миддендорфа, Б – среднелетних температур воздуха.

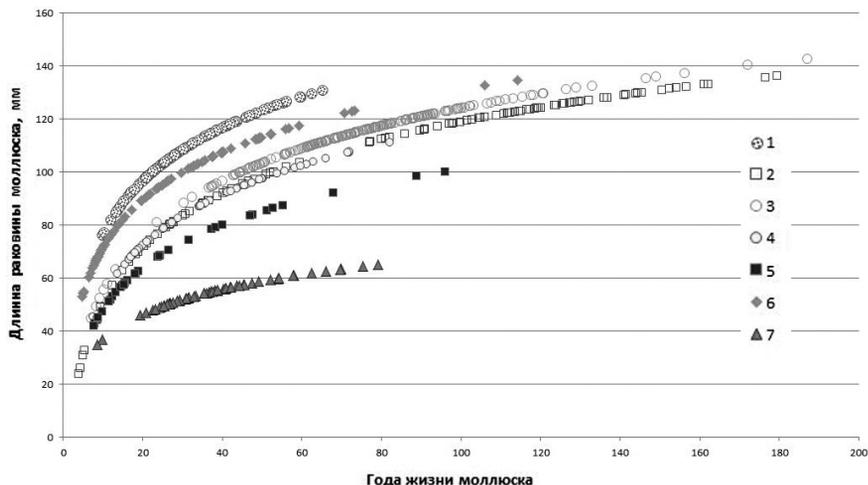


Рис. 5. Кривые роста особей в популяциях: 1 – Пейпия, 2 – Муткайоки, 3 – Ма-лошуйка, 4 – Рикорда, 5 – Серебрянка, 6 – Головнина, 7 – Начилова, полученные на основе расчета скорости роста по методу Берталанфи.

Исследования выполнены при поддержке программ ФАНО (№ 0410-2014-0028, № 0409-2016-0022), РАН (№ 0410-2015-0032), Министерства образования и науки РФ (№ 6.2343.2017/ПЧ), гранта РФФИ (№ 16-34-60152_мол_а_дк).

ЛИТЕРАТУРА

Зотин А.А. Закономерности роста и энергетического обмена в онтогенезе моллюсков: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2009. 20 с.

Семенова М.Н., Карпычева Л.А., Волощенко Б.Б., Бугаев В.Ф. Сравнительный анализ темпов роста европейской жемчужницы *Margaritifera margaritifera* (Bivalvia, Margaritiferidae) // Зоол. журн., 1992. Т. 71. Вып. 5. С. 19-27.

Dunca E., Soderberg H., Norrgrann O. Shell growth and age determination in the fresh-water pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Sweden: natural versus limed stream / Thielen F. (ed.). Rearing of unionoid mussels (with special emphasis on the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*). Mus. Nat. hist. nat. Luxembourg, 2011. Vol. 64. P. 48-58.

Morril J. C. et al. Estimating Stream Temperature from Air Temperature: Implications for Future Water Quality // Journal of Environmental Engineering, 2005. Vol. 131. Issue 1. P. 139-146.

Walford L.A. A New Graphic Method of Describing the Growth of Animals // Biological Bulletin, 1946. Vol. 90. № 2. P. 141-147.

**КАРИОТИП ЕСТЕСТВЕННОЙ ПОПУЛЯЦИИ
ФИТОФИЛЬНОГО *GLYPTOTENDIPES GLAUCUS* MG.
(DIPTERA, CHIRONOMIDAE)
ИЗ ОЗЕРА ЧАЙКА НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА»**

Е.А. Калинина, Н.В. Винокурова
Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
E-mail: EAKalina1@kantiana.ru

Одним из наиболее распространенных и при этом недостаточно изученных представителей семейства хирономид (двукрылых насекомых) во многих водоемах Калининградской области является вид *Glyptotendipes glaucus* Mg., который способен наряду с обитанием на поверхности погруженных субстратов минировать макрофиты и затопленную, разлагающуюся в водоеме древесину (Инверсионный..., 2010; Дурнова и др., 2011; Винокурова и др., 2016).

Известно, что кариологические исследования являются точным инструментом видовой идентификации и позволяют оценить изменения цитогенетической структуры природных популяций хирономид, например, по качественно-количественным характеристикам инверсионного полиморфизма, отражающим микроэволюционные процессы, что также можно применить в экомониторинге. Впервые в июне 2013 г. была исследована фауна хирономид прибрежной зоны оз. Чайка национального парка «Куршская коса» и выявлено доминирование *G. glaucus*, поэтому был изучен и оценен хромосомный полиморфизм 51 личинки IV возраста природной популяции именно этого вида.

Сбор проб, фиксация материала, приготовление кариологических препаратов политенных хромосом слюнных желез личинок и их картирование проводили по стандартным методикам (Belyanina, Durnova, 1998). Фотографии кариотипа *G. glaucus* получены с помощью микроскопа Axio Scope. A1 и фотокамеры AxioCamMRc5 (10×20) (CarlZeiss, Германия).

Для оценки цитогенетической структуры популяции учитывали среднее число гетерозиготных (ГТИ) и гомозиготных (ГМИ) инверсий на особь, количество стандартных и инверсионных последовательностей в популяции, количество геномных комбинаций последовательностей дисков. Уровень хромосомного полиморфизма популяции рассчитывался по числу ГТИ и ГМИ на одну особь.

В целом, кариотип *G. glaucus* ($2n = 8$) из оз. Чайка имеет стандартные маркерные участки. Хромосомы АВ (I), CD (II), EF (III) – метацентрики, хромосома G (IV) – акроцентрик. Центромерные районы морфологически выражены нечетко.

У трех личинок впервые для водоемов г. Калининграда обнаружены эктопические контакты типа теломера-теломера (Т-Т) между хромосомой G (IV) и плечом F хромосомы III (Инверсионный..., 2010; Винокурова и др., 2016). Исследованный кариотип *G. glaucus* представлен 21 хромосомной последовательностью и 24 геномными комбинациями.

Хромосома I (AB) представлена восемью последовательностями с преобладанием стандартных – glaA1 (0.765) и glaB1 (0.588). Высокая частота зарегистрирована для гомо- и гетерозиготных последовательностей glaA2 и glaB2. Также были обнаружены гетерозиготные последовательности glaA3, glaB3, glaB4, glaB6, последовательность glaB6 – только в сочетании с glaB2 с частотой 0.058. Ранее инверсия B2.6 описана только для системы прудов Карасевка г. Калининграда (Инверсионный..., 2010).

В плече C преобладала стандартная последовательность glaC1. У двух особей обнаружена C1.3. Максимально высокий уровень полиморфности отмечен для плеча D (glaD1, glaD2, glaD3, glaD5, glaD6, glaD7). У двух личинок выявлены ранее не описанные последовательности с микроинверсиями glaD6 (23**bac**defg24) и glaD7 (23**abedc**fg24).

Плечи хромосомы III (EF) популяции *G. glaucus* оз. Чайка, в отличие от популяций из других водоемов г. Калининграда, монотипны со стандартными последовательностями дисков (glaE1, glaF1) (Инверсионный..., 2010; Винокурова и др., 2016).

Хромосома G (IV) представлена тремя последовательностями: glaG1, glaG4, glaG5. Последовательности, расконъюгация гомологов в отделах 6-8 и наличие G1.5 (0.079) из оз. Чайка соответствуют описанным ранее Н.А. Дурновой с соавторами для водоемов Саратовской области (Дурнова и др., 2014).

В целом, обнаружено 14 инверсионных последовательностей во всех плечах хромосом исследованной популяции *G. glaucus*, для которой не характерен стандартный кариотип. Наиболее распространены glaB2 (0.314) и glaG4 (0.333). Последовательность glaB2 является эврихорной для водоемов Брянской, Саратовской областей и г. Калининграда (Инверсионный..., 2010; Беянина, 2014).

Уровень инверсионного полиморфизма в популяции *G. glaucus* оз. Чайка составил 72.5%, а число ГТИ на особь – 1.16, что определяет эту популяцию как наиболее кариотипически полиморфную из исследованных популяций г. Калининграда (Инверсионный..., 2010; Винокурова и др., 2016). Возможно, это связано с превышением в 1.3-4.0 раза предельно допустимых концентраций Zn, Cr и Ni для грунтов, на что популяция *G. glaucus* отвечает увеличением уровня инверсионного полиморфизма.

Пара- или перицентрических инверсии, различные эктопические контакты политенных хромосом хирономид являются возможными механизмами эволюции их кариотипов. Так, детектируемый нами эктопический контакт типа Т–Т между хромосомой G (IV) и плечом F (III), возможно, является одним из маркеров микроэволюции популяции *G. glaucus* из оз. Чайка, осуществляющейся через редукцию числа хромосом.

Работа выполнена в рамках «Проекта повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров» Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта.

ЛИТЕРАТУРА

Белянина С.И. Сравнительный хромосомный анализ популяций фитофильной хирономиды *Glyptotendipes glaucus* (Mg.) из водоемов, затронутых чернобыльским выбросом // Генетика, 2014. Т. 50. № 9. С. 1025-1032.

Винокурова Н.В., Калинина Е.А., Столь Э.Э. Кариотип и инверсионный полиморфизм природных популяций *Glyptotendipes glaucus* (Meigen), 1818 (Diptera, Chironomidae) малых водоемов г. Калининграда // Ecological genetics, 2016. Т. 14. № 4. С. 41-51.

Дурнова Н.А., Воронин М.Ю., Сухова Е.И. Биотопическая приуроченность перифитонных хирономид в водоемах Саратовской области // Поволжский экологический журнал, 2011. № 3. С. 304-313.

Дурнова Н.А., Воронин М.Ю., Оглезнева А.А. Хромосомный полиморфизм и цитогенетическая дивергенция *Glyptotendipes glaucus* (Meigen) (Diptera: Chironomidae) из водоемов Саратовской области // Труды Русского энтомологического общества, 2014, Т. 85. № 2. С. 19-26.

Инверсионный полиморфизм *Glyptotendipes glaucus* Mg. (Diptera: Chironomidae) из водоемов г. Калининграда // Генетика, 2010. Т. 46. № 7. С. 786-793.

Belyanina S.I., Durnova N.A. Morphology and chromosomes of phytophilous *Glyptotendipes glaucus* (Diptera, Chironomidae) from water pools of Saratov district. 2. Karyotypic analysis // Russian Journal of Zoology, 1998. Т. 77. № 2. P. 243-251.

АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ДРЕВНИХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ИНДОКИТАЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ РОДА *CONTRADENS*)

Е.С. Коноплева, А.В. Кондаков, И.В. Вихрев, А.А. Таланова
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН
E-mail: es.konopleva@gmail.com

Одной из крупнейших древних пресноводных систем считается речная сеть п-ова Индокитай, формирование которой началось более 40 млн. лет назад. Изначально такие реки, как Ирравади, Салуин

и Меконг составляли единый водосборный бассейн, но в результате геологических процессов, а именно поднятия Тибетского плато и вулканической активности, произошло их отделение друг от друга (Köhler et al., 2010). Как результат, это не могло не повлиять на формирование и эволюцию пресноводной фауны. В настоящее время эти реки представляют собой центры с высоким биоразнообразием и уровнем эндемизма. Исключительным видовым богатством на территории Индокитая отличаются двустворчатые моллюски отряда Unionoidea (наяды). Наиболее широко распространенным таксоном здесь является род *Contradens*. Встречаясь практически во всех тропических бассейнах, он является хорошей модельной группой для реконструкции эволюционных событий и изучения процессов видообразования наяд. Кроме того, известно, что экология видов внутри данного рода недостаточно изучена, а в систематике остается много неразрешенных вопросов (Pfeiffer, Graf, 2015). В связи с этим была поставлена цель исследования – изучить эволюционные процессы в древних речных бассейнах Индокитая на примере рода *Contradens*, используя комплексный подход.

В качестве материала для проведения исследований были использованы представители рода *Contradens*, отобранные из 16 различных точек речных бассейнов Ирравади, Салуина, Меконга и Ситауна. Молекулярно-филогенетический анализ был проведен на основании двух митохондриальных (COI и 16S рРНК) и одного ядерного гена (28S рРНК). В анализе были также использованы дополнительные сиквенсы из базы данных NCBI's GenBank. Форма раковины была проанализирована с использованием коэффициентов Фурье. Была проведена филогенетическая реконструкция с оценкой времени дивергенции таксонов и произведены расчеты происхождения форм по типу водоема.

По результатам филогенетического анализа было выделено 12 видов рода *Contradens*. Внутрь рода попали представители двух других родов *Physunio* и *Trapezoideus*, что свидетельствует о том, что род *Contradens*, как таксономическая единица, проявляет свойства парафилиетической группы. По морфологическим признакам было достаточно сложно выделить данные виды по причине отсутствия видимых различий во внешних параметрах. Так, анализ морфологии раковины с использованием коэффициентов Фурье не показал значительных отличий для основной массы видов, за исключением *P. eximius* и *P. modelli* (рис. 1). Данное сходство в морфологии указывает на присутствие в водотоках Индокитая видов-двойников (криптических видов).

Оценка времени дивергенции таксонов (рис. 2), проведенная с использованием программы для филогенетических реконструк-

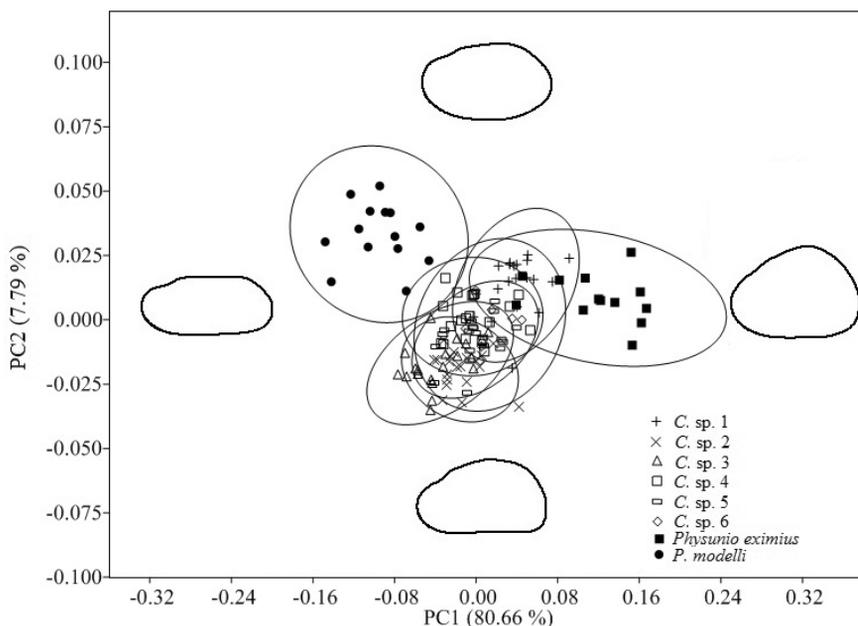


Рис. 1. Анализ формы раковин видов рода *Contradens* методом коэффициентов Фурье. Окружностями обозначены эллипсы 95%-ной доверительной области; приведены крайние варианты форм раковин (-2StD ; $+2\text{StD}$). Брюшным краем раковина ориентирована к горизонтальной оси PC1, передним краем – к вертикальной оси PC2.

ций BEAST, показала, что ближайший общий предок рода *Contradens* эволюционировал в середине мелового периода 89 млн. лет назад (95% -ный доверительный интервал 70-112 млн. лет назад). Внутри рода *Contradens* подклада, включающая представителей из бассейна Меконга, произошла во время позднего мела (78 млн. лет назад, 95% -ный доверительный интервал 59-98 млн. лет назад). Позднее возникла вторая подклада, приблизительно 55 млн. лет назад в начале эоцена (95% -ный доверительный интервал 36-76 млн. лет назад). События видообразования в группе, относящейся к бассейну Меконга, происходили на границе эоцена-палеоцена и позднее в миоценовую эпоху. Примерно в это же время происходила эволюция внутри подклады Салуин+Ирравади+Ситаун, причем более древними являются представители из бассейна Салуина (*C. sp. 4*). Сообщение между бассейнами Ирравади, Ситауна и Салуина было 15.6-55.0 млн. лет назад. Причем Ирравади и Ситаун разошлись позднее среди всех исследуемых рек (15.6 млн. лет

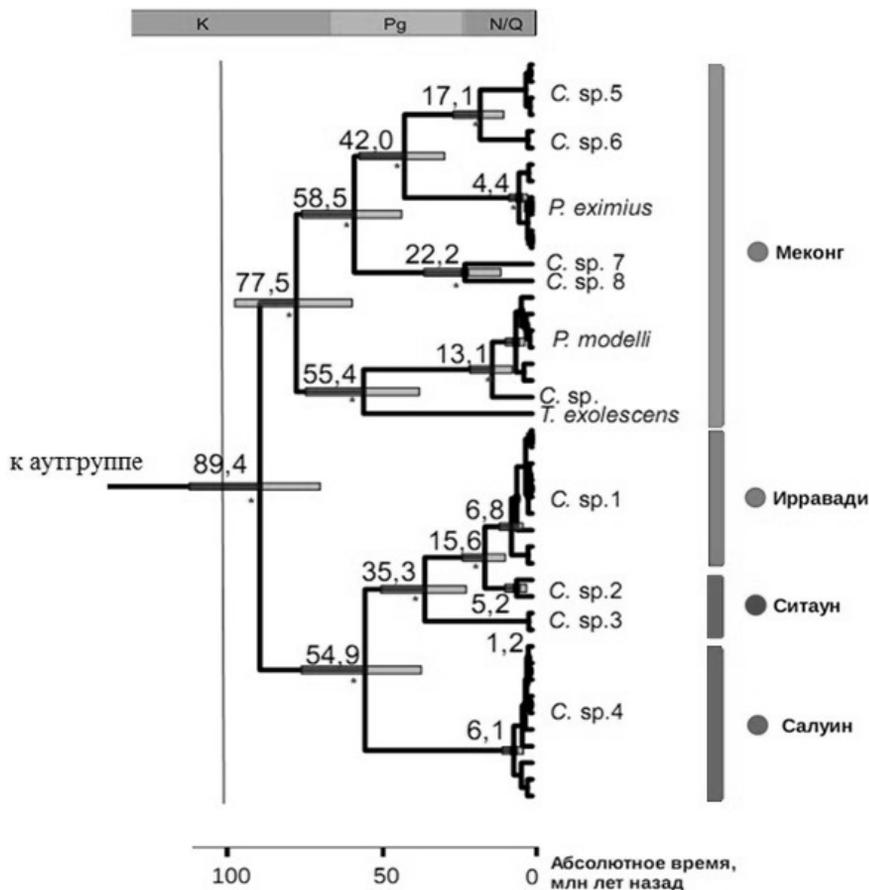


Рис. 2. Фрагмент откалиброванного по палеонтологическим данным филогенетического дерева, построенного на основе трех генов (3 кодона COI+16S+28S). Числа возле узлов обозначают средний возраст, звездочки – вероятность 1.00; прямоугольники – 95%-ный доверительный интервал оценочного времени дивергенции между линиями (млн. лет назад).

назад), об этом также свидетельствует невысокий уровень дивергенции между видами *C. sp. 1* и *C. sp. 2* из данных речных систем ($2.7 \pm 0.6\%$). Согласно топологии датированного филогенетического дерева, происхождение основных клад относится к одному времени – приблизительно 55 млн. лет назад, что согласуется со временем столкновения Индийской и Евразийской тектонических плит (Ali, Aitchison, 2008).

Реконструкция эволюционных процессов по типам водоемов показала, что ближайший общий предок рода *Contradens* был представителем равнинных рек. В процессе эволюции *Contradens* стали распространяться как в равнинных, так и горных местообитаниях. Прекращение сообщения между равнинными формами Меконга и группой рек Салуин+Ситаун+Ирравади способствовало процессам аллопатрического видообразования. Так, в бассейне Меконга ближайший общий предок *P. modelli* остался представителем равнинных рек, а *Contradens* sp. 5 и *Contradens* sp. 6 адаптировались к горным условиям. В равнинных водоемах бассейна Салуина сформировались предковые формы вида *Contradens* sp. 4, а в горных притоках Ситауна и Ирравади возникли ближайшие общие предки *Contradens* sp. 3, sp. 2 и sp. 1.

На основании результатов филогенетической реконструкции была показана изолированность фаун наяд рассматриваемых речных бассейнов. Каждая из крупных речных систем (Меконг, Ирравади, Салуин, Ситаун) вероятно является местом обитания только для свойственных ей отдельных видов индокитайского рода *Contradens*. Можно сделать предположение о существовании не просто отдельных видов, а целых их комплексов, которые состоят из нескольких криптических видов и эндемичны по отношению к отдельному бассейну. Согласно датированной филогении, бассейн Меконга является более древним. Кроме того, на данный момент в нем зарегистрировано наибольшее число видов (восемь видов *Contradens*) с достаточно высоким уровнем дивергенции (3.8-14.6%). Меконг, таким образом, можно рассматривать как древнюю долгоживущую речную систему, наиболее крупную на данный момент в Юго-Восточной Азии.

Исследования выполнены при поддержке грантов Президента РФ (МД-7660.2016.5) и РФФИ (№ 16-34-00638).

ЛИТЕРАТУРА

Ali J.R., Aitchison J.C. Gondwana to Asia: plate tectonics, paleogeography and the biological connectivity of the Indian sub-continent from the Middle Jurassic through latest Eocene (166-35 Ma) // *Earth-Science Reviews*, 2008. Vol. 88 (3). P. 145-166.

Köhler F., Seddon M., Bogan A.E. et al. The status and distribution of freshwater molluscs of the Indo-Burma region / Allen D.J., Smith K.G., & Darwall W.R.T. (Compilers). The status and distribution of freshwater biodiversity in Indo-Burma. Cambridge, UK and Gland, Switzerland: IUCN, 2012. P. 66-88.

Pfeiffer J.M. III, Graf D.L. Evolution of bilaterally asymmetrical larvae in freshwater mussels (Bivalvia: Unionoida: Unionidae) // *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2015. Vol. 175. P. 307-318.

ПОЧВЕННЫЕ НЕМАТОДЫ ТУНДРОВЫХ МЕСТООБИТАНИЙ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ХАРАКТЕРОМ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

А.А. Кудрин

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kudrin@ib.komisc.ru

Несмотря на огромный интерес к изучению арктических территорий, связанный как с уникальностью сформировавшихся здесь экосистем, так и с особой чувствительностью данных территорий к процессам глобального потепления, отмечается недостаточное внимание к исследованию разнообразия и структурных особенностей почвенной фауны в условиях тундры. Беспозвоночные животные являются одним из важнейших компонентов почвенной экосистемы и даже в условиях арктических территорий, где климат характеризуется крайне суровыми условиями, могут достигать больших показателей обилия (Petersen, Luxton, 1982).

Характер растительности и почвенные условия, вероятно, играют значительную роль в определении состава и структуры почвенных беспозвоночных в тундровой зоне. В частности, в исследованиях Л.Л. Кузьмина (1977) показаны различия в составе почвенной фауны на участках, отличающихся характером растительности. Однако большинство работ связано только с изучением таксономического состава почвенных беспозвоночных в арктической зоне (The terrestrial..., 2014). Связь характера тундровой растительности и структурных характеристик почвенных беспозвоночных описана далеко не в полной мере. Еще больший интерес вызывает вопрос о том, какие при этом факторы и как обуславливают распределение нематод, поскольку факторы среды могут действовать на почвенных беспозвоночных как прямо, так и опосредованно. В результате этого довольно сложно оценивать комплексное воздействие различных факторов на почвенную фауну.

В представленной работе мы попытаемся ответить на следующие вопросы: 1) насколько отличаются комплексы почвенных нематод в тундровых местообитаниях, обладающих различным характером растительности? 2) какие при этом факторы и как обуславливают распределение нематод в исследованных тундровых местообитаниях?

Исследования проводились в болшеземельской тундре в окрестностях г. Воркута. Были выбраны три участка, отличающихся характером растительности: 1) крупноерниковая кустарничково-моховая тундра, где в кустарниковом ярусе господствует *Betula nana* L., содоминантами выступают *Salix lanata* L., *S. phylicifo-*

lia L., *S. glauca* L. Сомкнутость кустарникового яруса – 0.5-0.7 м, высота – 0.7-1.0 м; 2) мелкоерниковая кустарничково-моховая тундра. Кустарниковый ярус также образует *V. nana* при участии *S. lanata* и *S. phylicifolia*, однако вклад последних существенно менее выражен по сравнению с участком 1. Сомкнутость кустарникового яруса 0.6-0.8, его высота 0.5-0.7 м; 3) кустарничковая лишайниково-моховая тундра. Здесь отсутствует сомкнутый кустарниковый ярус. Высота присутствующих отдельных экземпляров *V. nana* не превышает 0.2-0.3 м. ОПП травянисто-кустарничкового яруса 40-50%. Лишайниково-моховый покров сплошной.

Почвенные пробы для учета комплексов нематод отбирали в июле и августе 2016 г. В общей сложности было отобрано 60 почвенных проб размером 5×5 см на глубину органогенного горизонта. Экстрагировали нематод из образцов почвы в соответствии с модифицированным методом Бермана, фиксировали в 4%-ном растворе формалина и готовили временные и постоянные глицериновые препараты. Выделение эколого-трофических групп – согласно классификации Yeates (1993), численность выражали в экз./100 г сухой почвы. Достоверность различий численности нематод между участками была оценена при помощи критерия Tukey HSD ($p < 0.05$). В августе дополнительно проводили измерения температуры почвы и отбор проб для определения кислотности, содержания неорганического азота ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$), C/N, общего содержания азота и углерода.

В ходе исследования обнаружен ряд отличий нематодных комплексов между исследованными участками (см. таблицу). Численность нематод значительно различалась между крупноерниковой и кустарничковой тундрами, тогда как мелкоерниковая тундра по

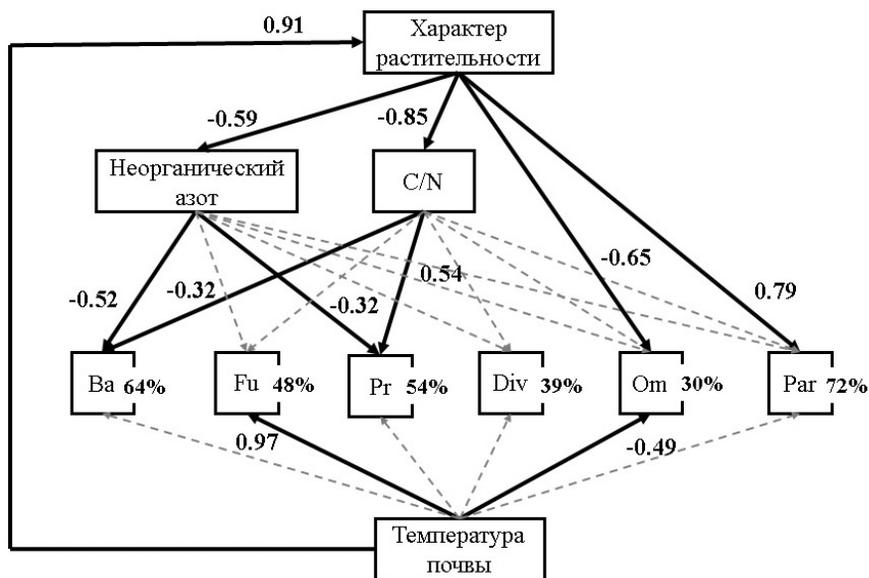
**Общая численность нематод (экз./100 г)
и численность отдельных трофических групп (экз./100 г)
в тундровых местообитаниях, отличающихся характером растительности**

Показатель	Крупноерниковая кустарничково-моховая тундра	Мелкоерниковая кустарничково-моховая тундра	Кустарничковая лишайниково-моховая тундра
Общая численность	10171±2133a	6183±1193ab	3809±590b
Бактериотрофы	3793±964a	3247±979 ab	1589±330b
Микотрофы	3321±969a	1724±298b	1100±173c
Хищники	39±25a	118±45b	199±98b
Всеядные	749±234a	679±139a	780±159a
Паразиты	2197±1018a	294±61b	35±15c

Неодинаковые буквы указывают на достоверность различий численности нематод между участками, отличающимися характером растительности (Tukey HSD test, $p < 0.05$).

этому показателю занимала промежуточное положение. Для бактериотрофных нематод отмечена схожая тенденция. Численность паразитических нематод и микотрофов четко различалась между всеми участками с наибольшими показателями в крупноерниковой и наименьшими – в кустарничковой тундре. Хищные нематоды наиболее обильны были в мелкоерниковой и кустарничковой тундрах, тогда как численность всеядных нематод не отличалась между исследованными участками.

Для выявления факторов, определяющих распределение нематод на исследованных участках, применяли метод моделирования структурными уравнениями (structural equation modelling – SEM). В результате была построена модель (см. рисунок), хорошо описывающая изменение регистрируемых параметров почвы, обилия и разнообразия почвенных нематод ($\chi^2 = 4.596$, $df = 7$, $P = 0.709$; $CFI = 1.000$; $RMSEA = 0.000$). Построенная модель позво-



Результаты моделирования структурными уравнениями влияния различных факторов на численность и разнообразие почвенных нематод ($\chi^2 = 4.596$, $df = 7$, $P = 0.709$; $CFI = 1.000$; $RMSEA = 0.000$). Черными стрелками показано достоверное влияние ($P < 0.05$), серыми – недостоверное. Значения над стрелками – стандартизированные регрессионные коэффициенты (standardized path coefficients). Проценты у эндогенных переменных – объясненная дисперсия. Ba – бактериотрофы; Fu – микотрофы; Pr – хищники; Om – всеядные; Par – паразиты растений, Div – число родов на пробу.

ляет предполагать, что фактор температуры почвы в основе своей носит опосредованное влияние на почвенных нематод и проявляется через изменение характера растительности и связанных с этим почвенных условий. Только микотрофы и политрофы напрямую испытывают влияние температуры, тогда как разнообразие нематод довольно слабо описывается учитываемыми параметрами и, по-видимому, определяется другими факторами.

Таким образом, изученные комплексы нематод характеризуются явными отличиями между участками с разным характером растительности. Наибольшие показатели численности нематод и отдельных трофических групп отмечены в крупноерниковой кустарничково-моховая тундре, наименьшие – в кустарничковой лишайниково-моховой тундре. Влияние температуры почвы на нематод в основе своей опосредовано через изменение характера растительности и связанных с ней параметров почв, тогда как прямое влияние температуры отмечено только для микотрофных и всеядных нематод.

Автор выражает огромную благодарность сотрудникам института биологии Коми НЦ УрО РАН Т.Н. Конаковой и А.А. Таскаевой за помощь в организации полевых работ, отборе почвенных проб и обсуждении результатов, Е.А. Мандрик за помощь в подготовке почвенных проб для химического анализа, А.Н. Панюкову, Е.М. Лаптевой и Ю.В. Холопову за описание растительности и помощь в выборе участков.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы НИР отдела экологии животных «Животный мир европейского северо-востока России в условиях хозяйственного освоения и изменения окружающей среды», номер государственной регистрации РК 115012860088, номер ФАНО (ИСГЭ) 0414-2014-0006.

ЛИТЕРАТУРА

The terrestrial and freshwater invertebrate biodiversity of the archipelagoes of the Barents Sea, Svalbard, Franz Josef Land and Novaya Zemlya / *S.J. Coulson, P. Convey, K. Aakra et al.* // *Soil Biology and Biochemistry*, 2014. Vol. 68. P. 440-470.

Kuzmin L.L. Free-Living nematodes in the tundra of Western Taimyr // *Oikos*, 1976. Vol. 27. P. 501-505.

Petersen H., Luxton M. A Comparative Analysis of Soil Fauna Populations and Their Role in Decomposition Processes // *Oikos*, 1982. Vol. 39. P. 288-388.

Yeates G.W., Bongers T., De Goede R.G.M., Freckman D.W., Georgieva S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists // *J. Nematol.*, 1993. Vol. 25. P. 315-331.

**СТРУКТУРА ФАУНЫ И ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ
БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA)
ЮЖНОЙ ТАЙГИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.В. Мазеева¹, О.И. Кулакова²

¹ Вятский государственный университет

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: mазееваal@yandex.ru; iduna@rambler.ru

Булавоусые, или дневные чешуекрылые являются важным компонентом большинства наземных биогеоценозов, выполняя функции опылителей цветковых растений и промежуточного звена в трофических цепях. Благодаря короткому жизненному циклу и наличию крылатой стадии имаго они быстро реагируют на изменение условий окружающей среды, что обуславливает их высокие биоиндикационные свойства и возможность использования в экологическом мониторинге, при комплексной оценке биоразнообразия, проектировании особо охраняемых природных территорий (Татаринов, Долгин, 1999).

Геозологические исследования булавоусых чешуекрылых в таежной зоне европейской части России охватывают преимущественно подзоны северной и средней тайги и практически не ведутся в подзоне южной тайги. В Кировской области данная растительная подзона занимает большую часть региона.

В ходе полевых работ, проводившихся с 2014 по 2016 г. на исследуемой территории, было отловлено более 1.5 тыс. экз. бабочек и выявлено 69 видов из 42 родов булавоусых чешуекрылых, что составляет 59.5% зарегистрированного в данной подзоне и 52.3% видового разнообразия Кировской области.

По совокупности литературных и наших данных, фауна булавоусых чешуекрылых подзоны южной тайги Кировской области насчитывает 116 видов из 58 родов, шести семейств (Чарушина, Шернин, 1974; Решетников, 2014; Мазеева, Кулакова, 2016). Нами впервые обнаружены пять видов дневных бабочек (*Colias crocea* Frer., *Lycaena tityrus* Poda., *Cupido minimus* Schr., *Everes alcetas* Hoffm., *Pyrgus alveus* Hbn.) и подтверждено наличие в южной тайге *Carcharodus flocciferus* (темнокрылка шандровая). В дальнейшем, по нашему мнению, возможно обнаружение видов, характерных для подзоны хвойно-широколиственных лесов и степных видов-мигрантов, а также видов с двухгодичной генерацией.

В фауне Кировской области, как и территории южной тайги, преобладает семейство Нимфалиды (*Nymphalidae*), которое представлено 37 видами из 14 родов. Преобладают рода *Nymphalis* (шесть видов), *Melitaea* (семь) и *Argynnis* (пять).

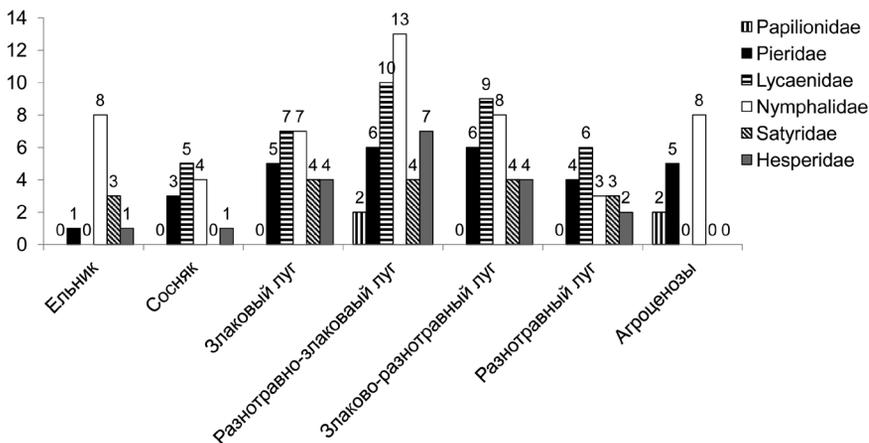
Многочисленно также семейство Голубянки (*Lycaenidae*) (31 вид, 14 родов). Наиболее разнообразный для данной территории род *Lycaena* (семь видов). Для подзоны южной тайги нами впервые обнаружены три вида голубянок: *Lycaena tityrus* Poda., *Cupido minimus* Schr. и *Everes argiades* Pall.

Представленность бархатниц (семейство *Satyridae*) на исследуемой территории гораздо беднее, чем других семейств: нами были обнаружены лишь восемь видов из семи родов. По количеству видов лидировал род *Coenonympha*, причем в монографии *Erebia ligea* L. из рода *Erebia* описывался как фоновый вид, а нами не был обнаружен вовсе (Чарушина, Шернин, 1974).

Достаточно полно представлено семейство Белянки (*Pieridae*) – 15 видов из восьми родов. Лидируют по числу видов род *Pieris* – белянки (три вида) и *Colias* – желтушки (пять видов) (Чарушина, Шернин, 1974; Мазеева, Кулакова, 2016).

Нами были обнаружены практически все приводимые разными авторами для данной территории виды семейств Толстоголовки (*Hesperiidae*) и Парусники (*Papilionidae*). В сборах отсутствовали только лишь *Pyrgus carthami* Hbn., *Carterocephalus palaemon* Pall. и *Driopa mnemosyne* L. Впервые для южной тайги Кировской области обнаружен *Pyrgus alveus* Hbn. в 2016 г. в окрестностях г. Кирова.

Булавоусые чешуекрылые распределены неравномерно и их видовое разнообразие в разных биотопах может различаться (см. рисунок).



Биотопическое распределение булавоусых чешуекрылых южной тайги Кировской области. По вертикали – количество видов.

Основным местообитанием булавоусых чешуекрылых являются различные типы лугов. На них встречаются 56 видов из шести семейств, или 81.2% обнаруженных видов. Наиболее разнообразны в луговых сообществах семейство Нимфалиды (Nymphalidae), представленные девятью видами из пяти родов, и Голубянки (Lyscaenidae), насчитывающие на лугах различных типов девять видов из шести родов.

Также на всех типах лугов отмечались *Pieris napi*, *Pieris rapae*, *Gonopteryx rhamni*, *Everes argiades*, *Plebejus idas*, *Polyommatus semiargus*, *Polyommatus icarus*, *Nymphalis io*, *Coenonympha glycerion*, *Aphantopus hyperantus*, *Hyponephele lycaon*, *Thymelicus lineola*, *Thymelicus sylvestris*.

В лесных биоценозах булавоусые немногочисленны, встречаются преимущественно на лесных полянах, тропах, опушках, просеках (в том числе под ЛЭП). В данном типе местообитаний нами был встречен 21 вид булавоусых чешуекрылых. Преобладали Нимфалиды, полностью отсутствовали Парусники (Papilionidae).

В агроценозах наиболее часто встречаются чешуекрылые *Pieris napi*, *P. rapae*, реже *P. brassicae*, а также *Nymphalis urticae*, *N. io*. Также достаточно часто, особенно весной и в начале лета, летает *Gonopteryx rhamni*. В годы массового лёта (2012, 2013) в агроценозах многочисленна *Aporia crataegi*. Изредка здесь можно встретить *Polygonia c-album*, *Araschnia levana*, *Nymphalis antiopa*, *Vanessa atalanta*.

В разные годы в г. Кирове наблюдались единичные особи *Iphiclides podalirius*, *Anthocharis cardamines*, *Limenitis populi*, *Vanessa cardui*. В июле 2015 в пос. Медведок Холинского района был встречен *Parnassius apollo*, а в августе 2015 в пгт. Кумены – *Thecla betulae*.

Связь между растительностью и обликом биотопического комплекса во многом определяют трофические предпочтения личинок булавоусых чешуекрылых. Бабочки южной тайги на личиночной стадии трофически связаны с растениями 30 семейств Покрытосеменных. У разных семейств *Rhopalocera* специализация на определенном кормовом растении выражена в разной степени. Наибольшую роль в их питании играют виды семейств Бобовые (Leguminosae) и Злаковые (Gramineae).

Наиболее многочисленной трофической группой в южной тайге являются полифаги (46.6%). Несколько меньше олигофагов (41.4%). Самой малочисленной группой являются монофаги (12.1%), что характерно и для других, в том числе сопредельных, территорий (Татаринов, Кулакова, 2009).

Трофическая специализация в разных семействах бабочек выражается в разной степени. Так, среди семейств Pieridae, Lycaenidae, Satyridae и Hesperidae большинство видов являются олигофагами, нимфалиды (Nymphalidae) в основном полифаги (что вероятно и обуславливает их высокое разнообразие), а у парусников (Papilionidae), представленных в регионе четырьмя видами, сложно выделить общую тенденцию в питании.

Большая часть булавоусых чешуекрылых (67%) южной тайги является хортофагами – питаются на травянистых растениях. Относительно многочисленны (16%) тамно-хортофаги, т.е. виды, трофически связанные одновременно с травянистыми растениями, кустарниками и кустарничками. На долю остальных групп приходится не более 10% каждой.

В фауне *Rhopaloscega* южной тайги Кировской области преобладают виды, развивающиеся в одном поколении. Бициклических видов более чем в два раза меньше. Некоторые виды развиваются в течение двух лет (двухгодичная генерация). Таковы, например, *Erebia embla* и *E. ligea*. Данные о числе генераций таких видов, как *Colias hyale*, *Everes alcetas*, *Plebejus argus*, *Polyommatus icarus*, *Apatura ilia*, *Limenitis camilla*, *Pararge aegeria*, *Coenonympha pamphilus*, в литературе расходятся, а накопленный фактический материал не позволяет сделать однозначного вывода, поэтому жизненные циклы данных видов будут по мере возможности исследованы в будущем. То же относится и к впервые зарегистрированной в июле 2015 г. в Медведском бору *Colias crocea*.

У половины (50%) булавоусых чешуекрылых подзоны южной тайги Кировской области зимует личинка того или иного возраста. Значительно меньше *Rhopaloscega* впадают в диапаузу на стадии куколки (14%), имаго (8.8%), яйца (8.7%). Для части видов сведений о зимующей стадии в изученной литературе не приводится вовсе (12.3%) (Матвеев, Бекмансуров, 2007).

ЛИТЕРАТУРА

Кулакова О.И., Мазеева А.В. Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera: Diurna) памятника природы «Медведский бор» (Нюльинский р-н, Кировская обл.) // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2015. С. 204-207.

Матвеев В.А., Бекмансуров М.В. Животный мир Республики Марий Эл. Ч. 3. Беспозвоночные (Чешуекрылые, дневные бабочки): научное издание. Йошкар-Ола, 2007. 94 с.

Мазеева А.В., Кулакова О.И. Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera: Rhopaloscega) подзоны южной тайги Кировской области // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2016. С. 430-433.

Решетников С.П. Отряд Чешуекрылые, или Бабочки (Lepidoptera) // Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд. 2-е. Киров: ООО «Кировская областная типография», 2014. С. 129-135.

Татаринов А.Г., Кулакова О.И. Обзор трофических связей (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperidoidea) европейского северо-востока России // Труды Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2009. № 185. С. 66-81.

Татаринов А.Г., Долгин М.М. Фауна европейского северо-востока России. Т. 7. Ч. 1. Булавоусые чешуекрылые. СПб.: Наука, 1999. 183 с.

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

СООБЩЕСТВА МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГА

И.В. Моролдоев

Институт систематики и экологии животных СО РАН

e-mail: igmor@list.ru

Река Селенга является крупнейшим притоком оз. Байкал, обеспечивающая до половины его ежегодного притока воды. 70% бассейна реки находится на территории Монголии, остальные 30% – России. Средний многолетний сток реки в Байкал составляет порядка 29 км³ воды и около 4 млн. т взвесей, большая часть которых оседает в обширной дельте. Дельта Селенги представляет собой заболоченную низменность и является крупнейшей полностью пресноводной внутренней дельтой в мире (Дельта реки Селенги..., 2008).

В течение последнего столетия уровень оз. Байкал претерпевал и претерпевает значительные колебания, а вместе с ним изменяется и территория дельты Селенги. Фактором, значительно изменившим местообитания дельты Селенги, послужило последовавшее за строительством Иркутской ГЭС на р. Ангара поднятие уровня оз. Байкал примерно на 1 м и затопление значительной прибрежной территории. Безусловно, важным является проведение оценки масштабов трансформации населения животных в градиенте изменения местообитаний в дельте Селенги.

Целью наших работ явилось изучение структуры и разнообразия населения мелких млекопитающих дельты р. Селенги. Исследованиями были охвачены основные биотопы в островной части дельты (урочище Среднее Устье) и притеррасной части (залив Черкалов Сор). Основной материал собран при использовании стандартных трапиковых ловушек для поимок зверьков, а также привлечены данные, полученные в результате отловов давилками и ловчими канавками.

Основные сведения о фауне и структуре населения мелких млекопитающих дельты р. Селенга середины прошлого века были сообщены Ю.Г. Швецовым (1977). В островной части дельты доминировала полевка Максимовича (*Alexandromys maximowiczii*), среди насекомоядных млекопитающих – крупнозубая бурозубка (*Sorex daphaenodon*). Полевка-экономка (*A. oeconomus*) на островах составляла не более пятой части численного обилия мелких млекопитающих. В притеррасной части дельты видовое разнообразие было большим. Доминировали виды, характерные для открытых местообитаний – даурский хомячок (*Cricetulus barabensis*), полевка Максимовича (*A. maximowiczii*) и большая полевка (*A. fortis*).

Согласно нашим исследованиям, полевка-экономка в настоящее время является наиболее многочисленным видом мышевидных грызунов в дельте Селенги, особенно на островах. Предпочитает заливные луга, заросли кустарников по берегам протоков, калтусы. Полевка Максимовича до поднятия уровня Байкала заселяла все острова дельты Селенги, однако после 1962 г. сохранилась лишь на центральной части дельты, на самых высоких и менее заливаемых островах. По нашим данным, в настоящее время острова в центральной части дельты полностью заняты полевкой-экономкой.

В отловах насекомоядных на островах в дельте Селенги доминирует обыкновенная бурозубка (*S. araneus*). В середине XX в. этот вид отмечался в дельте, но численность его была очень низкой. Равнозубая бурозубка (*S. isodon*) отловлена нами на островах в зарослях кустарников, но численность ее гораздо ниже, чем у обыкновенной бурозубки. По данным Ю.Г. Швецова (1977), на островах этот вид отсутствует.

Даурский хомячок широко распространен в притеррасных биотопах дельты Селенги, особенно высокой численности достигает на полях, в смешанном мелколесье, зарастающих залежах и кустарниках среди полей. Также на зарастающих полях и сенокосных угодьях в притеррасной части дельты высокой численности достигает узкочерепная полевка (*Lasiopodomys gregalis*), уловистость которой в августе 2016 г. составила 27.5 ос./100 лов.-сут.

Наиболее разнообразными на островах являются лесные сообщества притеррасной части дельты: березовые и смешанные мелколиственные леса, а на островах высокими значениями индекса Шеннона отличаются калтусы – заочкаренные болотистые участки. При этом сообщества мелких млекопитающих кустарниковых зарослей на островах (в основном, ивовые заросли) отличаются низкой выровненностью и высокими значениями индекса домини-

рования Шеннона из-за большого численного обилия полевки-экономки. Так, на о-ве Среднее Устье этот вид достигает численности в 16 ос./100 лов.-сут.

Наименее выровненными сообществами мелких млекопитающих притеррасной части дельты являются сообщества заброшенных агроценозов (полей и залежей) из-за низкого видового разнообразия и значительного доминирования узкочерепной полевки (индекс Симпсона 0.63, наибольший среди изученных сообществ).

При использовании количественного индекса Чекановско-го-Сьеренсена была проведена классификация сообществ мелких млекопитающих дельты Селенги. В единый кластер на дендрограмме объединяются сообщества островов дельты, причем наиболее сходны сообщества калтусов и заливных осоковых лугов. Лесные сообщества мелких млекопитающих образуют отдельную кладу, к которым причленяются сообщества увлажненных местообитаний притеррасной части. Отдельный кластер образуют сообщества агроценозов притеррасной части дельты.

Таким образом, сообщества мелких млекопитающих в дельте р. Селенга в последние 100 лет претерпели значительные изменения в структуре и составе из-за изменившихся в течение прошедшего столетия условий обитания. Основные изменения выявлены в островной части дельты. Некоторые виды (полевка Максимо-вича, крупнозубая бурозубка), отмечавшиеся до поднятия уровня Байкала как доминантные виды, в настоящее время на островах в центральной части дельты нами не были обнаружены. Напротив, стали достигать высокой численности виды, ранее не входившие в состав доминантов (обыкновенная бурозубка и полевка-экономка).

ЛИТЕРАТУРА

Дельта реки Селенги – естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал / Отв. ред. А.К. Тулохонов, А.М. Плюсин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 314 с.

Швецов Ю.Г. Мелкие млекопитающие Байкальской котловины. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.

РАЗНООБРАЗИЕ И ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МАССОВЫХ ВИДОВ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (ВКГПЗ) И ГОРОДА НИЖНЕКАМСКА

Т.Р. Мухаметнабиев¹, Р.А. Суходольская², Р.М. Зелеев¹

¹Казанский (Приволжский) Федеральный университет

²Институт проблем экологии и недропользования

Академии наук Республики Татарстан

E-mail: tirmuhametnabiev@stud.kpfu.ru

Жужелицы – одно из наиболее крупных и распространенных семейств жуков. Архетип таксы относительно однороден, что сказывается на простоте измерения морфологических особенностей. Виды семейства, присутствующие в количестве, позволяющем собрать статистически значимое число (~100) классическими методами, называются массовыми (Лакин, 1990). Занимая в большинстве своем экологическую нишу почвенных хищников, рацион имеют разнообразный, что определило значительное распространение некоторых видов семейства, позволив населять сходные, но географически отдаленные сообщества, тем самым способствуя полиморфизму. Распространенные по биотопам, отличающимся условиями более чем представлена наследственная изменчивость вида, особи могут различаться из-за влияния условий онтогенеза. Исходя из этого, мы можем заключить, что знания о закономерностях развития и формирования изменчивости представителей в выборке, отражающей популяцию, могут служить как индикатором состояния среды (с поправкой на срок выполнения причинно-следственной связи), так и индикатором состояния сообщества, действующих в нем факторов. Следовательно, для рассмотрения были выделены следующие цели.

1. Оценка флуктуирующей асимметрии – отличия сторон билатерально-симметричных животных, при рассмотрении большого количества материалов удобнее всего выражаемая как дисперсия частных случаев. Так как показатель асимметрии отдельного признака – разница между двумя величинами, то ему присваивается значение $d[l-r]$, $\Sigma d[l-r]$ в сумме, либо ее удвоенное значение в зависимости от сторон симметрии, но это не представляется целесообразным при характеристике среднего. Из этого следует, что дисперсия $= \sigma^2 = (\Sigma(d[l-r])^2)/(n-1)$. С учетом же вытекаемого предположения о корреляции показателя с неким фактором и получения направленной асимметрии, стоит ввести поправку среднего различия сторон – $M[d]=\Sigma d[l-r]/n$. Следовательно, дисперсия для асимметричных признаков приобретает значение: $\sigma^2 d = (\Sigma(d[l-r]-M[d])^2)/(n-1)^{(3)}$.

2. Поиск корреляции между полом и значениями доли длин передних голеней (s_1+s_2) от суммы длин тагм, $(A+B+D)$ сравнение с упрощенной площадью $(A \cdot (B_1+B_2)+B \cdot \Gamma+D \cdot E)$, произведением промеров.

Тагмы измерены по методу Р.А. Гринько (2002), дополненому длиной передних голеней и числом точек (медиальной борозды) надкрылий. Ранжирование населенных биотопов проводилось ступенчато по степени антропогенного влияния и соответствия биотопов литературным данным об экологических предпочтениях вида (Шарова, Денисова, 1997; Hammer, 2012). Подсчет корреляции велся по методу Спирмена при несоответствии распределения нормальному, Пирсона – в противном случае (Zangger, 1994). Морфометрические данные сохранены в формате «.xlsx» для упрощения последующего импорта и обработки в PAST. Материалы отобраны на 17 кварталах Волжско-Камского заповедника по кадастру (Кадастр..., 2014) и 16 территориях г. Нижнекамск по методике почвенных ловушек Барбера, сохранены в 70%-ном спирте и в сухом виде на энтомологических булавках. Животные представлены 48 видами, из которых как массовые выделены рассмотренные ниже.

Значение корреляции (Спирмена) дисперсии асимметричных морфометрических показателей массовых видов представлены в таблице:

<i>Carabus cancellatus</i> Illiger, 1798 (3 пробы)	σ^2 ширины оснований надкрылий	σ^2 бугорков	σ^2 длин передних голеней
S p	0.86603	0.86603	-0.86603
<i>C. arcensis</i> Hbst., 1784 (4 пробы)	σ^2 ширины оснований надкрылий	σ^2 бугорков	σ^2 длин передних голеней
S p	-0.89443	-0.89443	0.44721
<i>P. oblongopunctatus</i> F., 1787 (8 проб)	σ^2 ширины оснований надкрылий	σ^2 вдавлений	σ^2 длин передних голеней
S p	-0.050735	-0.24099	0.10147
<i>P. niger</i> Shall., 1783 (5 проб)	σ^2 ширины оснований надкрылий		σ^2 длин передних голеней
S p	0.9		0.79034

Показатели корреляции между долей длин передних голеней от общей длины и сравнение с площадью представлены ниже (полужирный шрифт – для соответствующей корреляции):

Spearman	L	S	Pearson	L	S
<i>Carabus cancellatus</i>	-0.1072	0.16462	<i>C. cancellatus</i>	-0.1039	0.2015
<i>Carabus arcensis</i>	-0.0685	0.2994	<i>C. arcensis</i>	-0.0414	0.2994
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i>	-0.0559	0.19119	<i>P. oblongopunctatus</i>	-0.0087	0.1076
<i>Pterostichus niger</i>	-0.0139	0.40616	<i>P. niger</i>	-0.1443	0.0631
<i>Pterostichus melanarius</i> Illiger, 1798	0.1453	0.3451	<i>P. melanarius</i>	0.1735	0.1902
<i>Poecilus cupreus</i> Linne, 1758	0.0086	-0.0185	<i>P. cupreus</i>	-0.3581	-0.3815

Итак, произведена попытка выявить корреляцию парных морфологических признаков массовых видов и степень ее индикаторной значимости. В соответствии с ней выделен вид с выраженной индикаторной значимостью – *P. niger*, выраженное отсутствие таковой – у *P. oblongopunctatus*.

Подтверждены литературные данные о наличии взаимосвязи доли длин передних голеней как меры локомоторной активности и полового диморфизма у *P. cupreus*, и выявлено нормальное распределение линейных и плоскостных морфометрических данных у *C. cancellatus*, только линейных – у *P. melanarius*.

ЛИТЕРАТУРА

Гринько Р.А. Динамика экологической структуры популяции жукелиц зональных и интразональных экосистем при разной степени их изоляции: Дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород: ННГУ, 2002. 179 с.

Кадастр сообществ почвообитающих беспозвоночных (мезофауна) естественных экосистем Республики Татарстан / А.К. Жеребцов, Т.И. Артемьева, Р.М. Сабиров, Н.В. Шулаев и др. Казань: Казан. ун-т, 2014. 308 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия. Издание четвертое, переработанное и дополненное. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

Шарова И.Х., Денисова М.И. Сезонная динамика лесных популяций жукелиц рода *Pterostichus*// Зоологический журнал, 1997. Т. 76. № 4. С. 418-427.

Hammer III. Paleontological Statistics, 2012. 250 p.

Zangger A. The positive influence of strip-management on carabid beetles in a cereal field: accessibility of food and reproduction in *Poecilus cupreus*: Ecology and evolution, 1994. P. 469-472.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ *DELPHINAPTERUS LEUCAS*, PALLAS У МЫСА БЕЛУЖИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2015 ГОДА

А.И. Ненашева-Желудкова

Архангельский областной институт открытого образования

E-mail: ki-delf@mail.ru

Вопрос о поведении белухи (*Delphinapterus leucas*, Pallas 1776) в естественной среде затрагивался в ходе исследований на Анадырском лимане, Шпицбергене, на промыслах в Белом, Карском морях (Клейнбергер и др., 1964; Матишов, Огнетов, 2006) и других районах. Поведение китообразных, в том числе и белухи, подробно описано, как преимущественно в неволе (Крушинская, Лисицына, 1983), так и в естественной среде (Атлас СССР..., 1980; Бурдин и др., 2009). По скоплению белухи у мыса Белужий составлена социограмма, описан бюджет времени самки и детеныша, описано соотношение форм двигательной активности (Краснова, Чернецкий, 2000).

Несмотря на то, что поведение белухи в естественной среде описано во многих научных источниках, учитывая сложность поведения вида и то, что 80% времени белухи проводят под водой, вопрос о поведении белухи остается открытым и требует дальнейшего более детального изучения.

Наблюдения велись с 8 июля по 12 августа 2015 г. на мысе Белужий (о-в Соловецкий) один или два раза сутки в конце отлива, начале прилива. Частота наблюдений зависела от длины светового дня, поэтому с 24 июля по 12 августа ночью дежурств не было. Наблюдения не велись из-за сильного шторма с 2, 3 и 6 августа. Длительность одного наблюдения в среднем составила 2 ч 10 мин., всего бюджет времени составил 79 ч 08 мин. Визуальные наблюдения осуществлялись со смотровой вышки (12 м) при помощи бинокля Nikon Action 10-22×50 3.8 at 10×. Полученные данные заносились в полевой дневник методом сплошного протоколирования и фокальным методом (Попов, Ильченко, 2008). Также использовался метод фотоидентификации.

Была составлена этограмма белухи, поведение описано на IV структурных уровнях поведения (Панов, 2009). Выделено 44 элемента этограммы (I структурный уровень поведения – 12, II – 21, III – 5, IV – 6), **этограмма остается открытой. Помимо этограммы описывался континуум поведения при фокальных наблюдениях как за отдельными особями, так и за группой особей. Всего при помощи визуальных наблюдений фотоидентификации было выделено 47 индивидуально опознаваемых особей: 11 темно-се-**

Таблица 1

Этограмма белухи (не полная)

Структурный уровень поведения			
I	II	III	IV
Поворот головы вправо	Вращение вокруг оси тела	R-активность	Территориальное поведение
Опускание головы вниз и др.	Кивание и др.	S-активность и др.	Игровое поведение и др.
12 элементов поведения	21 элемент поведения	Пять элементов поведения	Шесть элементов поведения

Таблица 2

Пример из каталога «Групповое поведение особей белухи»

Номер фокального наблюдения	Количество особей в группе	Дата	Маркер фокальной особи	Номер фокальной особи	Поведение
58	3	27.07.2015		33	Территориальное
				15	Территориальное

рого окраса (сеголетки, годовики), 20 серого (подростки), 13 белого окраса (взрослые, половозрелые особи). Удалось выделить пять пар мать-детеныш: № 3 и 9, 14 и 3, 15 и 33, 36 и 10, 39 и 2. Велся учет дыхательных пауз как косвенного признака, по которому можно судить о поведении животного. Учет дыхательных пауз показал, что при медленном плавании (животные плавают в одном месте) дыхательные паузы короче (12.55 ± 1.66), чем при быстром плавании (18.64 ± 3.06) (животные перемещаются из одной точки в другую). При перемещении особей дыхательные паузы у взрослых особей длиннее (18.06 ± 4.50), чем у детенышей (14.84 ± 3.38). Если же особи плавают локально, то более длительные дыхательные паузы могут быть как у половозрелых особей, так и у детенышей.

Таким образом, построена этограмма белухи на IV структурных уровнях поведения, которая в дальнейшем позволит решать более узконаправленные задачи исследования. Благодаря опыту наблюдений и фотоидентификации зафиксированы частные случаи территориального, родительского, иерархического типов поведения. Составлен каталог по индивидуальному и групповому по-

ведению особей белухи у мыса Белужий. Установлено, как меняется дыхательная пауза в зависимости от формы двигательной активности и возрастного состава, что дополняет картину поведения белухи. В дальнейшем интересно более детальное изучение поведения особей белухи.

Материал исследований был собран при экспедиции от Института океанологии им. П.П. Ширшова, но не в ее составе. Используемые для фотоидентификации фото сделаны Иваном Подгорным.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас морских млекопитающих СССР / Под ред. В.А. Земского. М.: Пищевая пром-ть, 1980. 189 с.

Бурдин А.М., Филатова О.А., Хойт Э. Морские млекопитающие России: справочник-определитель. Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2009. 208 с.

Клейнберг С.Е. и др. Белуха. М.: Наука, 1964. 456 с.

Краснова В. В., Чернецкий А. Д. Динамика двигательной активности беломорской белухи в репродуктивном скоплении // Морские млекопитающие Голарктики: Матер. междунар. конф. Архангельск, 2000. С. 187-191.

Крушинская Н.Л., Лисицына Т.Ю. Поведение морских млекопитающих. М.: Наука, 1983. 336 с.

Матишов Г.Г., Огнетов Г.Н. Белуха арктических морей России: биология, экология, охрана и использование ресурсов. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2006. 295 с.

Панов Е.Н. Механизмы коммуникации у птиц / Отв. ред. В.Е. Соколов. Изд. 2-е, испр. М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2009. 304 с.

Попов С.В., Ильченко О.Г. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе // Руководство по научным исследованиям в зоопарках. М., 2008. С. 3-66.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛЛЮСКОВ РОДА *ANODONTA* НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ

А.А. Томилова^{1,2}, А.В. Кондаков^{1,2}

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН

² Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: tomilova_aliyona@mail.ru

Моллюски рода *Anodonta* являются одним из важнейших компонентов макрозообентоса пресноводных экосистем. Они играют огромную роль в биогеоценозе, участвуя в разнообразных трофических связях, и являются важнейшим связующим звеном в во-

доемах. Одним из важнейших значений беззубок в водных объектах является их роль как биофильтраторов, очищающих водоемы от органического загрязнения. Кроме этого, пресноводные моллюски выступают в качестве биологических индикаторов. Наличие загрязнения в окружающей среде сказывается на состоянии их популяций.

Определение видового статуса беззубки по морфологическим особенностям, которое основано на оценке общей формы раковины, ее выпуклости, положению наиболее выступающей точки боковой поверхности створки, затруднено, потому что наблюдаются схожие фенотипические признаки внутри рода *Anodonta*. Исследователям зачастую не удается корректно провести идентификацию вида на основе различных определителей и иных литературных источников. В подобных ситуациях решению проблемы может способствовать применение молекулярно-генетических методов.

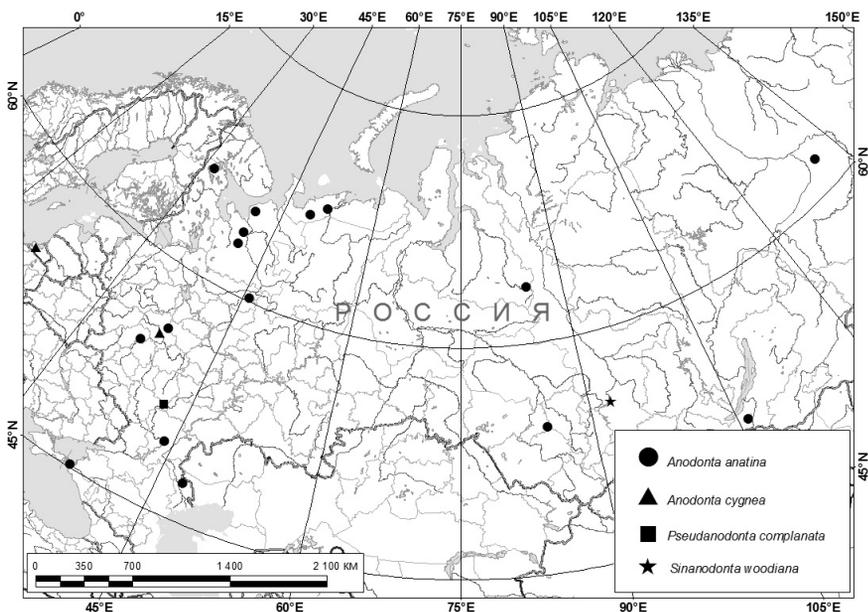
Прогресс в современной биологии во многом базируется на развитии и использовании молекулярных подходов, в основе которых лежит анализ полиморфизма ДНК, выявляемый с помощью различных типов молекулярных маркеров. В настоящее время они активно используются для решения различных вопросов, связанных с определением видовой принадлежности и выяснения степени родства различных групп организмов, а также в популяционной генетике, филогенетических исследованиях и биотехнологии (Омашева и др., 2013).

Актуальность данной работы определяется тем, что идентификация организмов с помощью молекулярных маркеров существенно облегчит и ускорит процесс и исключит необходимость дорогостоящих операций по определению нуклеотидных последовательностей (секвенирование).

В работе были поставлены следующие задачи: оценить пригодность использования длин нуклеотидных последовательностей транскрибируемых спейсеров ITS1 и ITS2 для идентификации двустворчатых моллюсков рода *Anodonta*; провести сравнение длин участков ITS1 и ITS2 для видов рода *Anodonta* и представителей рода *Unio*.

Для анализа использовали двустворчатых моллюсков из отряда *Unionoida*, которые хранятся в коллекции УНУ «Российского музея центров биоразнообразия» на базе ФИЦКИА РАН. За период с 2013 по 2016 г. были исследованы водоемы различных бассейнов рек России (см. рисунок). Все ткани биологических объектов были зафиксированы в этиловом спирте.

Выделение ДНК осуществлялось методом фенол-хлороформной экстракции (Sambrook et al., 1989). Последовательности фраг-



Карта с точками сбора двустворчатых моллюсков.

ментов ITS1 и ITS2 амплифицировали с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием следующих праймеров: ITS1F и ITS1R (White et al., 1996), LT1 (Bargues et al., 2001) и ITS4 (White et al., 1996) соответственно. Определение длин нуклеотидных последовательностей осуществляли с помощью системы автоматического капиллярного электрофореза Experion™ (Bio-Rad).

В исследованиях в качестве генетических маркеров были выбраны ядерные участки – ITS1 и ITS2. Данные фрагменты, как любые некодирующие последовательности, эволюционируют с высокой скоростью (Baldwin et al., 1995; Alvarez et al., 2003), варьируя по длине в связи с появлением в них вставок и делеций, исходя из чего они могут сильно отличаться даже у близкородственных организмов. Последовательности внутренних транскрибируемых спейсеров ITS1 и ITS2 локализуется между структурными фрагментами, кодирующими рибосомальные РНК 18S, 5.8S и 28S (White et al., 1996; Källersjö et al., 2005). Предварительно у всех исследуемых образцов моллюсков был определен участок первой субъединицы цитохром с-оксидазы (COI) для идентификации их видовой принадлежности методом ДНК-баркодинга.

**Каталожные номера образцов двустворчатых моллюсков
и длина амплифицированных последовательностей ITS1 и ITS2**

Вид	Номер образца по каталогу	Бассейн реки	ITS1 (п.н.)		ITS2 (п.н.)	
			Длина фрагмента	Диапазон	Длина фрагмента	Диапазон
<i>Anodonta anatina</i>	biv 156	Индига	495	495-525	333	328-338
	IEPN 669/2	Северная Двина	497		332	
	IEPN 670	Кулой	514		330	
	biv 162	Юг	502		333	
	biv 168	Северная Двина	502		330	
	biv 173	Таз	507		328	
	biv 174	Волга	506		329	
	biv 189	Кереть	522		328	
	biv 190	Селенга	525		329	
	biv 192	Кубань	512		334	
	biv 194/4	Москва	518		338	
	biv 198	Обь	507		333	
	biv 199	Лена	510		333	
	biv 206	Печора	510		333	
	biv 208	Дон	508		335	
biv 209	Ока	515	335			
<i>Anodonta cygnea</i>	biv 194/1	Москва	447	447-469	315	310-315
	biv 207	Преголя	469		310	
<i>Pseudanodonta complanata</i>	biv 195	Хопер	461	461	316	316
<i>Sinanodonta woodiana</i>	biv 191/2	Енисей	500	500	268	268-277
	biv 191/5		500		277	
<i>Unio tumidus</i>	IEPN 669/6	Северная Двина	446	446	310	310
<i>Unio pictorum</i>	ЗНН		414	414	328	328

Анализ амплифицированных участков ITS1 и ITS2 показал, что длина этих фрагментов варьирует в зависимости от мест обитания двустворчатых моллюсков, но при этом они остаются характерными для каждого из видов (см. таблицу). Совместное определение длин последовательностей ITS1 и ITS2 позволяет четко идентифицировать виды моллюсков рода *Anodonta*.

Результаты проведенного исследования позволяют утверждать, что длина участков ITS1 и ITS2 является качественным маркером для видоидентификации моллюсков рода *Anodonta*. Следовательно, молекулярно-генетические методы способны эффективно дополнить классические подходы в определении двустворчатых моллюсков.

Исследования выполнены при поддержке проекта РАН № 0410-2015-0032.

ЛИТЕРАТУРА

Омашева М.Е., Аубакирова К.П., Рябушкина Н.А. Молекулярные маркеры. Причины и последствия ошибок генотипирования // Биотехнология. Теория и практика, 2013. № 4. С. 20-28.

Alvarez I., Wendel J.F. Ribosomal ITS sequences and plant phylogenetic inference // Molecular Phylogenetics and Evolution, 2003. Vol. 29. № 3. P. 417-434.

Baldwin B.G., Sanderson M.J., Porter J.M. The ITS region of nuclear ribosomal DNA: A valuable source of evidence on angiosperm phylogeny // Annals of the Missouri botanical garden, 1995. Vol. 82. P. 247-277.

Bargues M.D., Vigo M., Horak P. et al. European Lymnaeidae (Mollusca: Gastropoda), intermediate hosts of trematodiasis, based on nuclear ribosomal DNA ITS-2 sequences // Infection, Genetics and Evolution, 2001. Vol. 1. № 2. P. 87-107.

Källersjö M., Von Proschwitz T., Lundberg S. et al. Evaluation of ITS rDNA as a complement to mitochondrial gene sequences for phylogenetic studies in freshwater mussels: an example using Unionidae from north-western Europe // Zoologica Scripta, 2005. Vol. 34. № 4. С. 415-424.

Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual // Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. Vol. I. 2nd edition.

White L.R., McPheron B.A., Stauffer J.R. Molecular genetic identification tools for the unionids of French Creek, Pennsylvania // Malacologia, 1996. Vol. 38. № 1-2. P. 181-202.

**ГИБЕЛЬ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ДОРОГЕ
В РЕЗУЛЬТАТЕ СТОЛКНОВЕНИЯ С АВТОТРАНСПОРТОМ
(ТРАССА М-8, ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

А.А. Шабунова

Вологодский государственный университет

E-mail: nastya-shabunova@mail.ru

Актуальность исследований связана с тем, что необходимым условием существования человека являются транспортные пути и транспорт, а транспортная сеть «накладывается» на естественные местообитания животных и пути их миграций. Отсюда неизбежны контакты животных с транспортом.

К настоящему времени в связи с увеличением автомобильного парка возрастает антропогенное воздействие на инфраструктуру экосистем придорожного полотна, а также объекты животного мира, представленные в них. Разумеется, дороги не всегда оказывают негативное воздействие. Они образуют так называемые «коридоры», по которым возможны различные перемещения живот-

ных в разных направлениях, что важно для распространения и расселения.

Целью работы была оценка гибели позвоночных животных на участке автодороги Москва–Архангельск.

Исследование проводилось в соответствии с исследованиями, проведенными в Нижегородской области (Влияние..., 2011). Обследование модельного участка автомобильной дороги М8 Москва–Архангельск (от г. Вологды до границы с Ярославской областью), где средняя интенсивность движения автотранспорта составляет более 1000 машин в день, проводилось группой в составе не менее двух человек с использованием легкового автомобиля. Протяженность обследуемого участка – 78 км. Учет осуществлялся в утренние часы (6⁰⁰–10⁰⁰). Все обнаруженные погибшие животные обязательно фотографировались и заносились в первичные учетные ведомости. С помощью GPS-навигатора отмечались координаты мест находок. Маршрут обследовался раз в одну-две недели в бесснежный период. Кроме фиксации млекопитающих, на маршруте проводилась оценка интенсивности движения автомобильного транспорта в течение 0.5 ч и последующем расчете на один день – 12 ч.

За период с 13.09.2015 по 09.10.2016 г. было проведено 17 учетов, зафиксировано 130 случаев сбитых животных, из них 14 видов млекопитающих (см. таблицу).

При анализе появления млекопитающих на автодороге выявлены две основные причины – поиск пищи и пересечение автодороги. Лисица и енотовидная собака питаются на обочинах дорог, нередко используя и падаль. Енотовидная собака является наиболее часто сбиваемым животным (42 сбитых особей). За один учет на 10 км дороги встречаемость погибших животных составляет около 0–1.1 особи. Все остальные животные, вероятнее всего, были сбиты при попытке перейти дорожное полотно либо в пределах своего участка, либо в поисках нового места обитания.

Большинство сбитых животных ведет сумеречную и ночную активность. В подавляющем большинстве случаев их трупы были уже окоченевшие (пролежали несколько часов). Лишь белка активна в светлое время суток, поэтому ее сбивали приблизительно в 8–10 ч утра.

Все животные были сбиты при переходе дороги на участках их обитания. Так, домашних кошек, собаку и одного лесного хорька находили на участке у деревень; лис – у мелколиственных разреженных лесов и участка леса, зарастающего после урагана; норки – вблизи небольших ручьев и речек.

В разные сезоны года количество сбитых млекопитающих различалось. Во второй половине лета и осенью учащаются случаи

Количество сбитых животных

Класс	Вид	Количество особей				Всего
		Весна	Лето	Осень	Всего вида	
Млекопитающие	<i>Sorex araneus</i>	–	11	–	11	130
	<i>Erinaceus europaeus</i>	4	23	–	27	
	<i>Felis catus</i>	1	2	4	7	
	<i>Canis lupus familiaris</i>	–	1	–	1	
	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	1	8	33	42	
	<i>Vulpes vulpes</i>	–	2	9	11	
	<i>Martes martes</i>	1	6	8	15	
	<i>Mustela putorius</i>	–	–	3	3	
	<i>Mustela nivalis</i>	–	1	1	2	
	<i>Neovison vison</i>	1	1	1	3	
	<i>Sciurus vulgaris</i>	1	–	1	2	
	<i>Apodemus uralensis</i>	–	1	–	1	
	<i>Myodes glareolus</i>	–	2	–	2	
	<i>Lepus timidus</i>	1	2	–	3	
Птицы	<i>Anas platyrhynchos</i>	–	–	1	1	17
	<i>Accipitridae sp.</i>	–	–	1	1	
	<i>Dryocopus martius</i>	–	–	1	1	
	<i>Garrulus glandarius</i>	–	1	–	1	
	<i>Corvus cornix</i>	–	2	–	2	
	<i>Corvus frugilegus</i>	–	1	1	2	
	<i>Turdus iliacus</i>	–	1	–	1	
	<i>Turdus philomelos</i>	–	1	–	1	
	<i>Turdus pilaris</i>	1	2	–	3	
	<i>Fringilla coelebs</i>	–	–	1	1	
	<i>Fringilla montifringilla</i>	–	–	1	1	
<i>Motacilla alba</i>	–	1	1	2		
Амфибии	<i>Anura (Rana temporaria и Bufo bufo)</i>	–	16	2	18	18

находок (60 особей летом, 30 – осенью), так как в этот период увеличивается численность особей за счет молодняка. Молодые звери активно расселяются в поисках новых мест обитания. Весной же млекопитающие ведут себя более территориально, поскольку либо они вынашивают потомство, либо ухаживают за ним. В связи с этим звери не уходят далеко от мест размножения, меньше выходят на дорогу и случаи ДТП с ними сокращаются (10 особей).

При анализе пространственного распределения погибших от ДТП млекопитающих на примере наиболее часто встречающихся (енотовидная собака, еж и лесная куница) выявлено, что на изучаемом участке сбитые животные распределены довольно равномерно с небольшим преобладанием ближе к границе с Ярослав-

ской областью. Енотовидная собака чаще встречается в южной части фрагмента дороги, в отличие от ежа и куницы, которые распределены равномерно или с небольшим преобладанием в северной части участка.

При анализе случаев ДТП с участием крупных млекопитающих (лось, кабан) установлено, что на этом участке ДТП с ними случаются довольно регулярно и распределены на обследованной территории равномерно.

В настоящее время каких-либо мер, предотвращающих гибель животных, здесь не предусмотрено. В некоторых опасных местах установлены дорожные знаки, предупреждающие о возможном появлении лосей.

ЛИТЕРАТУРА

Влияние транспортной инфраструктуры на позвоночных животных Нижегородской области / Сост. А.И. Дмитриев, М.А. Трушкова, Ж.А. Заморева, Д.М. Кривоногов. Нижний Новгород: лаборатория «Экологии и биомедицины» ФГБОУ ВПО «НГПУ им. К. Минина», 2011. 75 с.

Секция 3

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

НАКОПЛЕНИЕ РТУТИ В ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

М.В. Бушковская¹, Р.С. Василевич²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: vasilevich.r.s@ib.komisc.ru

Загрязнение ртутью арктических и субарктических экосистем представляет реальную проблему последних десятилетий. Несмотря на общее снижение глобальной эмиссии ртути и ее соединений, сообщается о своеобразном поведении этого элемента в воздушной среде северных широт (Steffen et al., 2002). Анализ долгосрочных атмосферных концентраций общей ртути (7-11 лет) на трех трансектах (45, 50, 55 °N) показал ее уменьшение в южной и центральной областях и стабильное состояние и небольшой рост для более северных широт. Поступление ртути в арктические экосистемы связано с ее участием в трансграничном атмосферном переносе с промышленно развитых регионов и с деятельностью локальных источников загрязнения. Считается, что надежным индикатором аэротехногенного воздействия в северных регионах являются болотные почвы, способные удерживать микроэлементы в стратифицированных торфяных горизонтах. Гуминовые кислоты (ГК) почв представляют собой природные комплексообразующие агенты и выполняют важную экопротекторную роль в процессах аккумуляции и миграции тяжелых металлов, контролируя их геохимические потоки в окружающей среде.

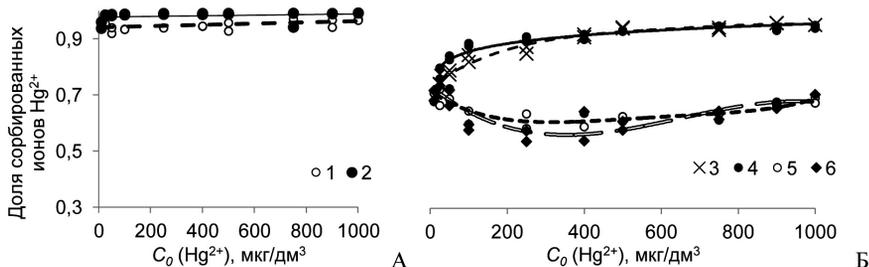
Таким образом, встает ряд вопросов, соответствующих задачам данного исследования: определить особенности накопления ртути в торфяных почвах европейского северо-востока России и

оценить вклад комплексобразования ионов ртути (II) с ГК исследованных почв на профильное распределение элемента.

Исследования проведены на фоновых территориях в пределах бугристо-мочажинных комплексов северной лесотундры (бассейн р. Сейда) и крайнесеверной тайги (бассейн р. Черная) на верховых грядово-мочажинных болотах северной тайги (бассейн р. Печора) и мезоолиготрофном болотном комплексе средней тайги (бассейн р. Вычегда). Послойный отбор проб осуществлен на всю мощность торфяных профилей.

Характер накопления ртути в разных типах торфяных болотных почв имеет значительные отличия. В верхней части профилей почв бугристых торфяников отмечается регрессивно-аккумулятивный тип накопления. Интенсивная аккумуляция ртути приходится на сезонно-талый слой (СТС). Содержание ртути в СТС в 5-10 раз выше, чем в составе многолетнемерзлых (фоновых) горизонтов. Эти данные хорошо согласуются с результатами геохимической оценки распределения ртути в донных осадках озер территории исследования (Даувальтер, 2007). Согласно данным литературы, более 80% ртути поступило в атмосферу за последние 200-300 лет. Максимум накопления приходится на верхние торфяные горизонты и связан с атмосферными выбросами угольных предприятий Воркутинской и Интинской промышленных агломераций, в первую очередь ТЭЦ (Василевич, 2015). Совмещение графиков профильного распределения ртути в торфяниках Инты, на почвах с растительным покровом и на оголенных торфяных пятнах показывает, что эрозии подвергся слой 15-20 см, соответствующий максимальному накоплению элемента. На период XVI-XVII вв. приходится вторая и третья фазы малого ледникового периода с минимальными показателями температур для среднего и позднего голоцена. Таким образом, анализ профильного распределения ртути помогает разрешить проблемы образования и генезиса оголенных торфяных пятен.

Статистический анализ профильного содержания ртути в торфяниках криолитозоны с макропоказателями торфа показывает ее значимую взаимосвязь с содержанием углерода ($r = 0.52$, $n = 28$, $r_{5\%} = 0.34$) гуминовых кислот и массовой долей ГК ($r = 0.64$). Эти данные свидетельствуют, что основным ртуть-депонирующим геохимическим барьером торфяников являются ГК. Ртуть среди других микроэлементов образует наиболее устойчивые координационные соединения с ГК. Координационная связь преимущественно осуществляется по пирокатехиновым и салицилатным группам ароматической части молекул ГК, о чем косвенно свидетельствуют корреляции массовой доли ртути с мольным соотношением



Изотермы сорбции ионов ртути (II) образцами торфа сухоторфянной мерзлотной почвы бугров (лесотундра) горизонтов Т1 (0-5 см) (1), Т6 (80-100 см) (2) и препаратами ГК из горизонтов Т1 (0-10 см) (3), Т4 (40-60 см) (4), Т6 (100-150 см) (5), Т5 (80-100 см) (6).

ем $x(C):x(H)$ ($r = 0.61$) ГК и близкие к достоверным с содержанием карбоксильных групп ГК ($r = 0.29$).

Проведены модельные эксперименты сорбции образцами торфа и препаратами гуминовых кислот ионов ртути (II). Показана эффективная сорбция элемента (до 99%) образцами торфа. По параметру сорбционной емкости к ионам ртути (II) ГК, экстрагированные из разных торфяных горизонтов, имеют значительные отличия (см. рисунки).

Максимальное связывание элемента (до 97%) осуществляют препаратами ГК из слоев торфа СТС и на границе многолетней мерзлоты, что соответствует максимальному накоплению элемента в соответствующих торфяных горизонтах. Препараты ГК из реликтовых торфяных горизонтов имеют меньшее химическое сродство к элементу (доля связанных ионов ртути (II) до 68%). Доля сорбированных ионов ртути (II) увеличивается с ростом исходной концентрации элемента. Это отражение кинетических особенностей взаимодействия ГК с ионами ртути (II) (Василевич и др., 2014).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ МОЛ_А № 16-35-00218.

ЛИТЕРАТУРА

Василевич М.И., Щанов В.М., Василевич Р.С. Применение спутниковых методов исследований при оценке загрязнения снежного покрова вокруг промышленных предприятий в тундровой зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. № 2. С. 50-60.

Василевич Р.С., Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Комплексообразование ионов ртути (II) с гуминовыми кислотами тундровых почв // Почвоведение, 2014. № 3. С. 283-294.

Даувальтер В.А. Далеко ли зашло глобальное загрязнение? // Бассейн реки Малый Паток: дикая природа / Под ред. В.И. Пономарева. Сыктывкар, 2007. С. 203-208.

Steffen A., Schroeder W., Bottenheim J. Atmospheric mercury concentrations: measurements and profiles near snow and ice surfaces in the Canadian Arctic during Alert 2000 // Atmos Environ., 2002. Vol. 36. P. 2653-2661.

ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ ПОДЗОЛОВ ГОРНОЙ ЛАНДШАФТНОЙ ЗОНЫ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Е.В. Жангуров, В.В. Старцев, Ю.А. Дубровский, А.А. Дымов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: zhangurov@ib.komisc.ru

В почвенном покрове тундрово-таежных ландшафтов европейского северо-востока России широко представлены иллювиально-(гумусово)-железистые подзолы, которые формируются в условиях свободного поверхностного и внутрипочвенного дренажа на песчаных почвообразующих породах древнеаллювиального и водно-ледникового генезиса. В Республике Коми общая площадь подзолов составляет 4213 тыс. га (Атлас почв, 2010). К настоящему времени они достаточно подробно исследованы в равнинных ландшафтах (Забоева, 1975). В то же время опубликованные данные о таксономическом разнообразии, особенностях морфологического строения и физико-химических свойствах подзолов в различных экосистемах горных ландшафтов ограничены и фрагментарны. Одними из слабоизученных в этом отношении объектов являются горные экосистемы западных макросклонов Приполярного Урала (Жангуров и др., 2012; Жангуров, Дымов, 2014).

Цель работы – на основании сравнительного исследования морфологических и физико-химических свойств, характера почвообразующих пород установить генетические особенности подзолов Приполярного Урала.

Район исследований охватывает северную часть Приполярного Урала (хребты Малды-нырд, Юас-нырд, скала Риф). Полевые работы включали заложение и описание почвенных профилей с отбором образцов почвенных горизонтов. Геоботанические описания растительности выполняли по общепринятым в отечественной геоботанике методикам (Ипатов, 1998). Ниже охарактеризованы эколого-генетические особенности исследуемых почв.

Разрез 10-2009 заложен в верхней части пологого склона хребта Малды-нырд под лиственничником воронично-чернично-зеле-

номошным. Абсолютная высота 450 м. Общая сомкнутость древесного яруса 0.4-0.5, высота основного полога 12-14 м, состав 10Л+Е. Возобновление древесных пород идет довольно слабо, отмечены единичные экземпляры ели. Это отчасти объясняется наличием сомкнутого (до 0.6) кустарникового яруса, сложенного *Betula nana*. ОПП травяно-кустарничкового яруса 75-80%, господствуют *Vaccinium myrtillus* и *Empetrum hermaphroditum*. Под описанными выше лесными сообществами с хорошо развитым древесным ярусом и зеленомошным напочвенным покровом формируются иллювиально-железистые подзолы, которые отчетливо дифференцированы на генетические горизонты. Строение профиля: О (0-14 см) – Е (14-40 см) – ВF (40-55 см) – ВС (55-60 см).

Разрез 8-2012 заложен в средней части пологого склона хребта Юас-нырд под лиственничником кустарничково-зеленомошным. Абсолютная высота 590 м над ур.м. В составе слабосомкнутого древесного яруса доминирует *Larix sibirica*, отмечена примесь *Betula pubescens*. В подросте более активно возобновляется лиственница. Выражен кустарниковый ярус из *Betula nana*. ОПП травяно-кустарничкового яруса 30%, основные доминанты *Vaccinium uliginosum* и *Carex globularis*. ОПП мохово-лишайникового яруса 80%, доминирует *Pleurozium schreberi*. Строение профиля: О (0-8 см) – Е (8-20 см) – ВF (20-25 см) – ВС (25-50 см).

Сравниваемые разрезы (10-2009 и 8-2012) характеризуются близкими физико-химическими свойствами. Для органогенных горизонтов характерна сильнокислая реакция с некоторым уменьшением кислотности в минеральных горизонтах (см. таблицу). Почвы не насыщены основаниями, характеризуются элювиально-иллювиальным характером распределения углерода, высокими значениями отношений углерода к азоту. Мелкозем нижних горизонтов почв, сформированных на переотложенных продуктах выветривания риолитов, серицитокварцитовых сланцев характеризуется относительно бедным химическим составом (Fe_2O_3 4-6%; Al_2O_3 10-15%; CaO 0.2-0.3%; MgO 0.6-0.9%) и высоким содержанием SiO_2 (78-80%), что характерно для многих подзолов Приполярного Урала (Жангуров, Дымов, 2014).

Разрез 83-2012 заложен на более пологом участке склона в верхней части геологического памятника «Риф Балбанью» под лиственничником кустарничково-зеленомошным. Абсолютная высота 443 м. Первый полог сложен исключительно лиственницей высотой 10-12 м, диаметр стволов 18-16 см. Второй древесный полог выделяется на высоте 4-8 м. Состав более сложный – 6БЗЕ1Л. Сомкнутость 0.3, диаметр стволов 8-16 см. В подлеске довольно активно идет возобновление ели и березы, которые, однако, не вы-

Физико-химические свойства подзолов Приполярного Урала

Горизонт	Глубина, см	рН		Нг	Обменные основания		V	C	N	C:N	
		вод.	сол.		Ca ²⁺	Mg ²⁺					%
Разрез 8-2014. Подзол иллювиально-железистый											
O	0-4	4.4	3.5	116.0	11.1	6.6	13	38.8	1.2	38	
O _{ao}	4-8	3.9	3.0	157.5	9.0	4.1	8	44.9	1.8	29	
E	8-20	4.1	3.3	13.1	0.3	0.1	4	1.2	0.1	18	
BF	20-25	4.8	4.1	12.5	0.3	0.1	3	1.8	0.1	22	
BC	25-50	5.1	4.2	7.7	0.1	0.0	1	0.4	0.1	14	
Разрез 10-2009. Подзол иллювиально-железистый											
O	0-5	4.2	3.3	55.0	15.3	5.7	28	38.3	1.32	34	
O _{ao}	5-15	3.7	2.8	73.7	8.3	2.7	13	40.3	1.7	28	
E1	15-25	4.2	3.2	11.0	0.1	0.1	2	1.9	0.1	18	
E2	25-40	4.3	3.3	8.6	0.4	0.2	7	0.7	0.1	12	
BF	40-55	4.5	3.7	6.5	0.1	0.1	4	1.1	0.1	17	
BC	55-65	4.7	3.8	5.1	0.1	0.1	4	1.1	0.1	18	
Разрез 83-2012. Подзол иллювиально-железистый остаточоно-карбонатный											
O	0-5	5.2	3.9	37.5	15.1	5.9	28	32.7	1.1	33	
Eh	5-10	4.8	3.5	11.7	9.8	3.5	53	5	0.2	23	
E	10-15	5.4	3.8	7.4	5.3	2.1	50	1.7	0.1	22	
BF	15-20	5.5	4.0	7.4	3.5	2.1	43	0.9	0.1	16	
VHF	15-20	7.1	6.5	1.6	14.8	7.7	93	3.3	0.1	23	
BC	20-40	7.4	—	0.5	—	—	—	2.2	—	—	
C	40-60	7.7	—	0.4	—	—	—	2.1	—	—	

Примечание: Нг – гидролитическая кислотность; V – степень насыщенности; прочерк – не определяли.

ходят в основной ярус древостоя. Мохово-лишайниковый ярус хорошо развит и представляет собой сплошной ковер (ОПП 95%) из зеленых мхов: *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Ptilium crista-castrensis*. Формирующиеся в этих условиях почвы относятся к типу подзолов иллювиально-железистых и развиты на карбонатных почвообразующих породах. Строение профиля: O (0-5 см) – E (5-15 см) – BF_{Ca}/VHF_{Ca} (15-25 см) – BC_{Ca} (25-40 см) – C_{Ca} (40-60 см). Наличие в нижних горизонтах (с 25-30 см) обильно-щебнистой толщии плотных карбонатных пород накладывает специфические особенности почвообразования: слабокислую и нейтральную реакцию среды ($pH_{\text{сол.}}$ 6.5-7.5), относительно высокое содержание обменных форм Ca^{2+} и Mg^{2+} и, как следствие, высокую степень насыщенности основаниями (см. таблицу), что не характерно для типа подзолов.

Однако, отчетливо выраженная морфологическая (наличие альфегумусового горизонта) и аналитическая дифференциация генетических горизонтов (минимальные значения pH водной и солевой вытяжки подзолистого горизонта, элювиально-иллювиальное перераспределение илстой фракции почвенного мелкозема, а также валовых форм Fe_2O_3 , Al_2O_3 , относительное накопление SiO_2 в горизонте Eh-E) подтверждает диагностику данного почвенного разреза в типе подзолов иллювиально-железистых в рамках подтипа остаточно-карбонатных. Подзолы на карбонатных породах Приполярного Урала являются достаточно редкими и занимают небольшие ареалы в структуре почвенного покрова.

Таким образом, морфологическая дифференциация исследуемых профилей подзолов во многом обусловлена литолого-геоморфологическими условиями, определяющими их развитие на щебнистом элюво-делювии, преимущественно кислых кристаллических сланцев, редко карбонатных пород, и влиянием растительного покрова, в значительной степени определяющим характер верхних горизонтов почв. Сравнимые разрезы формируются качественно одинаковыми процессами (накопление грубого гумуса, альфегумусовое иллювиирование, оподзоливание, дезинтеграция породы мелкозем), но интенсивность их проявления разная, что приводит к различной дифференциации профилей по физико-химическим свойствам.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ «Кислотный профиль как базовый регулятор почвообразовательных процессов (на примере арктических экосистем)», № 16-04-00749.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2010. 356 с.

Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Дымов А.А. Характеристика почв и растительного покрова высотных поясов хребта Малдынырд (Приполярный Урал) // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2012. № 12. С. 40-48.

Жангуров Е.В., Дымов А.А. Минеральный состав песчаных фракций в профиле подзолов хребта Малдынырд (Приполярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. № 11 (239). С. 20-23.

Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. 343 с.

Ипатов В.С. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. СПб., 1998. 93 с.

СОСТАВ И СТРУКТУРА МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ В ТУНДРОВОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В.А. Ковалева

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kovaleva@ib.komisc.ru

В пойменных экосистемах в условиях высокой динамики почвообразовательных процессов под влиянием аллювиальности и поемности формируются интразональные, наиболее плодородные почвы. Аллювиальные почвы всегда активно вовлекались в сельское хозяйство во всех регионах страны, в том числе и в тундровой зоне Республики Коми, где в середине XX в. активно осваивались пойменные территории под посев однолетних трав. После прекращения хозяйственного использования (в конце 1990-х гг.) на этих участках началась сукцессия. Динамика процессов, происходящих в постагрогенной экосистеме, связана с динамикой биологического круговорота, важной составляющей которого является почвенный микробоценоз. Постагрогенные изменения таких показателей, как состав микробной биомассы и характер ее распределения по почвенному профилю, ее качественный и количественный состав являются важными характеристиками для выявления основных закономерностей трансформации микробных комплексов почв, этапов постагрогенной сукцессии, оценки устойчивости наземных экосистем в пойменных ландшафтах тундровой зоны.

Цель исследования – дать общую характеристику микробных сообществ аллювиальных почв типичной пойменной и постагрогенной экосистем, представленных в долине р. Воркута.

Исследования проводили в августе 2014 г. на юго-востоке Большеземельской тундры в 2 км к северо-западу от г. Воркута (Респуб-

лика Коми, подзона южной кустарниковой тундры). В качестве объектов исследования были выбраны участки в долине р. Воркута в пределах ее правобережной пойменной террасы. Изучали типичный пойменный биогеоценоз и постагрогенную экосистему, сформировавшуюся на месте возделывания однолетних культур в пойме р. Воркута.

Первый участок – ивняк разнотравно-злаковый – расположен в пойме р. Воркута, представляет типичное сообщество, характерное для речных пойм тундровой зоны. Деревесный ярус сложен ивами. Травостой разреженный, в его составе преобладают злаки с небольшой примесью разнотравья. Напочвенный покров либо отсутствует, либо слабо развит. Почва – аллювиальная гумусовая глееватая, характеризуется нейтральной реакцией среды. Степень насыщенности основаниями довольно высокая (до 98%). Наибольшее количество обменных катионов кальция и магния отмечено в верхних гумусированных горизонтах, к низу их содержание постепенно убывает. Такое распределение обменных оснований, а также подвижных форм фосфора и калия происходит благодаря аккумулярующей роли дернового и аллювиального процессов. Влияние дернового процесса в пойменных почвах сказывается также в относительно высоком содержании гумуса и азота по сравнению с почвами тундровых водоразделов.

Второй участок поймы расположен в 100 м от первого и представляет собой 13-летнюю залежь. На рассматриваемом участке поймы в течение 40 лет возделывали однолетние культуры – овес (*Avena sativa* L.) и овсяно-гороховую смесь (*Avena sativa* + *Pisum sativum* L.). Его хозяйственное использование в качестве пашни было прекращено в 2001 г. В настоящее время на участке оформился крупнозлаковый луг с доминированием костреца безостого и примесью разнотравья. Под оформившимся разнотравно-злаковым сообществом в настоящее время формируется аллювиальная гумусовая глееватая постагрогенная почва. Почва имеет нейтральную и близкую к нейтральной реакцию среды. В верхних горизонтах почвы отмечается аккумуляция органического вещества и основных биогенных элементов. С глубиной содержание основных биогенных элементов резко снижается, что позволяет сделать вывод о замкнутости биологического круговорота в постагрогенный период функционирования аллювиальной пахотной почвы в верхних горизонтах профилей.

Результаты микробиологических исследований показали, что численность всех групп микроорганизмов (бактерий, грибного мицелия, спор грибов) уменьшается по профилю пойменных почв, имея максимум в верхних горизонтах. При сравнительно равных

показателях численности бактерий и спор грибов, в почве залежи длина грибного мицелия примерно в два раза больше.

Следует отметить сходный характер профилного распределения численности живых и мертвых клеток бактерий в почвах ивняка и залежи, их соотношение в минеральной части профиля исследованных почв. В то же время верхние органогенные горизонты в почве пойменного ивняка характеризуются более высокой долей мертвых клеток по сравнению с почвой луга. Доля мертвых клеток в органогенных горизонтах ивняка достигает 25% от общего числа бактерий, в постагрогенной почве – 15%. Это связано с составом растительного сообщества и наличием травянистой подстилки, определяющей микроклиматические условия в верхних горизонтах почвы. Сравнительно высокая доля живых бактерий в почве залежи указывает на более выраженную активность бактериального комплекса этой почвы. Показатели микробной биомассы для исследуемых почв незначительно отличаются: в почве пойменного ивняка – 192.7 ± 34.5 мкг/г почвы, на участке залежи – 212.7 ± 21.3 мкг/г почвы. При переходе от гумусированных к минеральным горизонтам и численность, и концентрация прокариотических и эукариотических микроорганизмов резко убывают.

Постагрогенная почва характеризуется более высоким видовым разнообразием почвенных грибов (32 вида из 14 родов), чем почва пойменного ивняка (22 вида из семи родов). Доминирующее положение в исследуемых почвах по видовой насыщенности занимает род *Penicillium* (9-10 видов). Остальные роды насчитывают не более трех видов. В почве ивняка при относительно большом разнообразии рода *Penicillium* он доминирует и по общему обилию видов. Больше обилие отмечено для вида *Geomyces pannorum* и стерильного мицелия, которые являются типичными доминирующими компонентами тундровых почв. В постагрогенной почве значительным обилием отличаются виды рода *Cladosporium*, прежде всего – *Cl. cladosporioides* и *Cl. herbarum*, которые приурочены к почвам, формирующимся под травянистыми растительными сообществами. Доминирующие по обилию виды преобладали также и по частоте встречаемости, составляя основу комплекса типичных видов микромицетов исследуемых почв. В почве ивняка к доминантам принадлежат следующие виды: *Geomyces pannorum*, *P. tardum*, *Penicillium sp.* В постагрогенной почве доминантами являются *Penicillium camemberti*, *Penicillium sp.* К часто встречающимся видам относятся *Mucor racemosus*, *Geomyces pannorum*, виды родов *Umbelopsis*, *Cladosporium*. Сравнительная характеристика видовой разнообразия почвенных микромицетов исследуемых почв показала невысокую степень сходства видовой состава – коэффициент Серенсена равен 67%.

Таким образом, различия между типичной пойменной и пост-агрогенной экосистемами в составе и структуре растительного сообщества обуславливают разницу в функциональной активности почвенных микробных сообществ исследуемых почв при идентичном профилном распределении микроорганизмов. Почва залежи характеризуется более высоким видовым разнообразием и специфичностью видового состава микромицетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 15-12-4-45 «Функционирование и эволюция экосистем криолитозоны европейского северо-востока России в условиях антропогенных воздействий и изменения климата».

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

О.С. Кубик

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: *kubik-olesia@yandex.ru*

Россия имеет самую длинную в мире береговую линию, а маршевые почвы занимают обширные площади. Проблема недостаточной изученности почвенного покрова прибрежных территорий арктических морей России сохраняется до настоящего времени. Своеобразие факторов почвообразования определяет специфику, уникальность и разнообразие континентальных почв. Баренцево море – одно из самых больших по размерам морей страны (площадь около 1424 тыс. км²). Вследствие малого материкового стока и хорошей связи с океаном соленость моря мало отличается от средней солености океана и составляет 34-35.1‰ (Добровольский, Залогин, 1982).

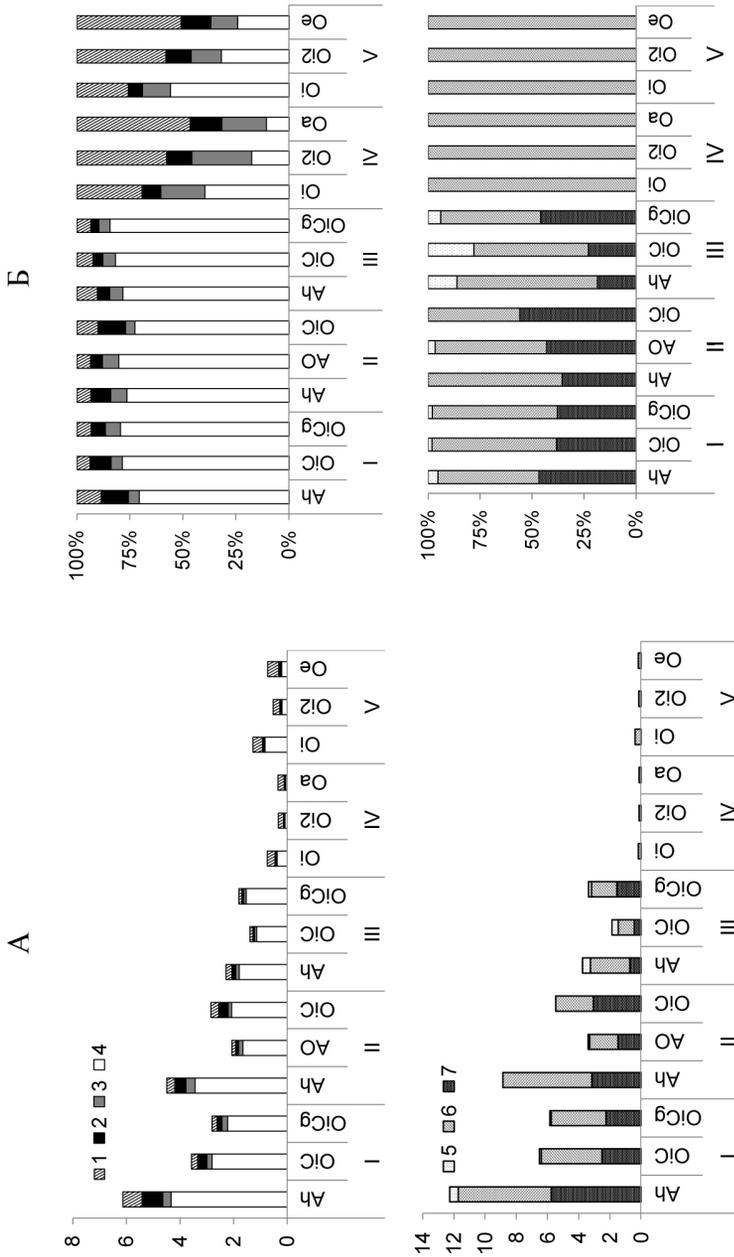
Цель работы – определить состав водных вытяжек из почв прибрежной территории Хайпудырской губы Баренцева моря. Структура почвенного покрова района исследований характеризуется высокой пестротой. Широкое распространение имеют засоленные маршевые почвы. Высокая вариабельность элементов рельефа обеспечивает наличие почв, формирующихся на наиболее высоких позициях вне воздействия морской воды. В подобных условиях доминирующее значение приобретают зональные факторы почвообразования.

В этой связи в качестве объектов исследования были выбраны почвы двух групп: засоленные маршевые почвы (разрезы I, II, III) и зональные (незасоленные), лежащие выше литоральной зо-

ны (разрезы IV и V). В соответствии с Международной Реферативной базой почвенных ресурсов (2014) объекты имеют следующие названия: I – Gleyic Fluvisol (Gelic, Limnic) (68°19'49.0" с.ш., 59°31'05.0" в.д.), II – Histic Gleyic Fluvisol (Limnic) (68°19'49.4" с.ш., 59°31'07.8" в.д.), III – Gleyic Fluvisol (Gelic, Limnic) (68°18'26.5" с.ш., 59°44'12.8" в.д.), IV – Cryic Folic Histosol Fluvic (Fluvic) (68°20'05.7" с.ш., 59°33'21.9" в.д.), V – Histic Reductaquic Cryosol Thixotropic (Thixotropic) (68°16'58.9" с.ш., 59°54'49.5" в.д.). Состав водных вытяжек был определен следующими методами: пламенной фотометрии (Na^+ , K^+), атомной абсорбции (Ca^{2+} , Mg^{2+}), титрования (HCO_3^-), турбидиметрии (SO_4^{2-}), меркурометрии (Cl^-). Содержание углерода водорстворимых органических соединений находили методом высокотемпературного каталитического окисления, удельную электропроводность – методом кондуктометрии. Суспензии из органогенных и минеральных горизонтов почв готовили в соотношении 1.0:2.5 (разрезы I, II, III) и 1:25 (разрезы IV и V).

Реакция среды варьирует в широких пределах – от сильно кислой до нейтральной ($\text{pH}_{\text{вод}} 3.37-7.03$), причем значения pH для незасоленных почв практически не меняются с глубиной (4.1-4.5) в отличие от почв, испытывающих влияние морских вод и характеризующихся разнонаправленным изменением значений pH в профиле. Содержание водорастворимой фракции органического углерода в маршевых почвах составляет менее 1, в зональных – 4-10 г/кг. Максимальным содержанием характеризуются поверхностные горизонты, с глубиной этот показатель снижается. Динамика данного показателя определяется главным образом составом органического вещества, поступающего на поверхность почвы, и условиями его разложения. Массовая доля водорастворимого углерода от общего углерода в торфяных почвах составляет 1-2, в отдельных горизонтах засоленных почв достигает 13%.

Содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ торфяных почв равно 0.4-1.5, подтопляемых – 1.4-6.1 г/кг. Во всех профилях поверхностные горизонты характеризуются максимальным содержанием катионов, с глубиной этот показатель снижается. Относительный состав катионов вытяжек имеет четкие закономерности (см. рисунок). В незасоленных зональных почвах независимо от глубины доли ионов калия и магния достаточно стабильны и в среднем равны 15-30 и 10-15%. Изменения относительного содержания ионов кальция и натрия в этих почвах с глубиной обратны: доля первых растет от 25 до 50%, доля вторых снижается в этих же пределах. Относительный состав катионов засоленных почв не изменяется с глубиной. Доля ионов натрия максимальна и равномерна и на профилном, и на ландшафтном уровне (70-80%). Массовая доля остальных катионов составляет около 10%.



Суммарная массовая концентрация анионов незасоленных почв не превышает 0.4 (при этом массовая концентрация гидрокарбонат- и сульфат-ионов ниже предела обнаружения), засоленных – от 2-12 г/кг. Относительный состав анионов в водных вытяжках различен. В первых доминируют хлорид-ионы, во вторых на долю хлорид-ионов в среднем приходится не более 50%, вклад сульфат-ионов составляет около 40, гидрокарбонат-ионов – менее 10%. По степени засоления почвы относятся к слабозасоленным, тип засоления почв по анионному составу – хлоридный, по катионному – натриевый (Базилевич, Панкова, 1970).

Таким образом, выявлена высокая пространственная вариабельность катионно-анионного состава водных вытяжек из почв прибрежной территории Баренцева моря.

Автор выражает глубокую благодарность н.с. отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН к.б.н. С.В. Деневой за помощь в выполнении работы.

Работа проведена в рамках проекта РФФИ № 16-34-00237 мол_а «Водорастворимые органические соединения: диагностика современных процессов в почвах уязвимых экосистем (на примере арктических маршей)».

ЛИТЕРАТУРА

Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв. М., 1970. 86 с.

Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.

World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // World Soil Resources Reports, 2014. № 106. FAO, Rome.

ЭМИССИЯ CO₂ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ВЫРУБОК ЕЛЬНИКОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ (ПАСЕКА, ВОЛОК)

М.А. Кузнецов

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

Рубка леса оказывает прямое воздействие на живой напочвенный покров, лесную подстилку и верхние слои почвы на лесосеке. Это приводит к образованию и пространственной мозаичности экотопов на вырубках, различающихся ходом лесовозобновительного процесса (Эколого-географические..., 1995).

Работа выполнена на территории Чернамского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°00' с.ш. и 50°30' в.д.), расположенного в подзоне средней тайги Республики Коми. В зимний период 2006 г. в ельнике проведена сплошнолесосечная рубка с хлыстовой вывозкой древесины. Применен трехпасечный способ разработки лесосек с сохранением подроста. Общая площадь трелевочных волоков составляет около 10%, что отвечает лесохозяйственным требованиям. После сплошнолесосечной рубки в ельнике черничном влажном запасы углерода фитомассы растущих деревьев, оставленных в недорубе и семенниках, равны 15.52 т га⁻¹. В сухостойных деревьях концентрируется 0.10, в порубочных остатках вершин и обломков деревьев – 5.08 т С га⁻¹ (Бобкова, Лиханова, 2012). Почва торфянисто-подзолисто-глееватая. Мощность подстилки составляет 12 см, ее запас – 47.5 т га⁻¹ (Лиханова, 2014).

Концентрацию CO₂ регистрировали воздушно-циркуляционной темной камерой с помощью анализатора LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США). Температуру почвы измеряли при помощи автономных термисторов Logger Noho (США).

На исследуемой вырубке ельника чернично-сфагнового выделены пасечные участки и трелевочные волока. Пасечные участки являются основным технологическим элементом вырубки. Они испытали минимальное влияние лесозаготовительной техники на почву, сохранили лесную подстилку, которая не дает прорасти семенам ели и произрастать травянистым растениям-задернителям. Также на пасечных участках оставлен подрост и недоруб.

К концу мая температура пасечного участка вырубки поднималась до 8.1-9.5 °С (в зависимости от года наблюдения), эмиссия CO₂ составила 1.05-1.52 мкмоль м⁻²с⁻¹. Полученные значения выделения диоксида углерода в 1.3 раза выше, чем для типичной подзолистой почвы среднетаежного ельника черничного (Машика, 2006) и в шесть раз выше, чем для торфянисто-подзолисто-глееватой почвы ельника чернично-сфагнового (Кузнецов, 2010). Это объясняется тем, что с открытого участка вырубки раньше сходит снег и почва прогревается быстрее. В среднетаежных хвойных лесах снег сходит во второй половине мая. Значительная разница вырубки с полугидроморфной почвы ельника черничного объясняется сохранением избыточного увлажнения в течение большей части вегетационного периода. Эмиссия CO₂ в июне-августе сопоставима с потоками диоксида углерода для торфянисто-подзолисто-глееватой почвы ельника чернично-сфагнового. Сохранившаяся лесная подстилка способствует сохранению тепла в осенние месяцы. Температура почвы вне зависимости от года наблюдений со-

ставляла около $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Выделение CO_2 варьировало в пределах $1.23\text{--}0.64\text{ мкмоль м}^2\text{с}^{-1}$, что в два раза выше, чем эмиссия CO_2 с поверхности полугидроморфных почв среднетаежного ельника.

На трелевочных волоках наблюдается слабое техногенное воздействие: вырублена древесная растительность, частично нарушен растительный покров, подстилка, верхние горизонты почвы. Почва трелевочного волока прогревается сильнее пасечных участков из-за отсутствия лесной подстилки, препятствующей прогреванию. Однако, достоверного увеличения эмиссии CO_2 при увеличении температуры на $0.3\text{--}1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с пасечным участком не обнаружено. На волочном участке в 2013 г. выделяются два пика эмиссии CO_2 : в июне ($4.33\text{ мкмоль м}^2\text{с}^{-1}$) и августе ($4.38\text{ мкмоль м}^2\text{с}^{-1}$). Обильные осадки (223% к норме) в конце июля привели к избыточной влажности подстилки и почвы, что привело к снижению выделения CO_2 до $2.59\text{ мкмоль м}^2\text{с}^{-1}$. Но благоприятный температурный режим августа способствовал возрастанию выделения диоксида углерода до значений, близких к июньскому потоку. В осенние месяцы почва волока, лишенная подстилки, охлаждалась быстрее, но поток CO_2 с поверхности почвы был близок к значениям, полученным на пасечном участке.

Таким образом, выявлен основной тренд выделения диоксида углерода с поверхности торфянисто-подзолисто-глеватой почвы вырубки ельника черничного влажного. Пасечные и волочные участки, испытавшие минимальное воздействие лесозаготовительной техники, характеризуются близкими значениями эмиссии CO_2 за вегетационный период.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН № 15-12-4-39 «Трансформация биологического круговорота веществ в хвойных экосистемах европейского Северо-Востока после промышленных рубок».

ЛИТЕРАТУРА

Бобкова К.С., Лиханова Н.В. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках ельников средней тайги // Лесоведение, 2012. № 5. С. 44-54.

Кузнецов М.А. Динамика содержания органического углерода в заболоченных ельниках средней тайги. Автореф. дис. ... канд. биол. наук: Сыктывкар, 2010. 18 с.

Лиханова Н.В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на рубках ельников средней тайги // Лесной журнал, 2014. № 3. С. 52-66.

Машика А.В. Эмиссия диоксида углерода с поверхности подзолистой почвы // Почвоведение, 2006. № 12. С. 1457-1464.

Эколого-географические основы рационального природопользования в многолесных районах / Под ред. В.В. Пахучего. Сыктывкар, 1995. 112 с.

ВЕРТИКАЛЬНО-ФРАКЦИОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ ДРЕВЕСНОГО ЯРУСА СОСНЯКОВ СЕВЕРНОГО ПРИУРАЛЬЯ

И.Н. Кутявин

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru

Вертикально-фракционная структура фитомассы является одной из основных составляющих для анализа функционирования ассимилирующих органов, водного обмена, потоков солнечной радиации в лесных биогеоценозах. Исследования фитомассы и ее продукции в вертикально-фракционном распределении древесного полога приобретают большую значимость в изучении биосферной, климаторегулирующей и социальной функций леса (Вертикально-фракционное..., 1986; Усольцев, 2013). Характеристика вертикально-фракционной структуры древесного полога используется при проведении дистанционного зондирования земной поверхности.

Основная цель данной работы – изучить вертикально-фракционную структуру фитомассы древостоев основных типов сосняков Северного Приуралья.

Исследования проведены в юго-восточной части Республики Коми в подзоне средней тайги, бассейне верхней и средней Печоры. Для оценки биологической продуктивности в старовозрастных сосняках были заложены четыре постоянные пробные площади. Исследованные сосняки формируют как чистые, так и смешанные по составу древостой, **IV-Va классов бонитета. Для них характерна высокая дифференциация по диаметру, высоте и возрасту. Максимальный возраст сосны достигает 370 лет. Массу органического вещества (ОВ) древостоев определяли по методу модельных деревьев (Уткин, 1975). Срубленные деревья разделялись на двухметровые секции. В каждой секции обрубались ветви с разделением их на фракции: сухие (отмершие), неохвоенные и охвоенные. Во всех секциях из охвоенной части отбиралась навеска 300-400 г, которая в дальнейшем разбиралась на побеги и хвою с учетом их возраста. Масса ствола определялась на месте по секциям. Данные по фитомассе и ее структуре в исследуемых сосняках опубликованы ранее (Кутявин и др., 2016; Кутявин, Бобкова, 2017).**

Вертикально-фракционное распределение фитомассы древостоев в перестойных сосняках представлено в абсолютных единицах массы отдельных фракций древесных растений. По вертикальному профилю древесный ярус среднетаежных сосняков лишайникового и бруснично-лишайникового имеет протяженность

от 19 до 21 м, сосняка черничного и чернично-сфагнового – от 26 до 17 м соответственно.

Фактически данные по фитомассе были получены с использованием регрессионных уравнений наименьших квадратов для каждой из функций. Выбор уравнения осуществлялся по наименьшему значению стандартной ошибки (*SEE*) и достоверности аппроксимации тренда (r^2). Распределение фитомассы отдельных фракций деревьев наиболее часто описывается полиномом третьего порядка $y = a+bx+cx^2+dx^3$ и рациональной функцией $y = (a+bx)/(1+cx+dx^2)$.

С улучшением лесорастительных условий в сосняках происходит увеличение запасов органической массы стволовой древесины. Основная масса данного компонента располагается в первых двух секциях (на высоте 0-4 м), здесь же концентрируется значительная часть коры. Кроновое пространство сосняков характеризуется протяженностью от 15 до 24 м, что связано с участием в формировании древесного яруса деревьев разных поколений, наличием в составе древесного яруса сопутствующих пород (кедр, ель, береза) и второго яруса. В сосняке черничном второй ярус состоит преимущественно из ели, имеющей протяженность 10 м, далее этот ярус уступает место господствующему первому ярусу с общей протяженностью от 12 до 26 м.

При оценке вертикально-фракционной структуры древостоя большой интерес представляет биогоризонт, где располагаются ассимилирующие органы древесных растений (Биопродукционный процесс..., 2001). Преобладающая масса хвои в сосняке лишайниковом сосредоточена в слое от 12 до 16 м, бруснично-лишайниковом – от 10 до 18 м, чернично-сфагновом – от 6 до 14 м. В двухъярусном сосняке черничном масса хвои сосредоточена в двух слоях – на высоте 6-8 и 16-24 м.

Листовой индекс – отношение поверхности листьев к единице площади – один из показателей, характеризующих продукционный процесс лесных фитоценозов. По расчетам, проведенным нами, листовой индекс древесных растений старовозрастного сосняка лишайникового и бруснично-лишайникового характеризуется величинами 5.1 и 5.2 га га⁻¹, сосняка черничного – 4.9 и чернично-сфагнового – 5.3 га га⁻¹. Согласно данным, полученным ранее (Биопродукционный процесс..., 2001), в среднетаежных сосняках черничных данный показатель изменяется от 5.4 до 10.3 га га⁻¹.

Таким образом, надземная фитомасса древостоев старовозрастных сосняков различных типов располагается в слое от 17 до 26 м, где основная часть органического вещества аккумулируется в нижней части надземного слоя (0-4 м), состоящая из стволовой

древесины. Затем с высотой концентрация уменьшается и снова увеличивается на высоте кронового пространства. Протяженность крон в сосняках разных типов составляет 15-24 м, где основная масса хвои и листьев сосредоточена в слое 8-24 м.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-6670.2016.5.

ЛИТЕРАТУРА

- Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
- Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах / Под ред. С.Э. Вомперского, А.И. Уткина. М., 1986. 260 с.
- Кутявин И.Н., Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность сосновых фитоценозов Северного Приуралья (Республика Коми) // Лесоведение, 2017. № 1. С. 3-16.
- Кутявин И.Н., Торлопова Н.В., Осипов А.Ф., Кузьмина Е.С., Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность коренного среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (средняя Печора) // Растительные ресурсы, 2016. Вып. 4. С. 484-500.
- Усольцев В.А.* Вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей. Екатеринбург, 2013. 603 с.
- Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов // Лесоведение и лесоводство. М.: Изд-во ВИНТИ, 1975. Т. 1. С. 9-190.

ЗОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПО ДИАМЕТРАМ В ДРЕВОСТОЯХ СОСНЯКОВ

А.В. Манов, А.Ф. Осипов, И.Н. Кутявин
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: manov@ib.komisc.ru

Большинство исследований лесных экосистем начинается с оценки структуры фитоценозов, так как она является одним из важнейших характеристик развития растительного сообщества. Известно, что деревья в лесу сильно различаются между собой по своим размерам даже в одновозрастных древостоях, прежде всего по размерам стволов и крон.

При описании характеристик древостоя особое внимание уделяется оценке степени дифференциации деревьев по толщине. На нее могут оказывать влияние большое количество факторов: возраст, породный состав, полнота древостоя, условия произрастания ценоза, характер размещения деревьев, антропогенное и биогенное воздействие, пожары, ветровалы и пр. (Свалов, Свалов, 1973).

К настоящему времени зональные закономерности структурной организации сосновых фитоценозов Республики Коми остаются малоисследованными, поэтому целью данной работы являлось изучение строения древостоев по диаметру в коренных сосняках разных типов леса в зональном аспекте.

Таксационная характеристика объектов исследования, разделенная по подзонам тайги, кратко приведена в табл. 1.

Степень разнообразия растительных сообществ нами рассматривалась с учетом значений изменчивости диаметров деревьев на высоте груди в отдельных древостоях сосняков крайнесеверной, северной и средней тайги. Оценку характера распределения деревьев по толщине проводили с помощью коэффициента Джини (K_g), определяемого по формуле:

$$K_j = \frac{\sum(2j - n - 1) \cdot g_j}{\sum g_j (n - 1)},$$

где j – ранг дерева в порядке возрастания от 1 до n ; n – общее число деревьев; g_j – площадь сечения для дерева с рангом j ($\text{м}^2 \text{га}^{-1}$). Коэффициент Джини может принимать значения от 0 до 1. При $K_g = 0$ все деревья находятся в одном классе диаметра, а при $K_g = 1$ деревья равномерно распределены по всем классам диаметров.

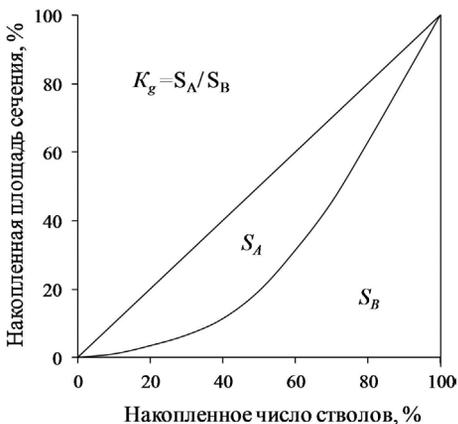
Графически коэффициент Джини можно представить в виде кривой Лоренца, где верхняя линия соответствует ситуации, когда все

Таблица 1

Краткая таксационная характеристика объекта исследования

Тип сосняка	Состав древостоя	Возраст, лет	Количество деревьев, экз. га ⁻¹	Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹
Крайнесеверная подзона тайги (притундровая зона)				
Лишайниковый	8С2Б ед. Лц	55-200	1792	18.6
Багульниковый	10С+Е	Нет данных	552	3.8
Северная подзона тайги				
Брусничный	10С	100-150	1640	35.6
Черничный свежий	10С+Лц	Нет данных	390	32.4
Зеленомошный	8С1Лц1Б+Е	Нет данных	2160	38.0
Багульниковый	10С	110-190	1594	24.9
Сфагновый	10С	30-190	124	2.6
Средняя подзона тайги				
Лишайниковый	10С ед.Б	40-220	511	22.4
Брусничный	10С	50-425	316	23.1
Черничный свежий	9С1Б+Е	90	1195	27.8
Зеленомошный	10С+Е ед.Б	80-205	909	21.8
Багульниковый	10С+Б ед.К	50-220	476	18.2
Сфагновый	9С1Е ед.Б	140-280	808	15.6

деревья имеют одинаковый размер (абсолютное равенство), а нижняя представляет случай с определенным разнообразием размеров деревьев (см. рисунок). Кривая Лоренца позволяет судить о степени неоднородности размерных признаков деревьев по ее изгибу. Отношение площади фигуры, ограниченной прямой абсолютного равенства и кривой Лоренца (S_A), к площади всего треугольника под кривой Лоренца (S_B) равно величине коэффициента Джини (Lexnerod, Eid, 2006).



Графическое представление коэффициента Джини (кривая Лоренца).

По расчетным данным отмечается тенденция к увеличению неоднородности размещения деревьев по толщине в древостоях коренных сосняков с продвижением с севера на юг (табл. 2). Так как исследуемые древостои разновозрастные, на изменчивость толщины и амплитуде колебаний сказывается наличие высоковозрастных толстомерных деревьев (Гусев, 1990). В притундровых сосняках в силу наиболее неблагоприятных условий произрастания древесных растений количество толстомерных деревьев невелико, поэтому ряд распределения деревьев по диаметру сжат. Улучшения климатических условий в северной и особенно средней подзоне тайги ведет к более равномерному распределению деревьев по всем классам диаметров (табл. 2).

Однако на заболоченных почвах строение по диаметру древостоев сосняков не имеет четко выраженной зависимости от клима-

Таблица 2

Коэффициент Джини

Тип сосняка	Крайнесеверная подзона тайги (притундровая зона)	Северная подзона тайги	Средняя подзона тайги
Лишайниковый	0.194	Нет данных	0.382
Брусничный	Нет данных	0.282	0.377
Черничный свежий	Нет данных	0.185	0.273
Зеленомошный	Нет данных	0.208	0.310
Багульниковый	0.194	0.302	0.249
Сфагновый	Нет данных	0.286	0.166

тических условий. С продвижением с севера на юг избыточное увлажнение не компенсируется повышением температуры воздуха, поэтому не проявляется улучшение растительных условий и размерной структуры деревьев в древостоях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых – кандидатов наук МК-6670.2016.5.

ЛИТЕРАТУРА

Гусев И.И. Современное состояние и продуктивность таежных ельников европейской части СССР // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: Матер. междунар. симпоз. Архангельск, 1990. Ч. 1. С. 3-13.

Свалов Н.Н., Свалов С.Н. О динамике рядов распределения диаметров стволов в разновозрастных сосняках // Лесоведение, 1973. № 5. С. 58-62.

Lexerod N.L., Eid T. An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning // Forest Ecology and Management, 2006. Vol. 222. P. 17-28.

ИЗМЕНЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, СТРОЕНИЯ И БИОМАССЫ ДРЕВОСТОЯ СРЕДНЕТАЕЖНОГО СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО С 1978 ПО 2011 год

А.Ф. Осипов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: osipov@ib.komisc.ru

Несмотря на имеющиеся в литературе сведения, вопросы временной динамики лесных экосистем продолжают оставаться актуальными. При проведении лесохозяйственных мероприятий количественные показатели изменения древостоя на разных этапах его развития характеризуют по таблицам хода роста (ТХР). Однако, ТХР по мнению некоторых авторов не всегда отражают реальную динамику древостоев (Усольцев, 2010; Швиденко и др., 2008). Цель настоящей работы – охарактеризовать временную динамику таксационных показателей, строения и фитомассы средне-таежного сосняка черничного и сравнить ее с ТХР.

Исследования проведены в насаждении сосняка черничного на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Постоянная пробная площадь размером 0.2 га была заложена согласно отраслевому стандарту в 1973 г., на которой проведены сплошные повторные перечеты деревьев. В настоящей работе приведены данные за 1978 и 2011 гг. Такса-

ционная обработка выполнена с использованием Лесотаксационного справочника (1986). Сопоставление фактических данных по динамике плотности древостоя, запасов древесины выполнены по ТХР сосняков средней тайги европейской части России (Лесотаксационный справочник..., 1987; Швиденко и др., 2008). Фитомасса древостоя рассчитана по регрессионным уравнениям зависимости массы отдельных фракций от диаметра ствола, приведенным в работе (Осипов, Бобкова, 2016).

В сосняке черничном за анализируемый период (33 года) отмечено относительное постоянство состава древостоя, который состоит из сосны с незначительной примесью березы и ели. С 1978 по 2011 г. произошло уменьшение густоты деревьев от 1730 до 1195 экз. га⁻¹ (на 535 экз.), увеличение объема древесины (на 7%) и суммы площадей сечения (на 10%). Отмечено снижение класса бонитета с III на IV.

С развитием древостоя изменилось строение древесного яруса. Так, на этапе приспевания уменьшилось участие тонкомерных деревьев (6-10 см) с 47 до 28% от общей плотности древостоя, суммы площадей их сечений – от 3.94 до 1.63 м²/га, запасов древесины – от 24.3 до 7.8 м³/га. Доля деревьев в общем количестве и сумма площадей их сечений на средних (12-22 см) ступенях толщины увеличилась соответственно от 51 до 62% и от 17.83 до 18.87 м²/га, тогда как запасы древесины в них сократились от 150.1 до 146.2 м³/га. Вклад крупномерных (более 22 см) деревьев в общее количество увеличился от 3 до 10%, сумма площадей сечений – от 3.1 до 7.2 м²/га, объем стволовой древесины – от 30.2 до 65.9 м³/га.

Запасы фитомассы древостоя сосняка черничного за анализируемый период возросли от 114.2 до 138.2 т/га. Наиболее заметно увеличение массы стволовой древесины как в абсолютных (на 20.1 т/га), так и в относительных (на 4%) величинах. Также отмечается накопление абсолютной массы органического вещества в корнях и ветвях. Масса хвои и коры сокращается.

Сопоставление результатов анализа временной динамики насаждения сосняка черничного, полученных по пересчетным данным на ППП и с использованием ТХР, приведены в таблице. В средневозрастном сосняке черничном экспериментальные данные по густоте древостоя ниже табличных приблизительно в 1.4 раза, а в спелом возрасте разница между фактическими и табличными сведениями составляет 5-10%. Особый интерес представляет сравнение данных по запасам древесины. Так, в средневозрастном сосняке черничном запасы древесины в 1.2-1.3 раза выше табличных, тогда как в возрасте спелости примерно равны или меньше на 7% по сравнению с ТХР. Данные по запасам фитомассы редко вклю-

**Сопоставление основных характеристик
древостоя сосняка черничного с ТХР**

Параметр	60 лет			94 года		
	Факт.	ТХР 1	ТХР 2	Факт.	ТХР 1	ТХР 2
Густота, экз./га	1730	2376	2406	1195	1319	1260
Запас древесины, м ³ /га	205	158	174	231	228	248
Площадь сечений, м ² /га	24.9	–	25.3	27.8	–	29.2
Фитомасса древостоя, т/га	114.2	–	111.5	138.2	–	157.2

Примечание: Факт. – фактические данные по постоянной пробной площади; ТХР1 – таблицы хода роста, приведенные в (Лесотаксационный справочник..., 1987); ТХР 2 – таблицы хода роста, приведенные в (Швиденко и др., 2008); прочерк – нет данных.

чается в ТХР (Швиденко и др., 2008). Установлено, что масса органического вещества средневозрастного сосняка по результатам наблюдений на ППП сопоставима с ТХР, тогда как в спелом возрасте табличные данные превышают фактические на 14%.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых – кандидатов наук МК-6670.2016.5.

ЛИТЕРАТУРА

Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск, 1986. 358 с.

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

Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург, 2010. 574 с.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М., 2008. 886 с.

**КОМПОНЕНТЫ ЦИКЛА УГЛЕРОДА В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКАХ
В ГРАДИЕНТЕ УВЛАЖНЕНИЯ**

А.Ф. Осипов, И.Н. Кутявин
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: osipov@ib.komisc.ru

Происходящее в настоящее время изменение климата, связанное с увеличением концентрации парниковых газов (ПГ) в атмосфере, привело к принятию ряда межправительственных клима-

тических соглашений, последним из которых является Парижское соглашение по климату (United Nations, 2015). В случае ратификации Парижского соглашения по климату Российская Федерация заявляет о сокращении выбросов ПГ к 2030 г. до 70-75% от уровня 1990 г. в первую очередь за счет максимального учета поглощающей способности лесов. Таким образом, исследования цикла углеродсодержащих ПГ с учетом типов условий местообитания продолжают оставаться актуальной задачей. Цель работы – дать оценку компонентам цикла углерода в среднетаежных сосняках в градиенте увлажнения почв.

Исследования выполнены в 11 сосняках на территории Чернамского и Ляльского стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН, а также в буферной зоне Печоро-Ильчского биосферного заповедника. Объекты исследования относились к трем группам типов (лишайниковая, черничная и сфагновая) и находились на разных этапах развития. Запасы (CS) и нетто-продукцию (NPP) углерода в фитоценозах оценивали по их биологической продуктивности. Биомассу и формирование органического вещества древостоями определяли с использованием регрессионных уравнений зависимости отдельных фракций от диаметра ствола, выведенных по данным модельных деревьев. Для характеристики массы растений напочвенного покрова применяли метод укусов на площади 25×25 см в 30-50-кратной повторности. Для оценки прироста кустарничков в конце вегетационного периода отбирали модельные особи, у которых отделяли побеги текущего года. По полученным соотношениям рассчитывали общий прирост. Массу поступающего на поверхность почвы опада определяли с помощью 15-20 опадоуловителей. Потери углерода при разложении опада и лесной подстилки характеризовали по интенсивности потока CO₂, измеренную газоанализатором Li Cor 8100 (LI-COR BIOSCIENCE, USA) по методике, описанной ранее (Осипов, 2016).

Запасы углерода в сосняках характеризуются значительной изменчивостью. Более высокая его концентрация (75.1 тСга⁻¹) отмечена в приспевающем сосняке бруснично-лишайниковом. В средневозрастном сосняке чернично-сфагновом CS составили 38.5 тСга⁻¹. В древостоях сосредоточено 89-99% от общего запаса углерода, из них более половины (53-62%) концентрируется в древесине ствола. Степень увлажнения почв оказывает непосредственное влияние на CS растений напочвенного покрова. В сообществах на переувлажненных почвах их участие в общих запасах выше как в относительных (7-11%), так и абсолютных (3.6-5.1 тСга⁻¹) величинах. Отмечено статистически значимое влияние условий увлажнения почвы на CS напочвенного покрова ($r = 0.64$;

$F = 6.1$; $P = 0.035$), тогда как для древостоя их влияние статистически не значимо ($r = -0.59$; $F = 4.8$; $P = 0.056$).

Прирост надземной части фитомассы (ANPP) в сосняках варьировал от 0.97 до 2.91 тСга⁻¹год⁻¹. Средневозрастной сосняк черничный характеризуется более интенсивной ANPP, а наименьшая скорость формирования ОВ выявлена в старовозрастном сосняке бруснично-лишайниковом. Лесорастительные условия оказывают достоверное влияние на продукцию растений напочвенного покрова ($r = 0.68$; $F = 7.66$; $P = 0.02$), тогда как для древостоя такого влияния не обнаружено.

Поступление растительного опада на поверхность почвы является ключевым процессом круговорота веществ. Ежегодно с опадом поступает 0.47-1.29 тСга⁻¹. Меньшая интенсивность потока органического вещества из фитоценоза на поверхность почвы отмечена в перестойном сосняке бруснично-лишайниковом, более высокая – в средневозрастном сосняке черничном. Древесные растения вносят более половины (50-92%) массы опада. Роль растений напочвенного покрова выше в сообществах на переувлажненных почвах, где отмечается интенсивный ежегодный прирост и значительная биомасса этого яруса.

Условия увлажнения оказывают непосредственное влияние на разложение растительных остатков на поверхности почвы и, соответственно, поток диоксида углерода. Неразложившиеся остатки формируют лесную подстилку, мощность которой зависит от лесорастительных условий. Так, в сосняках чернично-сфагновых ее мощность составляет 17-21 см, сосняках черничных – 10-12, бруснично-лишайниковых – 2-5 см. В течение вегетационного периода с эмиссией CO₂ в среднем за три года теряется 3.40 тСга⁻¹ в приспевающем бруснично-лишайниковом, 2.80±0.48 тСга⁻¹ – в спелом сосняке черничном, 0.86±0.16 тСга⁻¹ – в спелом чернично-сфагновом.

В исследованных нами среднетаежных сосняках связывание углерода в нетто-продукции в 1.1-2.3 раза превышает его поступление с опадом. Накопление неразложившихся остатков в виде лесной подстилки свидетельствует о неполном разложении опада. Таким образом, можно предположить, что среднетаежные сосняки служат стоком углерода по отношению к атмосфере, интенсивность которого прямо зависит от условий увлажнения почвы.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых – кандидатов наук МК-6670.2016.5.

ЛИТЕРАТУРА

Осинов А.Ф. Выделение углерода с поверхности почвы спелого сосняка черничного средней тайги Республики Коми // Почвоведение, 2016. № 8. С. 982-990.

United Nations, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Conference of the parties, Report of the conference of the parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Available at: (<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>).

ОСОБЕННОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Е.М. Перминова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: perminova@ib.komisc.ru

В результате проведения сплошнолесосечных рубок происходят кардинальные изменения в функционировании всего лесного биогеоценоза, основными компонентами которого являются лесная растительность и почва. Проявление многих свойств и процессов в почвенном профиле является результатом развития лесной растительности (Ершов, 2015). Удаление древесного яруса и дальнейшее естественное лесовосстановление через смену пород, использование тяжелой техники, наличие дополнительных источников органического вещества в виде порубочных остатков накладывают значительный отпечаток на выполнение почвенным покровом его биогеоценотических функций. Одной из таких функций является трансформация вещества и энергии, которая становится возможной благодаря огромной геохимической работе почв и живого вещества (Добровольский, Никитин, 2006). Моделирование процессов трансформации органических остатков в исследовательских целях – это широко распространенный метод диагностики функционального состояния почв.

Цель настоящей работы заключалась в рассмотрении особенностей процессов разложения растительного материала в условиях естественного лесовосстановления после проведения сплошнолесосечных рубок в среднетаежных еловых лесах.

Исследования проводили в подзоне средней тайги на территории Усть-Куломского района Республики Коми. Объектами исследований послужили участки ненарушенного ельника черничного (ПП1), а также молодняка первого класса возраста (ПП2) и средневозрастного лиственно-хвойного сообщества (ПП3), сформирова-

ровавшихся после проведения сплошнолесосечных рубок в зимний период 2001/2002 и 1969/1970 гг. соответственно. Трансформацию растительного материала определяли в микрокосмах методом изоляции в капроновых мешочках с размером ячеи 1 мм. На участках ПП1 и ПП2 субстратом служила живая часть растений мохового яруса, на участке ПП3 – листовая опад березы и осины. Растительный материал экспонировали в каждом сообществе в течение двухлетнего периода. На разных стадиях деструкции определяли потерю массы растительного материала, оценивали содержание общего органического углерода ($C_{\text{общ.}}$), общего азота ($N_{\text{общ.}}$), углерода водорастворимых органических веществ ($C_{\text{ВОВ}}$) и аминокислотный состав. Численность и биомассу микроорганизмов, принимающих участие в разложении растительного материала, определяли методом люминесцентной микроскопии.

В результате проведенных исследований было установлено, что скорость разложения растительных остатков в различных фитоценозах отличается незначительно: к концу двухлетнего периода потеря массы растительного материала на всех участках составила в среднем 40-44%. Необходимо отметить, что наиболее заметные различия в процессах трансформации проявились в первый год экспозиции. Максимальная скорость потери массы в этот период была зафиксирована для коренного елового леса. Процессы деструкции растительного материала во вторичных фитоценозах были снижены 1.7-2.3 раза.

Потери общего органического углерода за двухлетний период на участке ПП1 составили 43.3%, ПП2 – 41.1, ПП3 – 44.5%. Однако, в зависимости от участка скорость снижения доли органического углерода характеризовалась определенными особенностями. Так, скорость потерь $C_{\text{общ.}}$ на участке ПП2 в первый год экспозиции была в 1.2-1.7 раза ниже по сравнению с участками ПП1 и ПП3.

Наиболее активные потери углерода проходили с водорастворимыми органическими веществами. Начальное содержание углерода водорастворимых органических соединений ($C_{\text{ВОВ}}$) для всех типов экспериментального растительного материала варьировало в пределах 18.2-24.8 мг/г субстрата. Тем не менее, максимальные потери по данному показателю зафиксированы для участка ПП2, где в течение первого месяца экспозиции они составили 72% (на ПП1 и ПП2 соответственно 38 и 45%).

Важным показателем трансформации органического вещества является соотношение C:N (Бобкова и др., 2014). Как известно, при разложении любого типа опада в первую очередь разлагаются водорастворимые легкодоступные соединения (Аристов-

ская, 1980). Потеря углеводов на первом этапе процесса разложения растительного материала обусловила сужение величины C:N на участке коренного ельника черничного, где эта величина изменилась с 35.3 в закладываемом материале до 28.5 в материале первого срока отбора. За двухлетний период сужение отношения C:N произошло на участках ПП1 и ПП3, на участке молодого листовечно-хвойного сообщества (ПП2) данный показатель изменился незначительно. Сужение величины C:N обусловлено относительным накоплением содержания азота. Расчет запасов элементов в экспериментальном материале до и после экспозиции выявил тенденцию потери азота в процессе разложения растительного материала. Наиболее активные потери азота происходят в первые 10 месяцев экспозиции. Они составляют 23-45%, что коррелирует с изменением пула аминокислот в составе трансформирующегося материала.

Таким образом, в независимости от характера растительного материала и типа растительного сообщества, в среднем интенсивность разложения мхов и листового опада на участках коренного ельника черничного и фитоценозов вырубок характеризуется близкими величинами. Наиболее яркие различия происходят на первых этапах деструкции, которые проявляются в различиях потери массы экспериментального материала, изменении содержания органического углерода, углерода водорастворимых органических соединений и общего азота.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 15-12-4-45 «Функционирование и эволюция экосистем криолитозоны европейского северо-востока России в условиях антропогенных воздействий и изменения климата» (Гр. 11512151006).

ЛИТЕРАТУРА

Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 188 с.

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

Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2006. 364 с.

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

ГЕОХИМИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ТОРФЯНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ

В.А. Спиридонова¹, Р.С. Василевич²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: vasilevich.r.s@ib.komisc.ru

Высокая сорбционная способность торфа позволяет удерживать вещества, выпадающие из атмосферы, что дает возможность реконструкции геохимического фона микроэлементов атмосферного аэрозоля в различные временные периоды в стратифицированных горизонтах торфяных почв. Современная антропогенная деятельность характеризуется интенсивной эмиссией и рассеиванием тяжелых металлов в атмосфере, что приводит к их накоплению в верхних слоях торфа (Бобров и др., 2011, Веретенникова, 2013). Последние десятилетия ознаменовались значительной трансформацией почвенного покрова Севера под действием усиливающегося пресса антропогенной деятельности. Отсутствие фоновых концентраций тяжелых металлов и закономерностей их накопления в торфяных отложениях Республики Коми делает практически неосуществимым оценку техногенного воздействия на данные объекты.

В качестве объектов исследования выбраны почвы мерзлотных бугристых торфяников северной лесотундры (бассейн р. Сейда, Воркутинский район Республики Коми) и крайнесеверной тайги (бассейн р. Черная, Интинский район Республики Коми). Исследования проведены в пределах бугристо-мочажинного комплекса на сухоторфяных мерзлотных почвах бугров и почвах оголенных торфяных пятен.

Геохимическое опробование торфяной толщи позволило построить ряды кларков концентраций тяжелых металлов в торфяных горизонтах и выделить группы накопления элементов. Верхний уровень накопления приурочен к сезонно-талому слою (СТС), отражая степень аэрогенного загрязнения за длительный временной период, и связан с прижизненным накоплением растениями и гумусовыми веществами Hg, Cd, Pb, Cu. Центральный уровень накопления элементов соответствует границе многолетней мерзлоты и связан с аномальным превышением кларков, а также ОДК почв для As (до 40 ОДК), Cd (до 11 ОДК), ОДК для Ni и ПДК для Co. Суглинистые отложения материнской породы обогащены Cd, Zn, As.

Анализ с применением сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с энергодисперсионным детектором показал наличие сферических и полусферических частиц в 15-сантиметровом при-

поверхностном олиготрофном слое торфяника размерностью менее 1 мкм, в основе которых оксиды кремния и алюминия с примесью таких элементов, как Ti, Fe, Ca, Mg, S, P и часто Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Mn. Частицы этой размерности приурочены к поверхности крупных минеральных и органоминеральных частиц терригенного происхождения и агрегатов, также к тканям растений. Их морфология и размер указывают на антропогенный источник их поступления в результате дальнего и регионального атмосферного переноса воздушных масс (Василевич, 2015). Региональными источниками выступают предприятия угольной отрасли Воркутинской и Интинской промышленных агломераций (Василевич, 2017).

Отличие в накоплении этих элементов в СТС обусловлено действием двух типов геохимических барьеров – сорбционного и криогенного, связанного с действием многолетней мерзлоты. Вследствие низкой доли минеральных компонентов в составе верхового торфа действие сорбционного барьера связано с образованием гуматов и фульватов тяжелых металлов (ТМ). Характер накопления и миграции определяется устойчивостью гуматов ТМ, константы устойчивости располагаются в следующий ряд ($\text{pH} = 3.7$) $\text{Hg} > \text{Fe}^{3+} > \text{Al} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ni} = \text{Cd} = \text{Zn} > \text{Co} = \text{Mn}$. Вследствие низкого содержания основных комплексообразующих центров молекул гуминовых кислот (ГК) верхних слоев торфа они обладают низким химическим сродством к ТМ. В условиях повышенной кислотности ТМ обладают высокой подвижностью, мигрируя до границы СТС. КХА содержания водорастворимых форм ТМ показывает увеличение их доли на нижней границе СТС для ряда элементов от валового содержания: Cu (до 22% от валового содержания в торфяном слое), As (до 20%), Cd (до 9%), Zn (до 13%). Многолетнемерзлые торфяные слои выступают криогенным геохимическим барьером на пути миграции элементов с более низким химическим сродством к гуминовым кислотам. Взаимодействие ГВ с минеральными компонентами приводит к образованию комплексно-гетерополярных солей и сорбционных алюмо- и железистых комплексов, являющихся мощнейшим геохимическим барьером к ТМ. Максимальное действие этого геохимического барьера проявляется для торфяных слоев на глубине 60-120 см и связано с сорбцией элементов, проявляющих высокое сродство к железу.

Обнаруженные аномальные концентрации Cd и Zn в центральной части торфяной толщи, сформированной в период голоценового оптимума, не могут быть объяснены фракционированием химических элементов из атмосферы в ранние периоды. Обнаружена тесная связь концентраций этих элементов с валовым содержанием

ем серы ($r(\text{Cd}) = 0.92$, $r(\text{Zn}) = 0.65$, $n = 33$, $r_{5\%} = 0.34$). При разложении органического вещества и под действием сульфатредуцирующих бактерий в анаэробных условиях такие металлы, как кадмий и цинк, будут образовывать сульфиды. Действие этих барьеров может быть причиной аномального накопления халькофильных элементов, токсичных для большинства организмов. В анаэробных условиях происходит осаждение железа с образованием групп, колоний кристаллов пирита, а также формирование кристаллов микронной размерности на поверхности растительных остатков и аутигенных минералов внутри растительных клеток. В составе структур пирита по данным СЭМ атомная доля примеси As достигает 0.2%.

Растительные сообщества эвтрофных и олиготрофных болот в разной степени аккумулируют элементы. Выявлена достоверная взаимосвязь содержания осоковых/травянистых торфообразователей с массовой долей Cd ($r = 0.48$, $P = 0.95$, $r_{5\%} = 0.39$, $n = 26$), Ni, Co, V, Mn, Fe ($r = 0.44-0.61$), Ca, Sr ($r = 0.52$), S ($r = 0.54$), As ($r = 0.45$). В этой группе особенно выделяется роды растений *Carex cespitosa* и *Equisetum*, имеющие максимальное сродство к элементам сидерофилам ($r = 0.47-0.77$), алюминию (0.47-0.74), щелочным и щелочноземельным элементам ($r = 0.58-0.82$). *Carex cespitosa* отличается наибольшей избирательностью биогенного поглощения соединений серы ($r = 0.63$) и мышьяка ($r = 0.62$). Древесные породы (*Pecea*, *Betula sp.*) и кустарники (*Salix*) содержат повышенные количества Mn, Fe, Cr, Mg, K, Na.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ МОЛ_А № 16-35-00218.

ЛИТЕРАТУРА

- Бобров В.А., Богови А.А., Леонова Г.А., Краснобаев В.А., Аношин Г.Н. Аномальные проявления концентраций цинка и меди в торфянике верхового болота Южного Прибайкалья // Доклады академии наук, 2011. Т. 439. № 6. С. 784-788.
- Василевич М.И., Щанов В.М., Василевич Р.С. Применение спутниковых методов исследований при оценке загрязнения снежного покрова вокруг промышленных предприятий в тундровой зоне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. № 2. С. 50-60.
- Василевич М.И., Василевич Р.С., Михайлов В.И., Кривошапкин П.В. Оценка свойств атмосферных взвесей в снеге фоновых территорий таежной зоны европейского северо-востока России // Оптика атмосферы и океана, 2017. № 2. С. 184-190.
- Веретенникова Е.Э. Содержание и распределение химических элементов в торфах южнотаежной подзоны Западной Сибири // География и природные ресурсы, 2013. № 2. С. 89-95.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ В ГРУНТАХ ВОДОТОКОВ, ПЕРЕСЕКАЕМЫХ ТРАССОЙ НЕФТЕГАЗОПРОВОДА (НА ПРИМЕРЕ РЕК АЙ И ФИРСОВКА, ОСТРОВ САХАЛИН)

Д.О. Судаков, В.Н. Ефанов

Сахалинский государственный университет

E-mail: *dimonsydak.65@mail.ru*

В настоящее время экономика России ориентирована в основном на добычу и транспортировку углеводородного сырья к внутренним и внешним потребителям. Сахалинская область обладает значительными запасами нефти и газа, в связи с чем здесь были реализованы проекты по добыче нефти и газа «Сахалин-1» и «Сахалин-2». При реализации проекта «Сахалин-2» по территории о-ва Сахалин в направлении с севера на юг был проложен подземный нефтегазопровод общей протяженностью около 800 км. Переходы трубопровода через водотоки осуществлены двумя основными способами: траншейным и горизонтально-направленным. Методом горизонтально-направленного бурения были пройдены только четыре наиболее крупные реки из 1113 водотоков, пересеченных трассой нефтегазопровода.

Цель данной работы заключалась в оценке влияния способа прокладки нефтегазопровода на содержание мелкодисперсных фракций донных отложений рек.

Исследования проводили в Долинском р-не Сахалинской области, на участках переходов трассы нефтегазопровода рек Ай и Фирсовка. Выбор данных водотоков обусловлен сходством условий формирования донных отложений в их руслах. На р. Ай прокладка трубопровода осуществлена траншейным методом, на р. Фирсовка – методом горизонтально-направленного бурения. В долине каждой реки отбор проб производили на трех участках: в месте пересечения реки трубопроводом, а также в 500 м выше и в 500 м ниже места перехода. Для отбора проб грунта в установленных точках использовали грунтоотборник, представляющий собой раму размером 50×50 см, обтянутую сверху капроновым мельничным газом № 56, не пропускающим мелкодисперсные частицы грунта диаметром более 0.01 мм. Грунт отбирали полустыковой лопатой на глубину до 35 см (максимальная глубина кладки икры горбуши в грунт). Определение гранулометрического состава донных отложений осуществляли ситовым методом в соответствии с ГОСТ 12536-79.

Максимальные нарушения природной среды происходят при траншейном способе прокладки трубопровода. В этом случае вдоль трассы производят вырубку всей древесно-кустарниковой растительности (ширина полосы около 50 м). Затем снимают почвенно-плодородный слой, который укладывают на одну из сторон траншеи. Вынимают грунт на глубину, превышающую на 1.5-2.0 м глубину промерзания почвогрунтов в данной конкретной местности, и складывают на противоположной стороне траншеи. Дно траншеи отсыпают непучинистым грунтом (как правило, песком). На дно укладывают трубы с пригрузами, изготовленными из бетона. После стыковки и сварки труб производят обратную засыпку грунта. В водотоке засыпку трубопровода осуществляют щебнем. В результате проводимых работ по организации подводного перехода происходит значительное увеличение твердого стока, обусловленное механическим нарушением грунтов и донных отложений в русле водотоков, а также сведением древесно-кустарниковой растительности. Последнее способствует усилению водной эрозии (плоскостного стока) и смыву верхних горизонтов почв под влиянием стекающих по склону дождевых или талых вод, что обуславливает возрастание величины твердого стока и появление наилка. Увеличение мелкодисперсных фракций в грунте нерестилиц оказывает существенное негативное воздействие на воспроизводство гидробионтов и выживаемость икры горбуши, требовательной к высокому содержанию кислорода.

Проведенные нами исследования показали, что на участке организации подводного перехода через р. Фирсовка содержание в донных отложениях частиц диаметром <1 мм составило в месте пересечения трубопроводом русла реки 5.7%, на расстоянии выше и ниже перехода – соответственно 3.3 и 5.7%. Некоторое заиливание русла в точке перехода и ниже по течению реки может быть обусловлено эрозионными процессами, наблюдаемыми вследствие обезлесивания полосы землеотвода. В донных отложениях р. Ай количество песчано-илистых фракций выше. Средние показатели в месте перехода трубопровода через р. Ай составили 15.9%, выше и ниже по течению – соответственно 6.0 и 7.1%. По сравнению с фоновыми данными отмечено практически трехкратное превышение содержания песчано-илистых фракций в грунтах на участке пересечения реки трассой трубопровода, свидетельствующее об антропогенном характере заиливания грунтов. Максимальные значения могут вызвать 45%-ную смертность икры лососевых рыб.

Таким образом, оценка содержания гранулометрических фракций в донных отложениях водотоков, организация переходов нефтегазопроводов через русло которых осуществлена двумя разными

ми способами (траншейным и горизонтально-направленным бурением), показала следующее. Использование горизонтально-направленного бурения для прокладки трубопровода, в отличие от траншейного способа, позволяет снизить заиливание донных отложений за счет уменьшения эрозионных процессов, обусловленных как сведением растительности в прибрежной зоне, так и механическим повреждением русла реки при прокладке траншей.

ЛИТЕРАТУРА

Ефанов В.Н., Кордюков А.В., Романова Г.Н., Михайлова К.Э., Бянкина К.Е. Динамика содержания мелкодисперсных фракций в грунтах водотоков, пересекаемых трассой нефтегазопровода на Сахалине / *Фундаментальные исследования*, 2013. № 4. Ч. 3. С. 640-645.

Романова Г.Н., Ефанов В.Н., Кордюков А.В., Михайлова К.Э., Бянкина К.Е. Влияние траншейного и горизонтально-направленного методов прокладки нефтегазопровода на состояние фитоценозов в бассейнах рек Ай и Фирсовка Долинского района // *Фундаментальные исследования*, 2013. № 4. Ч. 3. С. 655-659.

«Сахалин Энерджи». Руководство по экологическому проектированию – переходы через водотоки», 2002.

ГОСТ 12536-79. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ТИПИЧНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ И БОЛОТНО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Ю.В. Холопов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: Vegalyn@mail.ru

Настоящая работа посвящена исследованию физико-механических свойств таежных подзолистых почв, формирующихся в различных условиях увлажнения на крупнопылеватых суглинистых отложениях водно-ледникового происхождения.

Цель исследований – выявить особенности микроструктурного состояния автоморфных и полугидроморфных подзолистых почв с точки зрения физики межчастичного взаимодействия для оценки их устойчивости к механическим нагрузкам.

Исследования проводили в подзоне средней тайги (Республика Коми, в 3 км южнее г. Сыктывкара, Максимовский стационар). Объектами исследования служили подзолистые и болотно-подзолистые почвы, занимающие автоморфные и полугидроморфные ландшафтные позиции в пределах водораздельного увала с аб-

солютной высотой 170 м над ур.м. (координаты: 66°39' с.ш., 62°30' в.д.). Вершину увала в автоморфных условиях занимает типичная подзолистая почва (разрез П-1). В средней части увала на выположенном склоне формируется торфянисто-подзолисто-глееватая почва (Пб-1). В ложбине склона в условиях почти постоянно переувлажнения формируется торфяно-подзолисто-глеевая почва (Пб-2).

Подробное описание физико-химических свойств исследуемых почв дано ранее (Структурно-функциональная организация..., 2001). Данные о реологических параметрах исследуемых подзолистых почв были получены с помощью модульного реометра MCR 302 (Anton Paar, Австрия). При проведении исследований использовали метод амплитудной развертки (колебательный метод) с измерительными системами «плита плита» (Хайдапова и др., 2016). Были определены следующие параметры: модуль накопления (G , Па), характеризующий величину прочности межчастичных почвенных контактов; диапазон упругой деформации (LVE , %), отражающий величину упругой или обратимой деформации, при которой деформируемое тело способно к самовосстановлению; диапазон пластичной деформации ($CROSSOVER$, %) характеризующий предел пластичной деформации почв до полного разрушения почвенной микроструктуры и перехода в текучее состояние.

Полученные реологические параметры показали достаточно четкую взаимосвязь с физико-химическими и гидрологическими свойствами исследуемых почв. Наиболее прочные межчастичные контакты (G $1.36 \cdot 10^6$ Па) формируются в верхних элювиальных горизонтах (ELg , $BEIg$) подзолистой (П-1) и торфяно-подзолистой (Пб-1) почвы, что, вероятно, обусловлено влиянием нескольких факторов. Во-первых, процессом оподзоливания, в результате которого происходит разрушение и вынос илистых и коллоидных микрочастиц. Низкое содержание ила способствует более тесному взаимодействию и, соответственно, высокому трению крупных почвенных частиц при деформации. Во-вторых, альфе-гумусовой пропиткой и цементацией почвенной массы в более жесткую и прочную систему. Кроме того, дополнительным фактором, влияющим на формирование контактов с повышенной прочностью, служат процессы промерзания. Промерзание приводит к дегидратации и уплотнению почвенных частиц с формированием прочных конденсационных связей. Конденсационные контакты обладают низким пределом деформирования (LVE $0.0022-0.00328\%$), резко разрушаются при механическом воздействии, впоследствии долго и слабо восстанавливаясь. Исключением является иллювиально-гумусовый горизонт ($ELhig$) торфяно-подзолисто-глеевой

почвы, который отличается сочетанием крайне низкой прочности ($G\ 5.07 \cdot 10^5$ Pa) при высоких значениях упругой деформации (LVE 0.007%). Такое поведение реологических свойств обусловлено повышенным содержанием здесь слабоброзожившихся органических остатков и низкомолекулярных органических веществ, поступающих из оторфованной подстилки. Сцепленные органические компоненты действуют подобно механической пружине, увеличивая упругое сопротивление почвы в начале деформационного воздействия. Однако, при этом значительно теряется общая жесткость структуры или прочность межчастичных контактов. Высокое содержание органических веществ способствует повышенному накоплению влаги, которая обволакивает минеральные почвенные частицы, увеличивая расстояние между ними и ослабляя тем самым межчастичное взаимодействие (Хайдапова и др., 2016).

С продвижением к нижней части профиля во всех рассматриваемых почвах наблюдается ослабление прочности ($G\ 4.65 \cdot 10^5$ Pa) межчастичных контактов при увеличении значений упругой деформации (LVE 0.00488%). Такой эффект обусловлен постепенным утяжелением гранулометрического состава почв, а также возрастанием насыщенности почвенного поглощающего профиля основаниями. Повышенный диапазон упругости (LVE) в нижней части рассматриваемых почв связан с различным минералогическим составом и формой глинистых частиц, что создает дополнительное упругое сопротивление при деформации.

Наиболее высокие значения пластичности (CROSSOVER 3.48-5.18%) отмечены в профиле полугидроморфной торфяно-подзолисто-глеевой почвы (Пб-2). В подзолистой (П1) и торфянисто-подзолисто-глеевой (Пб-1) почвах эти значения находятся в пределах 1.48-2.8%. Высокая пластичность, вероятно, обусловлена слабой агрегированностью минеральной массы торфяно-подзолисто-глеевой почвы (Пб-2), формирующейся в условиях постоянного переувлажнения, сопровождаемого интенсивными процессами оглеения, что приводит к значительной деградации почвенных агрегатов. При механическом воздействии эти агрегаты легко разрушаются до более мелких частиц, в результате чего увеличивается площадь межчастичных контактов, что при механических испытаниях отражается в виде увеличения диапазона пластичности.

Таким образом, физико-механические свойства почвенной микроструктуры подзолистых почв, формирующихся в разных условиях увлажнения, зависят от содержания и качества органо-минеральных соединений, а также процессов оподзоливания и промерзания. Наиболее прочные межчастичные контакты формируются в верхних элювиальных горизонтах (ELg, BELg) подзоли-

стых почв, занимающих вершину и склон увала. Устойчивость межчастичного взаимодействия в автоморфных условиях ограничивается хрупкостью контактов, которые слабо восстанавливаются после разрушения. При продвижении от автоморфных к полугидроморфным условиям значения пластичности увеличиваются в два раза, что указывает на ослабление межчастичного и межагрегатного взаимодействия при усилении гидроморфизма почв.

ЛИТЕРАТУРА

Структурно-функциональная организация почв и почвенного покрова европейского Северо-Востока / Под ред. Ф.Р. Зайдельмана, И.В. Заболовой. СПб.: Наука, 2001. С. 224.

Хайдапова Д.Д., Честнова В.В., Шеин Е.В., Милановский Е.Ю. Реологические свойства черноземов типичных (Курская область) при разном землепользовании // Почвоведение, 2016. № 8. С. 1-9.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ СУБАРКТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ ЛЕСОТУНДРЫ)

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

Необходимость исследования криогенных почв, формирующихся в экотонной полосе «тундра-тайга», связана с особым разнообразием почвенных структур, их повышенной чувствительностью к климатическим изменениям. Генезис таких почв, несмотря на проведенные ранее исследования (Пастухов, 2008; Атлас..., 2010; Русанова и др., 2014), слабо изучен с точки зрения оценки многоуровневой структурной организации профиля и влияния на его строение процессов педо- и криогенеза, что и предопределило цель данной работы.

Работы проводили в 50 км к юго-западу от г. Воркута (окрестности ж.-д. ст. Сейда). Район исследования приурочен к подзоне северной лесотундры, характеризующейся островным распространением многолетнемерзлых пород. Объектами исследования послужили почвы, формирующиеся в пределах водораздельного холма под двумя типами растительности. Криометаморфическая почва формируется в тундровом ерниково-кустарничково-лишайниковом сообществе, светлозем иллювиально-железистый – березово-еловом редколесье с высотой деревьев до 4-6 м. Комплексный подход к исследованию почв включал: 1) анализ структурной организации и дифференциации продуктов функционирования (ку-

танный комплекс) с применением макро-, мезо- и микроморфологического метода; 2) расчет литохимических индексов (Сысо, 2007) на основе данных валового состава скелетан (*СК*) и внутрипедной массы (*ВПМ*) агрегатов.

Для профиля криометаморфической почвы (**O-CRM-C**) характерно сочетание двух горизонтов – органогенного и хорошо агрегированного криометаморфического. Вниз по профилю возрастают размеры агрегатов (от 3-5 до 5-8 мм) и обилие *СК* на их поверхности. В верхней части профиля (5-12 см) *СК* тонкие, в средней части (27-45 см) их толщина возрастает до 1-2 мм, в нижней части (45-70 см) они аккумулярованы вблизи трещин или сосредоточены небольшими пятнами на поверхности агрегатов. На глубине 60-70 см минеральная толща слабо агрегирована. Формирование специфической структуры CRM-горизонтов в виде ооидов и гранулярных агрегатов обусловлено криогидратационным выветриванием, дроблением частиц до пылеватого размера, сегрегационно-коагуляционным оструктурированием частиц разного гранулометрического состава при участии гумусовых веществ и соединений железа, ротационной агрегацией тонкодисперсного материала за счет гидроксидов железа. Химический анализ *ВПМ* и *СК* показал отсутствие дифференциации *ВПМ* по валовому содержанию оксидов железа и алюминия, что позволяет диагностировать протекание в профиле криометаморфической почвы процессов Al-Fe-гумусового иллювиирования (выявляются по данным анализа *СК*, приуроченных к путям современной миграции), а также слабой элювиально-иллювиальной дифференциации профиля (по данным анализа *ВПМ*, блокируемой кутанами от выщелачивания и консервирующей свойства, являющиеся унаследованными от прошлых стадий развития) (Русанова и др., 2015).

Профиль светлозема иллювиально-железистого (**O-E-BF-CRMg-CRM-C**) четко дифференцирован на горизонты – в верхней части отчетливо выделяется микропрофиль подзола, в средней и нижней – криометаморфические горизонты со специфической угловатой структурой. Для подзолистого горизонта характерны пластинчатые агрегаты, субпараллельная слоеватость, *СК* в промежутках, округлые агрегаты с железисто-гумусо-глинистыми-пленками по краям и плотные нодулы. Горизонт BF отличается икряной структурой, ржаво-охристыми пятнами и полосами. Наличие растворяющихся конкреций и ожелезненных зон под горизонтом BF свидетельствует о повышении увлажнения и частой смене окислительно-восстановительных условий. Верхней части профиля (CRMg) свойственны угловато-крупитчатые агрегаты размером 2-3 мм, средней и нижней (CRM) – мелкокомковато-ореховатые размером

7-10 мм. Заметна криогенная кольцевая организация пылеватых *СК* и заполнение ими межагрегатных промежутков и пор. В нижней части профиля (глубина 34-67 см) появляются обломки глинистых натеков и гумусовые педореликты – унаследованные фрагменты бывшего глинистого текстурного горизонта. Можно предположить, что разрушение в холодные этапы позднего голоцена текстурных горизонтов сопровождалось криогенным метаморфизмом последних с формированием современной ооидно-крупитчатой структуры. Она образуется вследствие протекания таких процессов, как агрегация тонкодисперсной массы, сегрегационно-коагуляционное оструктуривание, криогенная сортировка зерен скелетан.

Анализ валового состава *СК* и *ВПМ* свидетельствует о дифференциации профиля светлосема под влиянием Al-Fe-гумусового процесса, а также о мобилизации, миграции и аккумуляции гидроксидов Fe, обусловленных процессами оглеения. Редокс-альфе-гумусовое подзолообразование (Тонконогов, 2010), включающее Al-Fe-гумусовое иллювирирование и криогенное ожелезнение, выражено в верхней части профиля. Криогенный метаморфизм залегающих ниже горизонтов следует отнести к позднеголоценовым периодам похолодания

Расчеты литохимических индексов показали, что в криометаморфической почве процессы почвообразования и выветривания протекают преимущественно в верхней части профиля (до глубины 15 см), нижняя часть профиля менее преобразована процессами почвообразования. В профиле светлосема иллювиально-железистого глееватого по данным расчета литохимических индексов также четко выделяются две части. Однако здесь верхняя часть профиля несет признаки современной криогенной фазы, а нижележащие горизонты, для которых характерна более высокая степень зрелости и выветрелости, принадлежат, очевидно, ранее сформированной почве таежного этапа, испытавшей впоследствии период криогенного структурного метаморфизма.

Таким образом, использование комплексного подхода к изучению почв позволило выявить особенности структурной организации автоморфных почв лесотундры, криогенные и педогенные процессы, установить их диагностические признаки. Показано, что валовый состав *ВПМ* отражает элювиально-иллювиальную дифференциацию криометаморфических почв лесотундры, унаследованную от прошлых стадий почвообразования. Скелетаны, приуроченные к границе раздела фаз, путем современной миграции, диагностируют процесс Al-Fe-гумусового иллювирирования в верхней части их профилей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН № 15-12-4-45 «Функционирование и эволюция экосистем криолитозоны европейского северо-востока России в условиях антропогенных воздействий и изменения климата» (Гр. 11512151006).

ЛИТЕРАТУРА

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

Пастухов А.В. О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках в микроэкоtone тундра-лесотундра // Вестник СПбГУ. Серия 3: Биология, 2008. № 3. С. 117-126.

Русанова Г.В., Денева С.В., Шахтарова О.В. Особенности генезиса автоморфных почв северной лесотундры (юго-восток Большеземельской тундры) // Почвоведение, 2015. № 2. С. 145-155.

Русанова Г.В., Шахтарова О.В., Пастухов А.В. Почвы лесных и тундровых ландшафтов северной лесотундры (бассейны рек Сейда и Хоседа-ю) // Вестник СПбГУ. Серия 3: Биология, 2014. № 3. С. 50-61.

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ ПОЛИАРЕНОВ В РАСТЕНИЯХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

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

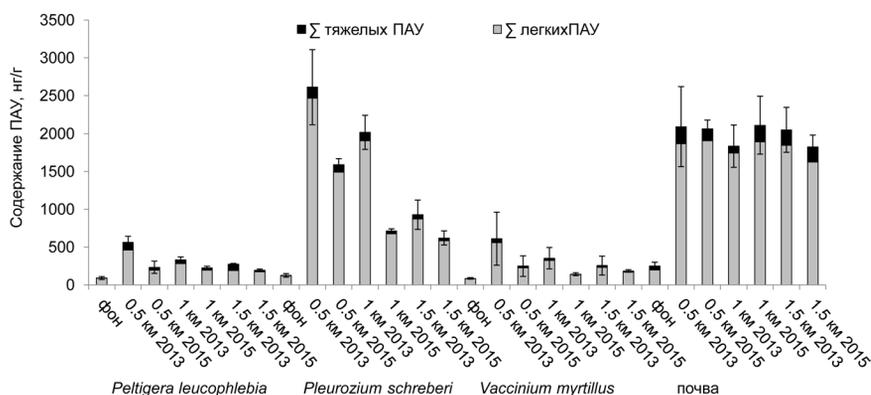
В связи с быстрым развитием промышленности во всем мире усиливается загрязнение окружающей среды полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ). ПАУ – органические соединения бензольного ряда, распространены повсеместно, загрязнение почв полиаренами, хотя и незначительное, было выявлено даже в Антарктиде и высоких широтах (Абакумов и др., 2014). ПАУ из атмосферы попадают на поверхность растений, активно аккумулируются в них и накапливаются по всей пищевой цепи. В этой связи актуальной задачей современных научных исследований становится подбор чувствительных индикаторов, дающих возможность постоянной диагностики содержания ПАУ в природной среде. Целью исследования было изучение возможностей использования органогенных горизонтов почв, растений и лишай-

ников для диагностики временных изменений содержания ПАУ в фитоценозах южной тундры при аэротехногенном воздействии.

Были проведены мониторинговые исследования содержания ПАУ в органогенных горизонтах почв и растениях нижнего яруса южной тундры. Почвы и растения отбирали на фоновом участке и в зоне действия угольной шахты «Воркутинская» на расстоянии 0,5, 1.0 и 1.5 км с учетом розы ветров в северо-восточном направлении. Отбор был проведен в 2013 и 2015 гг. В качестве модельных видов были выбраны лишайник *Peltigera leucophlebia* Nyl., мох *Pleurozium schreberi* Brid. и листья кустарничка *Vaccinium myrtillus* L. Для извлечения ПАУ из почв и растений использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Thermo Fisher Scientific, США). Содержание ПАУ определяли методом ВЭЖХ.

В лишайниках и растениях фонового участка были идентифицированы 12 структур ПАУ (см. рисунок). В зоне действия шахты также было выявлено присутствие дибенз[а, h]антрацена. Сравнения накопления полиаренов растениями в 2013 и 2015 гг. показали, что уровень загрязнения тундровых фитоценозов, находившихся под воздействием угледобывающего предприятия, за два года снизился до трех раз.

Для лишайника *Peltigera leucophlebia* характерно максимальное снижение суммарного содержания ПАУ со временем на расстоянии в 0.5 км от источника в 2.6 раза. На расстояниях в 1.0 и 1.5 км кратности снижения составляли около 1.5 раз, при этом различия были значимы на расстояниях в 0.5 и 1.0 км от шахты.



Суммарное содержание ПАУ в органогенных горизонтах почв, растениях и лишайниках в зоне действия угольной шахты «Воркутинская», нг/г.

Такой факт во многом объясняется преимущественным оседанием полиаренов вблизи предприятия и может свидетельствовать о сокращении поступления угольной пыли от источника.

Для листьев черники характерно снижение суммарного содержания полиаренов вблизи источника в 2.5 раза, на расстоянии в 1.5 км – в 1.4 раза по сравнению с 2013 г. Различия между 2013 и 2015 гг. незначимы в связи с большой вариабельностью в накоплении ПАУ листьями черники. В предыдущих исследованиях установлено (Яковлева и др., 2016), что полиарены оседают на поверхности листьев черники, проникая внутрь лишь на 30%, что могло послужить причиной большого разброса данных.

Для мха *Pleurozium schreberi* максимум в снижении содержания ПАУ к 2015 г. выявлен на расстоянии в 1 км от источника, на удалении 0.5 и 1.5 км кратности составляют примерно 1.5 раза. Это связано с тем, что значения суммарного содержания полиаренов во мхе на расстояниях в 0.5 и 1.0 км в 2013 г. были близкими, в 2015 г. в 1.0 км от шахты было выявлено в три раза меньшее содержание ПАУ во мхе. Вероятно, высокое содержание полиаренов в нем вблизи предприятия объясняется многолетним накопленным пулом ПАУ в зоне максимального загрязнения.

ПАУ в лишайниках и растениях фонового участка на 94-99% были представлены легкими структурами, в основном нафталином и фенантроном. В условиях загрязнения для мха и лишайника и листьев черники вклад легких ПАУ оставался максимальным – 87-95%, при этом на разных расстояниях от источника доля легких ПАУ была стабильной во времени, т.е. характер загрязнения в течение двух лет не изменился, основным источником загрязнения оставалась угольная пыль.

Выявлено закономерное возрастание содержания полиаренов в растениях по мере приближения к источнику. При этом для лишайника и черники различия между накоплением полиаренов на разном удалении были незначимы, а для мха выявлено достоверное снижение содержания ПАУ от 0.5 к 1.0 и 1.5 км от шахты.

Аккумуляция полиаренов мхом и лишайником фонового участка примерно одинакова и в 1.5 раза выше, чем накопление ПАУ в листьях черники. Максимальным накоплением в условиях загрязнения среди исследованных видов отличается *Pleurozium schreberi*.

Накопление полиаренов в растениях ведет к депонированию полиаренов в почвенном покрове. Изучение накопления ПАУ в органогенном горизонте почв исследованных участков показали присутствие 13 структур ПАУ. Почва оказалась более стабильной системой по сравнению с растительным покровом. Суммарное со-

держание ПАУ в условиях загрязнения практически не изменилось в течение двух лет и было близким на разном удалении от угледобывающего предприятия.

Для почв, как и для растений, характерно стабильное во времени преобладание легких полиаренов. На фоновом участке доля легких ПАУ в органогенном горизонте почв составила 79%, на загрязненных варьировала от 89 до 95% на разных расстояниях от шахты. Сравнение суммарного содержания полиаренов в почвах загрязненных участков с фоновым уровнем показало семи-восьмикратное превышение фоновых значений как в 2013, так и в 2015 г. Наибольшие кратности превышения были выявлены для легких полиаренов, для нафталина – до 17 раз. Из тяжелых ПАУ в наибольшей степени увеличивалось количество бенз[а]пирена – до 10 раз.

Итак, в органогенных горизонтах почв, растениях и лишайниках исследованных участков было идентифицировано 13 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бензо[б]флуорантен, бензо[к]флуорантен, бенз[а]пирен, дибенз[а,h]антрацен и бенз[ghi]перилен.

Установлено, что в состав ПАУ почв и растений максимальный вклад вносили легкие полиарены, их доля при этом оставалась устойчивой во времени на разном удалении от шахты, что свидетельствовало о постоянном характере загрязнения в течение исследованного периода.

Выявлено снижение содержания полиаренов в растениях и лишайниках за двухлетний период, что могло свидетельствовать о снижении интенсивности воздействия шахты на изучаемые фитоценозы.

На основании полученных данных можно констатировать, что растения быстрее реагируют на изменение потоков полиаренов в тундровых фитоценозах по сравнению с органогенными горизонтами почв. Для них более выражены различия в накоплении ПАУ на разных расстояниях от источника, поэтому они могут быть использованы как более чуткие индикаторы изменения состояния окружающей среды.

Установлено, что среди исследованных видов растений наибольшим накоплением полиаренов в условиях загрязнения отличался мох *Pleurozium schreberi*, который в силу своей широкой распространенности и способности к активной аккумуляции ПАУ может быть использован в целях биоиндикации уровня загрязнения в зонах действия угледобывающей промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Коми № 16-44-110581 р_а и госбюджетной темы № Гр. 1150200112065.

ЛИТЕРАТУРА

Абакумов Е.В., Лодыгин Е.Д., Габов Д.А., Крыленков В.А. Содержание полициклических ароматических углеводов в почвах Антарктиды на примере российских полярных станций // Гигиена и санитария, 2014. № 1. С. 30-34.

Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносилов В.А., Кондратенко Б.М. Накопление полициклических ароматических углеводов в почвах и растениях тундровой зоны под воздействием угледобывающей промышленности // Почвоведение, 2016. №. 11. С. 1402-1412.

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

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС
У РЯСКИ МАЛОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

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

Высокое содержание тяжелых металлов в окружающей среде связано с естественными или антропогенными причинами. От их концентрации в почве и воде зависит нормальное функционирование природных экосистем, а также уровень экологически обусловленной заболеваемости населения прилегающих территорий. В качестве объекта для изучения действия тяжелых металлов на живые организмы выбрана ряска малая. Растения являются основным компонентом большинства естественных биоценозов, играют важную роль, являясь продуцентами первичных органических веществ, стоят в основании пищевой пирамиды. Воздействие на них различных поллютантов, в том числе и тяжелых металлов, может привести к снижению устойчивости биоценозов. Ряска малая (*Lemna minor* L.) – однодольное покрытосеменное растение семейства Рясковые (*Lemnaceae*), неукорененный плейстофит с упрощенным строением (Тахтаджян, 1982). Рясковые являются ценным экспериментальным объектом для экотоксикологических исследований в силу своей чрезвычайной химической чувствительности. Ряска малая широко используется для тестирования токсичности воды с природных водоемов и сточных вод.

Целью данного исследования является изучение морфометрических изменений и уровня окислительного стресса у ряски малой при воздействии стронция, меди и цинка.

Растения культивировали в среде Штейнберга в климатической камере при стандартных условиях: температуре 24 ± 0.1 °C, фотопериодичности 16 ч свет/8 ч темнота, 70%-ной влажности. При проведении эксперимента колонии, состоящие из двух-четырёх фрондов, отбирали из материнской культуры и переносили в стерилизованные стеклянные чашки. Каждая экспериментальная емкость содержала 9-12 пластинок. Воздействие проводили в течение семи дней в соответствии с рекомендациями OECD (2006). В работе в качестве источника ионов стронция использовали $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, ионов меди – $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, цинк-ионов – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. В качестве контроля использовалась среда Штейнберга (концентрация цинка в среде равна 0.63 мкмоль/л).

Торможение роста – это основной ответ растительных организмов при воздействии тяжелых металлов. При избытке стронция статистически достоверное торможение роста происходит при концентрации 0.6 ммоль/л, что значительно превышает минимальные действующие концентрации при воздействии цинка и меди. Медь и цинк приводят к статистически значимому сокращению темпа роста при концентрации 3.15 мкмоль/л. Возможно, это связано с высокой степенью вовлеченности меди и цинка в различные процессы, происходящие в организме. Цинк содержится в активных центрах многих ферментов, участвует в обеспечении структурной стабильности клеточных мембран и белков, а также в защите биомембран от окислительного повреждения (Broadley et al., 2007). Медь также участвует в широком диапазоне биохимических и физиологических процессов в клетках растений, действует как кофактор Cu, Zn-супероксиддисмутазы и других ферментов. Окислительно-восстановительный цикл между двумя ее ионными формами может привести к образованию активных форм кислорода (АФК) (Vidaković-Cifrek et al., 2015).

При действии тяжелых металлов в высоких концентрациях появляются повреждения поверхности фронда в виде хлорозов и некрозов. Доля поврежденных растений увеличивается при возрастании концентрации тяжелого металла. Повреждения в виде хлорозов появляются при концентрации стронция 0.63 ммоль/л, для меди – 0.19 мкмоль/л, цинка – 6.3 мкмоль/л. При увеличении концентрации стронция изменяется и цвет фрондов от зелено-желтого до желтого. При действии цинка растения становятся зелено-желтыми, а при высоких концентрациях – буро-желтыми. Медь приводит к бурой окраске листьев. При действии меди повреждения появляются при меньших концентрациях, когда еще не угнетается скорость роста. Корни белеют и отпадают уже при концентрации 0.3 мкмоль/л.

Характерная особенность действия стронция – это увеличение длины корней. Рост корней при избытке стронция объясняется излишней растяжимостью клеток. Одним из механизмов действия тяжелых металлов на растяжение клеток может быть изменение пластичности клеточных оболочек. Чем больше сродство металла к карбоксильным группам уроновых кислот, входящих в состав оболочек, тем в большей степени снижается их эластичность. Стронций, поглощаясь в зоне растяжения и накапливаясь в апопласте, образует менее прочные по сравнению с кальцием связи с уроновыми кислотами, в результате чего пластичность оболочек может несколько увеличиваться, в том числе и благодаря конкуренции с ионами кальция, аналогом которого он является (Кожевникова и др., 2009).

При воздействии высоких концентраций рассматриваемых тяжелых металлов происходит снижение площади поверхности фронда. Площадь уменьшилась при концентрации стронция от 0.48 до 1.12 ммоль, при более высоких концентрациях рост колонии практически приостанавливается, новых растений появляется значительно меньше и среднее изменение площади возрастает за счет площади начальных родительских растений. При действии цинка площадь фрондов сокращается при концентрации от 3.15 мкмоль/л. Медь приводит к сокращению площади начиная уже с 0.63 мкмоль/л.

Одной из причин токсичности высоких концентраций тяжелых металлов является накоплением активных форм кислорода (АФК). В высоких концентрациях АФК повреждают различные биомолекулы (липиды, белки, нуклеиновые кислоты), но в меньших количествах являются важными регуляторами роста и развития. Малоновый диальдегид (МДА) – продукт разложения полинасыщенных жирных кислот биомембран, и его увеличение показывает, что растения находятся в стадии высокого уровня окислительного стресса. Однофакторный дисперсионный анализ показал, что при увеличении концентрации стронция, меди или цинка в растворе уровень МДА повышается ($p \leq 0.05$). При высоких концентрациях тяжелых металлов увеличивается доля растений с хлорозами и некрозами, сокращается площадь фрондов, существенно замедляется скорость роста.

Таким образом, наиболее токсичным для ряски тяжелым металлом по рассматриваемым параметрам является медь, далее идут цинк и стронций. Стронций приводит к угнетению скорости роста ряски малой и возрастанию доли растений с хлорозами относительно контроля начиная с 0.6 ммоль/л, цинк – с концентрации 3.15 мкмоль/л ($p \leq 0.05$). При воздействии 0.19 мкмоль/л ме-

ди возрастает доля растений с повреждениями листовой поверхности, при концентрации 3.15 мкмоль/л снижается удельная скорость роста относительно контроля ($p \leq 0.05$). При воздействии высоких концентраций стронция, меди и цинка происходит сокращение площади фрондов, повышается уровень МДА ($p \leq 0.05$).

Работа выполнена при финансовой поддержке ФАНО (№ 1150128 60038) и проекта комплексной программы УрО РАН 15-2-4-26 (№ 11508 2510016).

ЛИТЕРАТУРА

Кожевникова А.Д., Серегин И.В., Быстрова Е.И., Беляева А.И., Катаева М.Н., Иванов В.Б. Влияние нитратов свинца, никеля и стронция на деление и растяжение клеток корня кукурузы // Физиология растений, 2009. Т. 56. № 2. С. 268-277.

Тахтаджян А.Л. Жизнь растений. М.: Просвещение, 1982. Т. 6. С. 493-500.

OECD Guidelines for the testing chemicals. Lemna sp. Growth Inhibition Test. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, 2006.

Broadley M.R., White P.J., Hammond J.P., Zelko I., Lux A. Zinc in plants // New Phytol., 2007. Vol. 173. P. 677-702.

Vidaković-Cifrek Ž., Tkalec M., Šikić S., Tolić S., Lepeduš H., Pevalek-Kozlina B. Growth and photosynthetic responses of *Lemna minor* L. exposed to cadmium in combination with zinc or copper // Arh. Hig. Rada Toksikol., 2015. Vol. 66. P. 141-152.

ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ГЕНОВ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СКОРОСТЬ СТАРЕНИЯ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.В. Добровольская¹, И. Соловьев², Е. Прошкина^{1, 2}, А.А. Москалев^{1, 3}

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

³ Московский физико-технологический институт (государственный университет)

E-mail: dobraja_09@bk.ru

Периодичность освещения, соотношение длительности дня и ночи играют важную роль в регулировании биологических часов (Конев, Вологовский, 1979). Циркадные ритмы – это универсальная сложно организованная система, которая является интегрирующим фактором, синхронизирующим физиологические и биохимические процессы, обеспечивая адаптацию организма к постоянно меняющимся условиям окружающей среды (Kondratov, Antoch, 2007). Циркадные ритмы наблюдаются на всех уровнях организации.

Эндогенные и экзогенные факторы могут приводить к большому количеству повреждений, следствием чего является десинхронизации циркадных ритмов (Oklejewicz et al., 2008). Поэтому знание механизмов функционирования системы циркадных ритмов может служить важной основой для теоретических обобщений в области факториальной экологии и прогнозирования устойчивости организмов и популяций в экстремальных условиях природной среды.

Циркадные ритмы подвержены генетическому контролю. У плодовой мушки *Drosophila melanogaster* гомологи генов млекопитающих *Clock* (*Clk*) и *cycle* (*cyc*) кодируют белки CLC/CYC димера, стимулирующие, в свою очередь, экспрессию *period* (*per*) и *timeless* (*tim*). Впоследствии продукты *per* и *tim* формируют гетеродимеры, которые осуществляют репрессию генов *Clk* и *cyc* и, соответственно, свою собственную (Hardin et al., 2011). Ранее установлено, что экспрессия некоторых ключевых генов циркадных ритмов изменяется при старении (Rakshit et al., 2013). Мы предположили, что индукция экспрессии генов циркадных ритмов (*cryptochrome*, *period*, *Clock*, *cycle*, *timeless*) в нервной системе *Drosophila melanogaster* компенсирует возраст-зависимое снижение активности исследуемых генов и повышает устойчивость к стресс-факторам.

Цель исследования заключалась в изучении влияния сверхактивации генов циркадных ритмов (*cryptochrome*, *period*, *Clock*, *cycle*, *timeless*) в нервной системе на продолжительность жизни и скорость старения *Drosophila melanogaster*.

Для проведения экспериментов использовали следующие лабораторные линии *D. melanogaster*: w^{1118} , линии с мутацией гена *cryptochrome*: *cry⁰¹* (w ; *cry01/+*), *cry⁰²* (w ; *cry02/+*); линии дрозофил, в геном которых встроены дополнительные копии исследуемых генов под контролем промотора *UAS*: *cry12* (y , w ; *UAS-cry12/TM2*), *cry24* (y , w ; *UAS-cry24/CyO*), *per10* (w ; *UAS-per10*), *per2.4* (w ; *UAS-per2.4*), *cyc* (w ; *P{UAS-CYC.HA}*), *Clk* (w ; *P{UAS-Clk.HA}*), *tim* (y , w ; *P{tim-HA}*); линия с драйвером *GAL4 ELAV-GS* (y ; *P{ELAV-GeneSwitch}*).

Для сверхактивации генов циркадных ритмов использовали *UAS-GAL4* систему с *GeneSwitch* драйвером *Gal4*, который активируется с помощью мифепристона (RU486) (Moskalev, 2012; Osterwalder, 2001). Для получения особей дрозофил с кондиционной (мифепристон-индуцибельной) сверхэкспрессией изучаемых генов в мышечной системе, жирном теле и нервной системе самцов линии с драйвером *Gal4*, который несет активатор транскрипции от дрожжей, скрещивали с виргинными самками, имеющими дополнительную копию исследуемого гена под контролем про-

мотора *UAS*. При добавлении в пищу потомкам скрещивания этих двух линий агониста прогестерона мифепристона активируется экспрессия фактора транскрипции *GAL4*, в результате чего запускается транскрипция генов под контролем *UAS*. В качестве контроля использовали мух с таким же генотипом, но живущих на питательной среде без добавления мифепристона.

Для определения устойчивости к действию прооксиданта дрозophil рассаживали в пробирки с фильтровальной бумагой, пропитанной раствором 20 мМ параквата (Methyl Viologen, Sigma) в 5%-ной сахарозе. Анализ проводили при температуре 25 °C и 60% влажности. Для оценки устойчивости к высоким температурам мух содержали на стандартной питательной среде при температуре 35 °C и 60% влажности. Для определения устойчивости к голоданию дрозophil помещали в пробирки с 1%-ным агаром, содержали при температуре 25 °C и 60% влажности. Два раза в день подсчитывали количество умерших особей. Эксперимент проводили до гибели последней дрозофилы.

Для оценки возрастных изменений в циркадных ритмах самцов в течение 4 сут. содержали в режиме 12 ч – освещение, 12 ч – темнота (LD), а затем в условиях полной темноты (DD), используя *Drosophila Activity Monitor* (TriKinetics Inc., США). Двигательную активность самцов регистрировали в течение всей жизни. Для анализа и визуализации циркадной активности был использован программный пакет ActogramJ (Schmid et al., 2011), разработанный на основе программного обеспечения для анализа изображений ImageJ (Schneider et al., 2012).

В ходе эксперимента было показано, что у самцов с делецией гена *cryptochrome* медианная продолжительность жизни снижена на 18.2-24% ($p < 0.001$). Обнаружено, что у дрозофилы с мутацией гена *cry* по сравнению с особями исходной линии *w¹¹¹⁸* спустя 72 ч процент выживших особей у мутантных самцов уменьшился на 35% ($p < 0.001$), у самок на 33% ($p < 0.001$) по сравнению с особями исходной линии (табл. 1).

Оценивали изменение экспрессии генов циркадных ритмов особей линии *w¹¹¹⁸* на 5-е сут. после появления имаго, через 30 сут. (соответствует началу вымирания особей линии *w¹¹¹⁸* в экспериментальных условиях) и через 50 сут. (соответствует возрасту 90%-ной смертности). Как у самцов, так и у самок наблюдали снижение активности генов циркадных ритмов с возрастом. Исключением являются ген *Clk* у самцов и *cyc* у самок, активность которых достоверно не изменялась на протяжении всей жизни.

Проанализированы суточные изменения двигательной активности у самцов со сверхэкспрессией генов циркадных ритмов в

Таблица 1

Влияние мутации гена *cry* на продолжительность жизни и устойчивость к голоданию особей *D. melanogaster*

Вариант	Продолжительность жизни						Голодание			
	Min	X±Δm	M	90%	Max	N	24 ч	48 ч	72 ч	N
♂♂ <i>w¹¹¹⁸</i>	20	68.7±0.8	72	77	81	175	100	99	37	175
♂♂ <i>Cry⁰¹</i>	7	55.4±0.9	57*	62*	76	123	100	68	1,4*	123
♂♂ <i>Cry⁰²</i>	40	58.1±0.9	60*	69*	73	95	100	72*	4,5*	195
♀♀ <i>w¹¹¹⁸</i>	11	68.7±0.8	72	78	81	147	100	100	83	147
♀♀ <i>Cry⁰¹</i>	7	69.5±1.1	74**	83**	86	172	98	88*	53*	172
♀♀ <i>Cry⁰²</i>	7	69.1±0.7	73	78	82	148	100	94**	52,5*	148

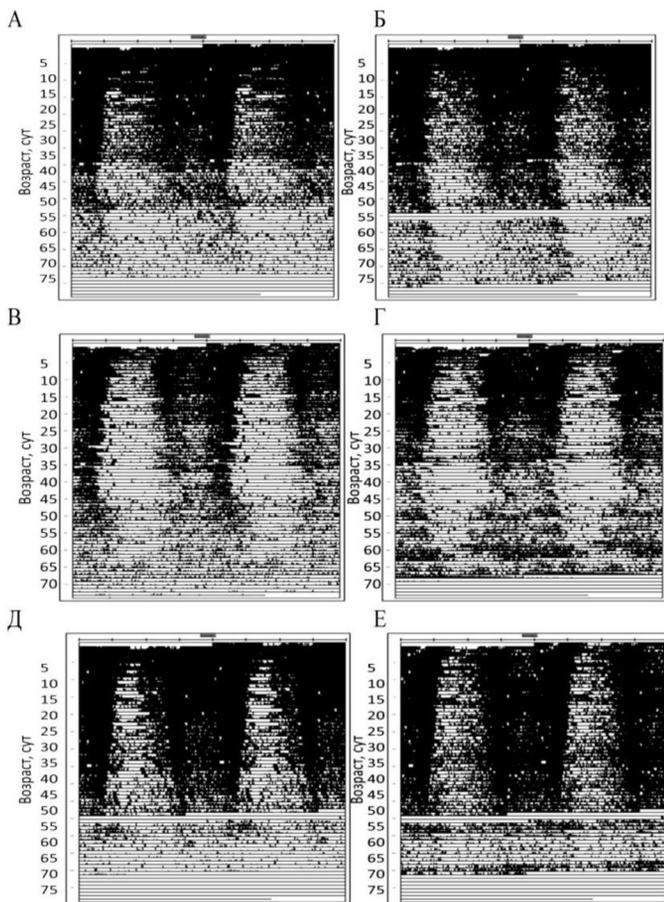
Обозначения: ♂♂ – самцы; ♀♀ – самки; M – медианная продолжительность жизни (сут.); X±Δm – средняя продолжительность жизни (сут.) и ошибка средней; 90% – возраст 90%-ной смертности (сут.); min – минимальная продолжительность жизни (сут.); max – максимальная продолжительность жизни (сут.); N – количество особей в выборке; 24, 48 ч и 72 ч – процент выживших особей через 24, 48 и 72 ч после начала воздействия; * p < 0.001; ** p < 0.01 (M – по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона; 90% – по критерию Ванг-Аллисона, 24, 48, 72 ч – ф-критерий Фишера).

нервной системе и контрольных особей. Наблюдали, что у мух со сверхактивацией исследуемых генов суточные ритмы с возрастом выражены сильнее по сравнению с контрольными особями. Сверхэкспрессия генов циркадных ритмов приводила к замедлению возраст-зависимых изменений суточных осцилляций показателя локomotorной активности (см. рисунок).

При анализе продолжительности жизни было обнаружено, что кондиционная сверхэкспрессия генов *cry* и *cyc* в нервной системе у самцов и самок и гены *Clk*, *cry24* и *per10* у самок увеличила медианную продолжительность жизни на 3.4-15% (p < 0.001). Однако, продолжительность жизни у самок со сверхактивацией гена *Clk* уменьшилась на 9.4% (p < 0.001). В остальных вариантах эксперимента медианная продолжительность жизни достоверно не изменилась (табл. 2).

У самцов кондиционная сверхактивация генов *cry*, *Clk*, *per*, *cyc* в нервной системе вызвала достоверное увеличение устойчивости к гипертермии (35 °C). Спустя 144 ч процент выживших особей увеличился на 8-27% (p < 0.01) по сравнению с самцами без сверхэкспрессии (табл. 2). У самок сверхактивация генов *cry*, *per*, *cyc* привела к снижению процента выживших особей к 144 ч на 17-34% (p < 0.001).

В большинстве случаев сверхэкспрессия генов циркадных ритмов привела к увеличению количества выживших после первых суток в условиях действия индуктора свободных радикалов параквата у самцов на 8-41% (p < 0.01), у самок на 17-46% (p < 0.001). Исключением является ген *cyc*, сверхактивация которого у самцов



Возрастная динамика суточной активности самцов без сверхэкспрессии (А, В, Д) и со сверхэкспрессией (Б, Г, Е) генов *cry* (А, Б), *per* (В, Г), *Clk* (Д, Е). *Примечание:* белые участки на рисунке означают покой особи (без движения), черные участки – период бодрствования и количество движений мух.

и самок вызвала снижение устойчивости дрозофилы в условиях действия прооксиданта (табл. 2).

Сверхактивация генов *per* и *tim* у самцов снизила устойчивость к голоданию. Число выживших особей после двух суток уменьшилось на 19-35% ($p < 0.01$) по сравнению с контрольными особями. Однако повышенная активность генов *cry*, *cyc* и *Clk* увеличила количество выживших на 10-13% ($p < 0.01$). У самок ак-

Таблица 2

Изменение показателей качества жизни дрозифил со сверхэкспрессией генов циркадных ритмов в нервной системе

Линии	Самцы				Самки			
	Ме ПЖ (%)	Гипертермия (%)	Паракват (%)	Голодание (%)	Стрессоустойчивость			
					Ме ПЖ (%)	Гипертермия (%)	Паракват (%)	Голодание (%)
<i>cry12</i>	+15	+8	-	+13	+8.7	-	+17	-
<i>cry24</i>	-	-	+41	-	+3.4	-34	-	-
<i>per10</i>	-	+14	+9	+10	-9.4	-	+22	-44
<i>per2.4</i>	-	+9	-	-19	+8.3	-23	+8	-
<i>Clk</i>	-	-	+8	-21	-	-	+17	-13
<i>сус</i>	+10.7	+27	-24	-	-	-17	-17	-
<i>tim</i>	-	-	-	-35	-	-	+46	-13

Обозначения: Ме ПЖ – медианная продолжительность жизни, прочерк – отличий нет.

тивация генов *Clk*, *per* и *tim* снизила число выживших после двух суток на 13-43% ($p < 0.001$) (табл. 2).

Итак, установлено, что мутация гена *cryptochrome* приводит к снижению устойчивости *Drosophila melanogaster* к голоданию на 33-35% ($p < 0.001$) и сокращению продолжительности жизни у самцов на 16-20% ($p < 0.001$).

Выявлено снижение активности большинства изученных генов циркадных ритмов (*cryptochrome*, *period*, *cycle*, *timeless*) у старых особей линии *w¹¹¹⁸* *Drosophila melanogaster* по сравнению с особями среднего возраста, за исключением гена *Clock*, активность которого достоверно не изменялась.

Кондиционная сверхэкспрессия генов циркадных ритмов в нервной системе дрозифилы приводила как к продлению жизни животных (*cryptochrome*, *cycle*) по сравнению с особями без сверхэкспрессии (до 15%), так и к уменьшению продолжительности жизни (*Clock*) (до 10%) или не изменяла ее (*period*, *timeless*). Сверхэкспрессия генов *cryptochrome* и *cycle* в нервной системе у самцов увеличила устойчивость к гипертермии, голоданию и действию прооксиданта параковата. У самок сверхактивация исследуемых генов циркадных ритмов в нервной системе повысила устойчивость к действию индуктора свободных радикалов, но снизила резистентность к гипертермии и голоданию.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-34-00734.

ЛИТЕРАТУРА

Hardin P.E., Panda S. Circadian timekeeping and output mechanisms in animals // *Current opinion in neurobiology*, 2013. Vol. 23. №. 5. P. 724-731.

Hirayama J., Sahar S., Grimaldi B. et al. CLOCK-mediated acetylation of BMAL1 controls circadian function // *Nature*, 2007. Т. 450. № 7172. С. 1086-1090.

Katewa et al. Peripheral Circadian Clocks Mediate Dietary Restriction-Dependent Changes in Lifespan and Fat Metabolism in *Drosophila* // *Cell.*, 2015.

Khapre R.V. et al. BMAL1-dependent regulation of the mTOR signaling pathway delays aging // *Aging (Albany NY)*, 2014. Vol. 6. № 1. P. 48.

Kim D.H. et al. mTOR interacts with raptor to form a nutrient-sensitive complex that signals to the cell growth machinery // *Cell.*, 2002. Vol. 110. № 2. P. 163-175.

Kondratov R.V., Antoch M.P. Circadian proteins in the regulation of cell cycle and genotoxic stress responses // *Trends in cell biology*, 2007. Vol. 17. № 7. P. 311-317.

McCarroll S.A. et al. Comparing genomic expression patterns across species identifies shared transcriptional profile in aging // *Nature genetics*, 2004. Vol. 36. № 2. P. 197-204.

Oklejewicz M., Destici E., Tamanini F. et al. Phase resetting of the mammalian circadian clock by DNA damage // *Curr Biol.*, 2008. № 18 (4). P. 286-291.

Rakshit K., Giebultowicz J.M. Cryptochrome restores dampened circadian rhythms and promotes healthspan in aging *Drosophila* // *Aging cell.*, 2013. Vol. 12. № 5. P. 752-762.

Zheng X., Sehgal A. AKT and TOR signaling set the pace of the circadian pacemaker // *Current Biology*, 2010. Vol. 20. № 13. P. 1203-1208.

Шноль С.Э. Биологические часы (краткий обзор хода исследований и современного состояния проблемы биологических часов) // *Соросовский образовательный журнал*, 1996. № 7. С. 26-32.

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЛИФЕРАТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ФЛЭЧ-104

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

Актуальность исследования биологических эффектов малых доз радиации определяется несколькими аспектами. Во-первых, в повседневной жизни современных людей окружает большое количество источников низкоинтенсивного излучения, что определенным образом влияет на их организм. Во-вторых, биологические

эффекты высокоинтенсивного облучения на данный момент изучены достаточно хорошо, что нельзя сказать о малых дозах радиации. Эффекты, полученные при действии малых доз радиации, не описываются путем прямой экстраполяции с диапазона высоких доз и характеризуются проявлением таких феноменов, как гормезис, адаптивный ответ и гиперрадиочувствительность. Одним из первых проявлений радиационного гормезиса, обнаруженного учеными, был эффект стимуляции пролиферации клеток при воздействии ионизирующего излучения в малых дозах. Данный эффект ранее показан в первые несколько суток после облучения различных типов клеток как *in vitro* (Chen et al., 2014; Liang et al., 2011; Suzuki et al., 2007) так и *in vivo* (Li et al., 2004; Wang et al., 2000). Однако, существуют сведения, что фракционированное облучение α -частицами в дозе 2.5×8 сГр (с интервалами 4 сут.) приводит к ускорению пролиферации бронхиальных эпителиальных клеток человека Beas-2B спустя два месяца после облучения. В связи с этим возникает вопрос, может ли однократное воздействие γ -излучения в малых дозах изменить динамику пролиферации нормальных не иммортализованных клеток человека. В настоящей работе мы поставили перед собой цель выяснить это с использованием эмбриональных фибробластов ФЛЭЧ-104.

В исследовании использовались эмбриональные фибробласты легких человека ФЛЭЧ-104, приобретенные у ООО «БиолоТ» (Санкт-Петербург).

Для анализа радиационно-индуцированных изменений динамики пролиферации клеточную культуру подвергали воздействию ионизирующего излучения в дозах 0, 3, 5 сГр, а так же 2 Гр (мощность дозы 1 сГр/с). Скорость пролиферации оценивали по увеличению количества клеток на единицу площади ростовой поверхности за промежутки времени между пересадками с момента облучения. Подсчет клеток осуществляли при помощи микроскопа (БИОЛАМ-П1). Эксперименты выполняли в шести биологических повторностях. В первой серии экспериментов динамику пролиферации оценивали вплоть до полной остановки роста культуры, во второй – в течение первых 4 сут. после облучения. Верификацию изменений скорости пролиферации, обнаруженных методом прямого подсчета, осуществляли в отдельной серии экспериментов с использованием флуориметрического анализа цитотоксичности в микрокультурах. Метод позволяет оценить количество живых клеток в лунке культурального планшета по степени гидролиза флуоресцеин диацетата, происходящего при взаимодействии с интактными клеточными мембранами. Выборки проверяли на наличие артефактов с помощью критерия Граббса. Различия меж-

ду вариантами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента в программе Statistica 6.0. Статистически значимыми принимали только различия, удовлетворяющие условиям поправки Бонферрони.

В первой серии экспериментов, проведенной вплоть до полной остановки клеточного роста, в первые дни после облучения наблюдалось замедление пролиферации фибробластов, а затем дальнейшее ускорение, сохранившееся до поздних пассажей. В период с 28 по 35 сут. скорость пролиферации потомков клеток, облученных в дозах 3 сГр и 2 Гр, была значительно более высокой, чем скорость пролиферации потомков необлученных клеток. В более поздние периоды измерения, вплоть до полной остановки роста культуры, значительных различий не наблюдалось. Исключение составляет факт более длительного сохранения способности к пролиферации культуры фибробластов, облученной в дозе 3 сГр (рис. 1).

Для того, чтобы верифицировать воспроизводимость наблюдаемых изменений динамики пролиферации фибробластов, была выполнена оценка увеличения биомассы клеток с помощью флуориметрического анализа цитотоксичности в микрокультурах (FM-CA) (Lindhagen et al., 2008). **Результаты подтверждают, что облучение эмбриональных фибробластов в дозах 3 и 5 сГр не приво-**

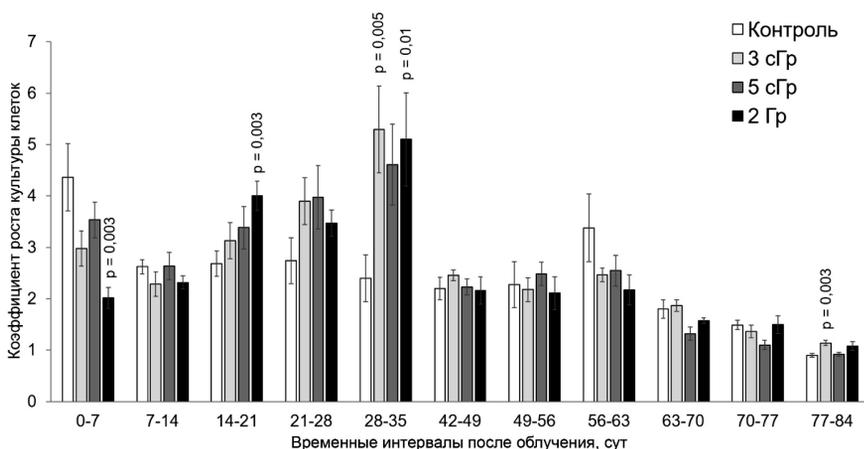


Рис. 1. Динамика пролиферации клеток ФЛЭЧ-104 после облучения в дозах 3 и 5 сГр, а так же 2 Гр. Представлены объединенные данные шести независимых биологических повторностей эксперимента. p – вероятность нулевой гипотезы, полученная при сравнении варианта с соответствующим контролем с помощью t-критерия Стьюдента (указана только для различий, статистически значимых с учетом поправки Бонферрони).

дит к ускорению пролиферации клеток в первые дни после облучения. Наоборот, после облучения в дозе 5 сГр наблюдается значительное замедление деления клеток. Спустя 30 сут. потомки клеток, облученных в дозе 3 сГр, пролиферируют более чем в два раза быстрее. Приблизительно на 70% увеличивается скорость деления потомков клеток, выживших после облучения в дозе 2 Гр (рис. 2).

Для того, чтобы более точно оценить, в какой момент после облучения проявляется данный эффект, мы проанализировали скорость пролиферации в интервалах 0-24, 0-48 и 48-96 часов после облучения (рис. 3). Результаты свидетельствуют, что в нашей экспериментальной системе снижение скорости деления клеток проявляется в первые 48 ч после облучения, а статистически более выраженные изменения, которые мы наблюдали в пределах более продолжительного интервала, являются следствием увеличения ранних различий в геометрической прогрессии.

Известно, что человеческие фибробласты характеризуются крайне низкой вероятностью малигнизации *in vitro* даже под действием канцерогенов облучения (McCormick et al., 1988). Кроме того, в представленных экспериментах клетки культивировались до полной остановки роста, и случаев полной трансформации не наблюдалось. В связи с этим мы не можем говорить о том, что облучение в дозе 3 сГр приводило к повышению риска малигнизации фибробластов, и о том, что данный феномен может вносить вклад в повышение риска канцерогенеза *in vivo*, однако мы не можем отрицать потенциальное значение радиационно-индуцированного изменения динамики пролиферации потомков облученных клеток в формировании специфических эффектов малых доз, обнаруживаемым на уровне целого организма по различным интегральным показателям.

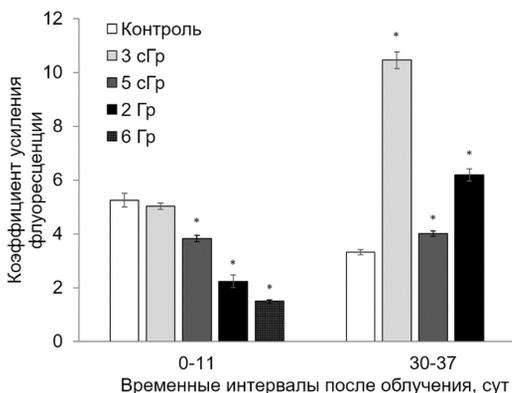


Рис. 2. Оценка скорости пролиферации клеток ФЛЭЧ-104 с помощью метода FMCA в первые 11 сут. и в течение 30-37 сут. после облучения в дозах 3 и 5 сГр, а также 2 и 6 Гр. Представлены усредненные данные тестирования 288 микрокультур для каждого варианта эксперимента. * различия с контролем достоверны при $p < 0.00005$ (t-критерий Стьюдента).

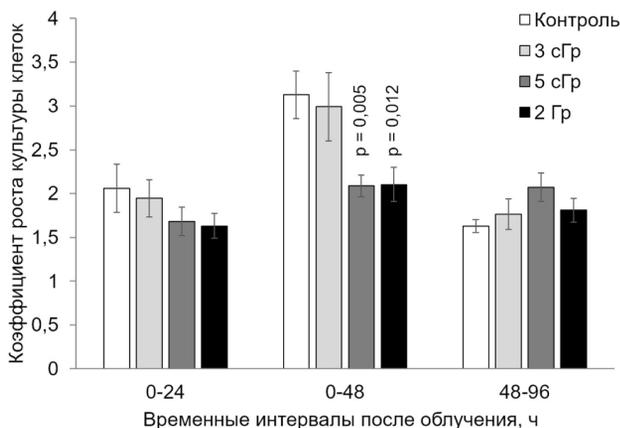


Рис. 3. Скорость пролиферации клеток ФЛЭЧ-104 в первые 96 ч после облучения в дозах 3 и 5 сГр, а так же 2 Гр. Представлены объединенные данные шести биологических повторностей эксперимента. p – вероятность нулевой гипотезы, полученная при сравнении варианта с соответствующим контролем с помощью t -критерия Стьюдента (указана только для различий, статистически значимых с учетом поправки Бонферрони).

Таким образом, однократное воздействие γ -излучения в дозе 3 сГр на фибробласты легких эмбриона человека *in vitro* приводит к выраженным изменениям динамики клеточного деления, а именно к отдаленному ускорению пролиферации потомков облученных клеток, проявляющемуся до полного исчерпания пролиферативного потенциала. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на выяснение роли в обнаруженном феномене активации сигнальных каскадов **MAPK/ERK** и **PI3K/АКТ/mTOR**, которая наблюдалась при немедленной радиационно-индуцированной стимуляции пролиферации в схожих экспериментальных системах.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Молекулярная биология» Института биологии Коми НЦ УрО РАН и поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 16-34-00367.

ЛИТЕРАТУРА

Chen M., Huang Q., Xu W. et al. Low-Dose X-Ray Irradiation Promotes Osteoblast Proliferation, Differentiation and Fracture Healing // PLoS One, 2014. № 9.

Liang X., So Y.H., Cui J. et al. The Low-dose Ionizing Radiation Stimulates Cell Proliferation via Activation of the MAPK/ERK Pathway in Rat Cultured Mesenchymal Stem Cells // Radiat Res., 2011. № 52.

Li W., Wang G., Cui J. et al. Low-dose radiation (LDR) induces hematopoietic hormesis: LDR-induced mobilization of hematopoietic progenitor cells into peripheral blood circulation // *Exp Hematol.*, 2004. № 32.

Lindhagen L., Nygren P., Larsson R. The fluorometric microculture cytotoxicity assay // *Nature protocols*, 2008. №3.

McCormik J.J., Maher V.M. Transformation of diploid human fibroblasts by transfection with the v-sis, PDGF2/c-sis, or T24 H-ras genes // *Mutation Research*, 1988. P. 341-351.

Suzuki K., Kodama S., Watanabe M. Extremely Low-Dose Ionizing Radiation Causes Activation of Mitogen-activated Protein Kinase Pathway and Enhances Proliferation of Normal Human Diploid Cells // *Cancer Res.*, 2001. № 61.

Wang G.J., Ca L. Induction of Cell-Proliferation Hormesis and Cell-Survival Adaptive Response in Mouse Hematopoietic Cells by Whole-Body Low-Dose Radiation // *Toxicol Sci.*, 2000. № 53.

ВЛИЯНИЕ ФЛАВОНОИДОВ (ЛЮТЕОЛИН, НАРИНГИН, ХРИЗИН) НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Н.В. Земская^{1,2}, Е.А. Лашманова³, Е.Н. Прошкина¹, А.А. Москалев¹⁻³

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

³Московский физико-технический институт (государственный университет)

E-mail: kukushonok90@yandex.ru

Флавоноиды – это природные полифенолы с доказанными противораковыми (Seelinger et al., 2008), противовоспалительными (Ahad et al., 2014) и антидиабетическими (Vinayagam, Xu, 2015) свойствами. Целью данной работы было изучить геропротекторные свойства трех флавоноидов (хризин, нарингин, лютеолин) на модели *Drosophila melanogaster*.

В опытах использовалась линия дикого типа *Canton-S*. Исследуемые препараты (хризин, нарингин, лютеолин) добавлялись мухам в дрожжевую пасту в конечных концентрациях 0.3, 0.5, 1 мМ.

Для оценки продолжительности жизни (ПЖ) отбирали свежесвылетевших одновозрастных имаго каждого пола по 120-150 особей на каждый вариант эксперимента (по 30 особей в пробирке). Имаго дрозофил обрабатывали флавоноидами на протяжении всей жизни. ПЖ самцов и самок анализировали отдельно, оценивали медианную ПЖ и возраст гибели 90% особей выборки.

Перед анализом стрессоустойчивости дрозофил в течение 10 сут. обрабатывали исследуемыми веществами в указанных концентрациях. В качестве стресс-факторов использовали гипертер-

мию, окислительный стресс и голодание. На каждый вариант опыта использовали 120-150 особей. Самок и самцов анализировали раздельно.

Для оценки устойчивости к действию окислительного стресса дрозофил рассаживали в пробирки с фильтровальной бумагой, пропитанной раствором индуктора окислительного стресса 20 mM параквата (MethylViologen, Sigma) в 5%-ной сахарозе и содержали в термостате при 25 °С. Для оценки устойчивости к гипертермии мух содержали на стандартной агарно-дрожжевой питательной среде в термостате при 35 °С. Для определения устойчивости к голоданию дрозофил помещали в пробирки с 2%-ным агаром и содержали в термостате при 25 °С. В таких условиях стресса дрозофил содержали до конца жизни.

Влияние флавоноидов на параметры ПЖ мух было изучено в двух независимых экспериментах (табл. 1).

В обоих опытах во всех исследованных концентрациях лютеолин увеличил параметры медианной и максимальной ПЖ самок на 3.5-8.6% ($p < 0.05$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и 4.7-17.2% ($p < 0.05$, критерий Ванг-Алиссона) соответственно. Эффекты лютеолина на те же самые показатели самцов различались между повторностями. В первом опыте наблюдалось статистически значимое увеличение всех показателей, во втором – снижение или отсутствие статистически значимых изменений.

Таблица 1

**Влияние флавоноидов
на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster***

Флавоноид		Нарингин				Хризин				Лютеолин			
Пол		Самцы		Самки		Самцы		Самки		Самцы		Самки	
№	Вариант	М	90%	М	90%	М	90%	М	90%	М	90%	М	90%
1	Контроль	49	64	58	64	49	64	58	64	49	64	58	64
	1 μ M	43***	61*	63***	81***	61***	64	64***	79***	51	65***	63***	74**
	0.5 μ M	46**	61**	62*	76**	49	64	67***	81***	58*	64	62***	70*
	0.3 μ M	47	64	62*	74**	46	64	62***	74***	46	67***	62***	70**
2	Контроль	50	58	57	64	50	58	57	64	50	58	57	64
	1 μ M	40*	57	57	65	47	58*	59***	67	40*	58**	59*	67*
	0.5 μ M	46	57	53.5**	62	51	58	58*	66	40	58	59***	75**
	0.3 μ M	50	58	54*	64	50.5	58	59*	71**	44	57	59***	68*

Примечания: М – медианная продолжительность жизни (ПЖ в сут.); 90% – время 90%-ной гибели популяции (сут.); различия статистически значимы при *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. При сравнении времени 90%-ной гибели особей использовали критерий Ванг-Алиссона, для медианной продолжительности жизни – критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона.

Влияние хризина на параметры ПЖ мух было сходным с лютеолином. У самок в обоих опытах добавление хризина в пищу увеличивало медианную и максимальную продолжительности жизни на 1.8-15.5% ($p < 0.05$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и 10.9-26.6% ($p < 0.01$, критерий Ванг-Алиссона). У самцов в большинстве вариантов обоих экспериментов влияние данного флавоноида на исследуемые показатели отсутствовало.

Воспроизводимого положительного эффекта нарингина на показатели ПЖ мух не обнаружено.

Влияние флавоноидов на устойчивость дрозофил к каждому виду стресса было изучено в трех независимых экспериментах (табл. 2).

В опытах на голодание в большинстве случаев исследованные вещества не оказывали воспроизводимого статистически значимого влияния на процент выживших особей после 48 ч стресса. Единственным исключением был лютеолин, добавление которого в концентрации 0.3 μM приводило к снижению количества мертвых самок в двух экспериментах из трех в 1.6-2.5 раза ($p < 0.001$, критерий Фишера).

Хризин и лютеолин повысили устойчивость самцов к действию индуктора окислительного стресса – параквату. Добавление хризина в концентрациях 0.5 и 1.0 μM и лютеолина во всех исследованных концентрациях в пищу мухам снизило процент умерших особей спустя 48 ч после начала стресса в 1.2-2.1 раза ($p < 0.05$, критерий Фишера). У самок эффектов данных веществ на стрессоустойчивость не обнаружено. Только лютеолин в концентрации 0.5 μM повысил процент умерших особей в двух экспериментах из трех ($p < 0.01$, критерий Фишера). Нарингин не оказывал статистически значимого влияния на стрессоустойчивость самцов и самок.

Все исследованные вещества не оказывали воспроизводимого эффекта на устойчивость дрозофил к тепловому шоку.

Таким образом, хризин и лютеолин в концентрациях 0.3-1.0 μM увеличивали медианную и максимальную ПЖ самок. У самцов положительный эффект отсутствовал или не воспроизводился. В то же время оба вещества в большинстве вариантов опыта увеличивали устойчивость самцов к окислительному стрессу. Лютеолин в концентрациях 0.3-0.5 μM увеличивал также устойчивость самок к голоданию и параквату. Нарингин не оказывал влияния на параметры ПЖ дрозофил и их устойчивость к стрессу. Необходимо проведение дальнейших экспериментов для выявления механизмов действия хризина и лютеолина на ПЖ и стрессоустойчивость дрозофил.

Таблица 2

Влияние флавоноидов на стрессоустойчивость *Drosophila melanogaster*

Флавоноид	Нарингин						Хризин						Лютеолин					
	Самцы		Самки		Самцы		Самки		Самцы		Самки		Самцы		Самки			
Вариант	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль	51	63	60	47	22	55	51	63	60	47	22	55	51	63	60	47	22	55
1 µM	43***	68	47	47	22	57	39**	54	45*	72***	17	62	34**	41***	41**	63*	28	51
A	29***	53	57	53	29	56	24***	48*	50	47	22	59	29***	51*	51	65**	36**	45
0.5 µM	30	75*	46	47	26	54	23***	54	54	48	26	46	35**	43**	43	25	51	51
0.3 µM	82	89	99	22	31	74	82	89	99	22	43	74	82	89	99	22	43	74
Контроль	92*	81	88***	21	88***	69	96***	93	94**	40**	40	74	86	92	98	26	32	72
1 µM	84	91	94**	37*	55	65	96***	94	95*	40**	41	82	91*	90	95*	32	41	65
0.5 µM	81	76**	98	29	25**	69	90	94	89***	17	31	69	94**	80	98	23	17***	48***
0.3 µM	61	23	20	21	12	87	61	23	20	21	12	87	61	23	20	21	12	87
Контроль	19***	22	20	32*	17	78	8***	20	24	31	35***	51***	8***	31	15	28	51***	70**
1 µM	6***	25	17	30	34***	84	6***	27	15	21	46***	65***	5***	28	27*	29	31***	74*
0.5 µM	15***	26	12	24	19	71**	7***	26	15	35*	36***	62***	8***	18	15	28	23*	69**
0.3 µM																		

Примечания: представлен процент умерших самцов и самок через 48 ч после начала голодания (В) и окислительного стресса (А), самцов и самок через 72 и 96 ч соответственно после начала теплового шока (С). Различия статистически значимы при *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ по критерию Фишера.

Авторы выражают благодарность Лаборатории разработки инновационных лекарственных средств МФТИ в лице заведующего лабораторией Сергея Викторовича Леонова и заместителя заведующего лабораторией Елены Ивановны Марусич в предоставлении флавоноидов для исследования.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Молекулярно-генетические механизмы взаимосвязи стрессоустойчивости и продолжительности жизни на модели *Drosophila melanogaster*», гос. регистрация № 115012130067 и темы НИР «Сохранение коллекций экспериментальных животных для фундаментальных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

Ahad A., Ganai A.A., Mujeeb M., Siddiqui W.A. Chrysin, an anti-inflammatory molecule, abrogates renal dysfunction in type 2 diabetic rats // Toxicol. Appl. Pharmacol., 2014. Vol. 279 (1). P. 1-7.

Seelinger G., Merfort I., Wolfl U., Schempp C.M. Anti-carcinogenic effects of the flavonoid luteolin // Molecules, 2008. Vol. 13 (10). P. 2628-2651.

Vinayagam R., Xu B. Antidiabetic properties of dietary flavonoids: a cellular mechanism review // Nutr. Metab. (Lond.), 2015. Vol. 12. P. 60.

РАДИОУГЛЕРОД ^{14}C И СПОСОБ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТАЛЛОМЕ ЛИШАЙНИКОВ РОДА *CLADONIA* WEB

А.А. Очеретенко

Институт геодинамики и геологии

E-mail: pieep@ya.ru

Предполагается неоднородное накопление изотопа ^{14}C в лишайниках рода *Cladonia* на территории северо-запада России в течение годового и солнечного циклов. Целью исследования является разработка эффективного способа определения содержания радиоизотопа ^{14}C в лишайниках рода *Cladonia*.

Данный способ разрабатывается автором на основе литературных данных о высоком содержании полисахаридов в лишайниках данного рода и методов их обработки (Берсон, 2005; Иванова, Никулина, 2004; Курсанов, Дьячков, 1945). Содержание полисахарида ($\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{10}$)_n лихенан в лишайниках: *Cetraria islandica* L. – от 43.72 (Берсон, 1991) до 75% (Курсанов, Дьячков, 1945), *Cladonia rangiferina* L. – 82%, *C. sylvatica* L. – 76%, *C. alpestris* L. – 60% (Курсанов, Дьячков, 1945). Также на основе утверждения, что лишайники могут активно накапливать ^{14}C в зависимости от климатических условий (Бязров, 2005).

От пробы методом квартования отбирается образец массой 12-14 г. Его выщелачивают 0.5%-ным раствором NaOH (чда) (5 г NaOH на 1000 мл дистиллированной воды (Берсон, 1991) объемом 250 мл. Выщелачивание занимает 24 ч с промыванием дистиллированной водой через 12 ч (Берсон, 1991; Иванова, Никулина, 2004; Курсанов, Дьячков, 1945). Промывают в 1000 мл дистиллированной воды через трехслойную марлю, декантируют (Курсанов, Дьячков, 1945). После каждой декантации (четырекратно) образец помещают в чистые 1000 мл дистиллированной воды и взбалтывают 10 мин. на шейкере. Отмытый образец высушивают 45-60 мин. в сушильном шкафу при 70 °С и взвешивают (все взвешивания осуществляются на аналитических весах с точностью до 0.0002 г). Образец (10 г) измельчается и подвергается гидролизу в 300 мл дистиллированной воды в течение 2 ч. Полученный экстракт охлаждают и фильтруют от лишайника. Выдерживается отношение 20 частей воды на 1 часть лишайника (Берсон, 1991). Экстракт 150 мл проходит фильтрацию через бумажные фильтры «белая лента» пористостью 3.0-3.5 мкм (три раза), бумажные фильтры «синяя лента» пористостью 1.0-1.1 мкм (три раза) и воронку Шота с пористостью стекла 160 мкм (три раза). Все фильтрование проводится при атмосферном давлении. Однократно в качестве поглотителя использовался активированный уголь марки «БАУ-А». Способ замера ^{14}C требует получить прозрачный неокрашенный жидкий экстракт. Бумажные фильтры после фильтрования и талломы лишайников после гидролиза проводятся до постоянной массы и озольются для фиксирования потери углерода.

Отбираем в чистых перчатках 8 мл от экстракта в стеклянную пробирку на 20 мл, добавляем 10 мл специального реагента-сцинтиллятора, получаем измерительный коктейль. Используемый сцинтиллятор марки «Ultima Gold LLT». **Производитель – «PerkinElmer Inc.»** (США). Пробирку закрываем пластиковой пробкой и механически перемешиваем несколько минут. Пробирка и крышка протираются снаружи антисептиком для удаления загрязнений со стекла. На крышке сбоку маркером ставится номер пробы. Препарат следует оставить на 12 ч в темноте для опалесцирования. Полная обработка одной пробы занимает около месяца.

В подготовленном счетном образце, который предположительно содержит сахароколлоид лишайник, измеряют трехкратно радиоактивный изотоп ^{14}C на жидкосцинтилляционном бета-спектрометре «HIDEX 300 SL» (производитель – «Hidex Oy», Финляндия). Данный прибор работает с программой «MicroWin 2000». В ходе анализа пробы получают показатели: количество отсчетов в мину-

Данные измерения радиоуглерода в пробах лишайника рода *Cladonia*

Наименование пробы, дата измерения	CPM	DPM	TDCR	Chemi	C _{общ} (ТС), г/г	¹⁴ C/C _{общ}
Кладония № 1 – Республика Карелия, Костомукшский заповедник, сбор июля 2012 г., 09.01.13 г.	544.00	12087.00	0.045	517.000	676.2	1.605
	394.00	7135.00	0.055	347.000		
	327.00	4702.00	0.070	281.000		
Кладония № 1 – Республика Карелия, Костомукшский заповедник, сбор июля 2012 г., фильтровальные через уголь, 28.01.13 г.	58.80	93.70	0.627	0.000	–	–
	43.53	73.79	0.589	1.000	91.4	0.089
44.53	73.68	0.604	1.230			
44.35	74.64	0.594	1.550			
Кладония № 2, часть 1 – Республика Карелия, Костомукшский заповедник, сбор августа 2013 г., сбора, 24.12.13 г.	43.46	74.67	0.582	0.920	91.2	0.191
	42.85	72.00	0.595	1.100		
	44.51	77.71	0.572	1.420		
Кладония с Беломоро-Кулойского плато, сбор 2014 г., проба 2s, три раза белая лента, три раза синяя лента, 28.06.14 г.	44.36	80.18	0.553	2.940	–	–
	44.96	82.36	0.545	3.210	–	–
	44.60	84.28	0.529	3.410	–	–
Кладония с Мурманской обл., окрестность г. Мурманск, сбор 14.06.2014 г., 03.02.17 г.	40.68	67.97	0.598	0.200	–	–
	39.26	66.41	0.591	0.250	–	–

ту (СРМ), количество распадов в минуту (DPM), отношение двойных и тройных совпадений (TDCR), химическое и физическое поглощение сцинтилляционного эффекта (Chemі). Время экспозиции – 3600 с. Кроме получения данных непосредственно об активности ^{14}C (DPM) в лишайниках рода *Cladonia* изучалось влияние Chemі на регистрацию изотопа.

Способ отработывался на четырех пробах (2012-2014 гг.) с территории государственного природного заповедника «Костомукшский» (Республика Карелия). Всего было отобрано 28 проб (2012-2016 гг.). Получены результаты определения общего углерода ($\text{C}_{\text{общ.}}$) в экстрактах на анализаторе общего углерода «ТОС-Lcsn» для 19 проб. Анализ произведен в ЦКП КТ РФ «Арктика» ИЭПС УрО РАН.

Полученные автором данные (см. таблицу) показывают, что наименьшее значение Chemі имеет проба Кладония № 1 (28.01.13), очищенная дополнительно осаждением на активированный уголь. В таблице указано для каждой пробы одно конечное значение $\text{C}_{\text{общ.}}$. В ходе исследования установлено, что существует зависимость концентрации $\text{C}_{\text{общ.}}$ от способа подготовки пробы. Чем ниже показатель Chemі в ходе замера пробы, тем достовернее полученные радиоактивные активности. При улучшении технологии по очистке пробы от мешающих анализу примесей снижаются погрешности измерения.

Среднее значение $\text{C}_{\text{общ.}}$ составляет 300-500 мг/л (Очеретенко, 2014). Таким образом, подготовленные образцы удовлетворяют цели исследования и позволяют определять радиоизотоп ^{14}C в экстрагируемом естественном органическом соединении лишайников. Это может дать информацию о возможных процессах аккумуляции ^{14}C в изучаемом объекте и окажет влияние на развитие изотопных индикаторов при взаимодействии атмосферы и биосферы.

ЛИТЕРАТУРА

Берсон Г.З. Дикорастущие съедобные растения. Л., 1991: http://www.skitalets.ru/books/dikorast_rast/index.htm (дата обращения: 28.01.13).

Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М., 2005. 467 с.

Патент 2251309 С2 Российская Федерация, МПК А23L 1/0524, А23L 1/06 Способ получения желирующего агента / Иванова Г.В., Никулина Е.О., заявитель и патентообладатель Красноярский государственный торгово-экономический институт – № 2003104773/13; заявл. 17.02.2003; опубл. 20.11.2004.

А.с. 64753 СССР, МПК: С13К 1/02. Способ получения глюкозной патоки из лишайников [текст] / Курсанов А.Л., Дьячков Н.Н. (СССР). № 3806 (322937); заявл. 09.09.1943; опубл. 01.01.1945. 2 с.

Очеретенко А.А. Разработка методики для определения радиоактивного изотопа углерод-14 в лишайниках рода кладония // Юдахинские чтения. Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в.: Матер. докл. Всерос. конф. с междунар. участием. Архангельск, 2014. С. 200-203.

ЭФФЕКТЫ ПРОДЛЕНИЯ ЖИЗНИ, ВЫЗВАННЫЕ У ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* НЕЙРОН-СПЕЦИФИЧНОЙ СВЕРХАКТИВАЦИЕЙ ГЕНОВ-РЕГУЛЯТОРОВ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

И.А. Соловьев^{1, 2}, Е.В. Добровольская², А.А. Москалев^{1, 3}

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

³ Московский физико-технический институт (государственный университет)

Email: ilyasolovev-ksc@yandex.ru

Свет является одним из фундаментальных средовых факторов, оказывающих воздействие на живые организмы. Первостепенна его роль в регуляции циркадных ритмов и, как следствие, метаболизма, репродукции, термогенеза и многих других процессов, контроль которых частично берет на себя молекулярный осциллятор. Известно, что именно свет является главным цайтгебером корового «часового» механизма, он подстраивает эндогенные колебания осциллятора под период фоторежима. Свет же, по видимому, явился и причиной появления циркадных осцилляторов на заре эволюции. Достаточно давно известен эффект сокращения продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* непрерывно экспонируемой дневному свету. Удлинение светового дня приводит также к интенсификации метаболизма вследствие увеличения двигательной активности и усиления термогенеза дрозофилы, в свою очередь, повышается и уровень продукции свободных радикалов, индуцирующих различные повреждения важнейших молекулярных структур клетки, что в результате ускоряет процесс накопления ошибок и ускоряет старение как клетки, так и организма в целом. В настоящей работе мы попытались нивелировать разрушительное воздействие перманентного освещения, усилив экспрессию генов циркадных ритмов в нервной системе дрозофилы. Данная работа позволяет оценить вклад каждого элемента циркадного осциллятора в ответ организма дрозофилы на непрерывное освещение дневным светом.

При постановке экспериментов использовались линии *y, w*; UAS-cry24/CyO, *y, w*; UAS-cry12/TM2 и *w, UAS-NA-Clk #sit*. Линии *w*; UAS-per10 и *w*; UAS-per2.4, а также *w*; UAS-cyc #6 и *y, w*;

tim^o, P{*tim+HA*}-2. В качестве драйверных использовались линии, несущие мифепристон-индуцибельные конструкции: нейрон-специфичную у, P{*ELAV-GeneSwitch-GAL4*}. Для кондиционной сверхэкспрессии генов интереса самок-носительниц UAS-конструкта скрещивали с самцами драйверных линий, после чего отбирали гибридов F1, разделяли по половому признаку и помещали в пробирки на стандартную агарно-сахарозно-дрожжевую среду, смазанную дрожжевой пастой, содержащей для контрольной группы 98%-ный спирт и для опытных животных RU486 (мифепристон) в разведении 1:100. Животные содержались на свету непрерывно с пятого дня жизни имаго, до этого использовался стандартный режим освещения (12 ч свет/12 ч темнота).

Оценка статистической значимости различий между выборками проводилась при помощи критерия Колмогорова-Смирнова, чтобы доказать достоверность отличий между распределениями значений медиан продолжительности жизни применяли критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона. Достоверность различий между выборками по максимальной продолжительности жизни (возрасту 90%-ной смертности) оценивали по методу Ванг-Эллисона. Анализ данных производился в статистических пакетах Statistica 8.0 (StatSoft) и R 3.0.1 (RCoreTeam).

Кондиционная мифепристон-индуцибельная сверхэкспрессия генов циркадных ритмов в ЦНС дрозофил в условиях непрерывного освещения привела к появлению существенных изменений в значениях медиан продолжительности жизни (ПЖ), как, впрочем, и во времени 90%-ной смертности особей обоих полов.

Прирост медианной ПЖ составил 11.2% у самцов линии со сверхэкспрессией гена *cyc* ($p < 0.001$). Увеличение времени 90%-ной смертности отмечалось у самцов, сверхэкспрессирующих *per2.4*, и составило 24% ($p < 0.0001$).

Самки со сверхактивированным *cry12* показали 11.8%-ный прирост времени 90%-ной смертности ($p < 0.0001$).

Самки линии со сверхэкспрессией гена *cry24* показали медианную продолжительность жизни на 33.3% дольше контрольной группы ($p < 0.0001$), 11% составил у них прирост времени 90%-ной смертности ($p < 0.0001$). Увеличение медианной ПЖ на 25% было обнаружено и в случае со сверхактивацией у самок *per2.4* ($p < 0.05$), а также у линии, сверхэкспрессирующей *per10*, на 6.4% соответственно ($p < 0.05$).

Следует отметить также эффект 16.4%-ного увеличения возраста 90%-ной смертности у самок линии, сверхэкспрессирующей при кормлении мифепристоном *tim* ($p < 0.0001$), наряду с приростом медианной ПЖ у них же, составляющим 6.25% ($p < 0.001$).

Полученные результаты свидетельствуют о значимости вклада большинства генов-детерминант циркадных ритмов, формирующих центральный осциллятор дрозофилы, в контроль продолжительности жизни в условиях постоянного освещения. Выделим, в первую очередь, два варианта двух генов, которые сверхэкспрессировались в обсуждаемых экспериментах в нервной системе и отдельно в кишечнике. Так, сверхактивированные в нервной системе *cry24* и *per2.4* в значительной степени увеличили medianную продолжительность жизни самок. По данным Bruins et al. (1997), сокращение продолжительности жизни у дрозофил, содержащихся при постоянном освещении, наступает вследствие развития дефицита рибофлавина (витамина B₂), который подвергается фотодеградации, находясь еще в субстрате, употребляемом экспериментальными животными в пищу. Рибофлавин является достаточно мощным антиоксидантом, таким образом, его недостаток ведет к спаду активности системы защиты от свободных радикалов, что отрицательно сказывается на продолжительности жизни (Zou et al., 2016). Компенсировать недостаточность антиоксидантной защиты позволила сверхэкспрессия *cry*, которая увеличивает амплитуду колебаний экспрессии таких генов циркадных ритмов, как *per*, *tim*, *Pdp1ε* и *vri*, в списке альтернативных мишеней которых присутствует, например, регулятор метаболизма такого мощного антиоксиданта, как глутатион, активация метаболизма глутатиона объясняет в нашем случае также и эффект продления жизни на фоне сверхэкспрессии *per2.4* при постоянном освещении (Klichko et al., 2015). Впрочем, *cry24* может продлять жизнь дрозофилы и отличными от описанного способами, так следует учитывать его прямую связь с сигнальными путями, участвующими в стресс-ответе (Vieira et al., 2012).

ЛИТЕРАТУРА

Bruins B.G., Scharloo W., Thörig G.E.W. Light-induced vitamin deficiency in *Drosophila melanogaster* // Archives of insect biochemistry and physiology, 1997. Т. 36. № 1. С. 51-67.

Vieira J. et al. Human cryptochrome-1 confers light independent biological activity in transgenic *Drosophila* correlated with flavin radical stability // PLoS One, 2012. Т. 7. № 3. С. e31867.

Klichko V.I. et al. Aging alters circadian regulation of redox in *Drosophila* // Frontiers in genetics, 2015. Т. 6.

Zou Y.X. et al. Anti-aging effect of riboflavin via endogenous antioxidant in fruit fly *Drosophila melanogaster* // The journal of nutrition, health & aging (2016). С. 1-6. doi: 10.1007/s12603-016-0752-8.

Секция 5 ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

МИКРООРГАНИЗМЫ КАК БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АГЕНТЫ ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Е.М. Анчугова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: anchugova@ib.komisc.ru

Подбор оптимальных биологических агентов и технологий их применения, а также изучение процессов динамики и восстановления биоразнообразия на разных этапах очистки является особенно актуальным для северных экосистем, характеризующихся низкой степенью устойчивости к нарушениям экологического равновесия.

В результате многолетних исследований микробной трансформации нефти в почвах севера была создана специализированная коллекция микроорганизмов, субстратспецифичных к деструкции углеводов. По мере расширения круга наших интересов в области экобиотехнологии рос охват источников выделения биотехнологических агентов.

В настоящее время коллекция насчитывает более 30 непатогенных аэробных штаммов, выделенных из различных антропогенных экологических ниш:

- нефтезагрязненные почвы, нефтяные шламы;
- грунт, снег железнодорожного полотна;
- сточные воды автотранспортных предприятий, АО «Монди СЛПК», ООО «Сыктывкарский молочный завод», ООО «Вильгортская сапого-валяльная фабрика»;
- вода водохранилищ Нювчима, Кажима;
- вода, донные отложения р. Ямуна, пруда в Гималаях (Индия).

Нами разработан способ очистки нефтезагрязненных сточных вод, использующий для фильтрации модифицированное катионным крахмалом базальтовое волокно с иммобилизованными на нем клетками штамма *Rhodotorula* sp. ВКМ У-2993Д, позволяющий повысить эффективность очистки нефтезагрязненных сточных вод и обладающий способностью к регенерации. Выявлено, что применение способствует повышению степени нагрузки носителя и локальному концентрированию клеток на волокне с последующим удержанием жизнеспособных клеток в условиях долгосрочного культивирования

Штамм *Rhodotorula glutinis* ВКМ У-2998Д выделен из нефтяного шламонакопителя Усинского района Республики Коми. Штамм используется для активизации биодеструкции тяжелых парафинов и полиароматических соединений в воде, жидких нефтешламах, сточной воде, загрязненной нефтью и нефтепродуктами при низких температурах. Эффективность очистки от нефтепродуктов за 30 сут. составляет 78%. Штамм дрожжей *Rhodotorula glutinis* метаболизирует за 7 сут. до 72% низкомолекулярных ПАУ (от флуорена до пирена).

Штамм бактерий *Pseudomonas yamanorum* ВКМ В-3033Д выделен из загрязненного грунта, отобранного с участка железнодорожного полотна в г. Сыктывкаре Республики Коми. Штамм используется для активизации биодеструкции полиароматических соединений в почве, воде, шламах, сточной воде, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, а также в масляных грунтах на участках железной дороги. Эффективность очистки от нефти за 14 сут. составляет 61%, от отработанного масла – 46%.

Штамм микроводорослей *Chlorella vulgaris* f. *globosa* SYKO А Ch-011-10, выделенный сотрудниками отдела флоры и растительности Севера, используется для активизации биодеструкции тяжелых парафинов и полиароматических соединений в воде, жидких шламах, сточной воде, загрязненной нефтью и нефтепродуктами. Эффективен в отношении снижения полиароматических соединений (58% за 7 сут.).

Представленные биотехнологические агенты составляют препаративную формулу биопрепарата нефтеокисляющего действия «Биотрин».

В сотрудничестве с отделом почвоведения нами изучена возможность использования штаммов микроорганизмов *Cadophora talorum* в качестве перспективного продуцента липидов – источников биодизеля. Установлено, что из 3 г обезвоженного остатка выход массовой доли липидов составил 1.2 г. Содержание пальмитиновой кислоты в сухом остатке системы «питательная среда–

нефть–мицелий грибов *C. malorum*» составляло 52.9% от общей суммы жирных кислот, представленных в образце с длиной углеродной цепи от C₁₂ до C₃₀. Показана также перспективность использования штамма в качестве биоремедианта, который эффективно разлагал флуорен и флуорантен, был способен утилизировать *n*-алканы.

При разработке комплексной биотехнологии очистки сточных вод лесопромышленного предприятия из пробы сточной воды аэротенков АО «Монди СЛПК» был выделен бактериальный штамм рода *Micrococcus*, используемый для снижения содержания общего азота, аммоний-иона, железа и алюминия в сточных водах очистных сооружений промышленных предприятий.

Совместно с сотрудниками отдела флоры и растительности Севера из биомассы активного ила выделен штамм зеленой микроводоросли *Acutodesmus obliquus*, предназначенный для очистки сточных вод коммунального хозяйства и целлюлозно-бумажной промышленности от загрязняющих веществ при температуре 15–41 °С, эффективно снижает содержания аммонийного азота, взвешенных веществ, железа и алюминия.

Разработана питательная среда для культивирования микроводорослей, содержащая минеральный ионит, стабилизированный куриный помет и водопроводную воду. Ее применение позволяет повысить выход биомассы микроводорослей при промышленном культивировании в три раза. Благодаря значительной активной поверхности и сочетанию ионообменных, буферных и сорбционных свойств, глауконит способен одновременно нейтрализовать аммиак, метан, сероводород, тяжелые металлы, а также ингибировать рост патогенной микрофлоры.

Таким образом, нами выявлены наиболее эффективные для восстановления биоразнообразия биотехнологии рекультивации земель. Будут разработаны отсутствующие на сегодняшний день Типовые проекты, включающие программы мониторинга состояния биоразнообразия на всех стадиях работ по рекультивации земель в Республике Коми. Будут разработаны методические рекомендации для оптимизации технологий очистки сточных вод на основе выявленных индикационных параметров.

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ХВОЕ И ПОЧКАХ *PINUS SILVESTRIS* И *PINUS CONTORTA* ПРИ СМЕНЕ СЕЗОНОВ

М.С. Атоян¹, Р.В. Малышев²

¹ Сыктывкарский лесной институт

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: marina140895@mail.ru

Республика Коми (РК) имеет более 28 млн. га лесопокрытой площади (Леса Республики Коми, 1999). В настоящее время в республике активно ведется лесозаготовка и экспорт древесины, что приводит к истощению лесных природных ресурсов и ставит вопрос о возобновлении лесных насаждений. Эффективным мероприятием для ускоренного получения древесины и создания искусственных плантаций является интродукция новых перспективных пород. Существенным фактором, препятствующим введению новых видов древесных растений, являются климатические условия РК низкие отрицательные температуры и значительная продолжительность зимнего периода. Одним из перспективных видов для лесовосстановления в республике является сосна скрученная.

Целью работы было провести сравнительное изучение морфо-биометрических и физиолого-биохимических показателей хвои и почек сосны скрученной и сосны обыкновенной в летний, осенний и зимний периоды в условиях таежной зоны РК.

Объектами исследования являлись аборигенный вид сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и интродуцент сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.). Оба вида относятся к семейству Сосновые (Pinaceae). В исследованиях использовали верхушечные почки побегов и хвою текущего года жизни. Растительный материал отбирали в июле, сентябре и феврале.

Для оценки риска повреждения низкими отрицательными температурами зимнего периода оценивали температуру замерзания воды, оводненность и долю замерзающей воды методом дифференциальной сканирующей калориметрии на калориметре DSC-60 Shimadzu (Япония). Физиологическую активность хвои определяли по интенсивности CO₂-газообмена на газоанализаторе Li-7000 (Licor. Inc., США) при температуре 20 °C и ФАР 900 мкмоль/м²с и содержанию пигментов спектрофотометрическим методом.

Степень развития ассимилирующей поверхности хвои является важным фактором биологической продуктивности. Результаты исследований показали, что длина хвои сосны обыкновенной в июне составляла 40 мм, с. скрученной – 47 мм. Размер почек в этот период у с. обыкновенной составляет 6 мм, что вдвое меньше, чем у с. скрученной. К концу вегетации прирост почек с. скручен-

ной составил около 1.8 см, более чем в девять раз больше по сравнению с приростом почки с. обыкновенной. Выявленное превосходство с. скрученной по размерам хвои и почек может быть следствием длительного периода роста.

Результаты определения CO_2 -газообмена хвои текущего года в сентябре показали, что интенсивность фотосинтеза хвои с. обыкновенной составляла 4.2 мг CO_2 /г сухой массы ч и была на 40% выше, чем у с. скрученной. Интенсивность дыхания хвои сосен была примерно равной. Полученные нами данные по интенсивности фотосинтеза хвои с. скрученной близки к величинам, приводимым для сосны кедровой европейской (Титов и др., 2012).

Изучение пигментного комплекса хвои позволяет судить об адаптационных возможностях хвойных пород к условиям произрастания. Результаты определения содержания зеленых пигментов показали, что их концентрация в хвое обоих видов составляла около 3 мг/г сухой массы. О степени использования растением фотохимической активности хлорофилла можно судить по ассимиляционному числу (АЧ) – величине скорости фотосинтеза, отнесенной к концентрации хлорофилла. Расчеты показали, что значение АЧ у хвои с. обыкновенной было заметно выше.

Известно, что сохранение жизнеспособности растений при гипотермии зависит от содержания внутриклеточной воды и биохимических процессов в меристемах. Оценка температуры замерзания воды в хвое выявила ее снижение к февралю у с. обыкновенной от -12 до -16 °С. Температура замерзания воды в хвое с. скрученной не изменялась по сезонам и составляла около -13 °С.

Побег будущего года у хвойных растений формируется в почках возобновления до наступления периода зимнего покоя. Определение температуры замерзания воды в почках показало ее снижение в осенне-зимний период у с. скрученной от -10 до -13.5 °С. В почках с. обыкновенной в июле и феврале вода замерзала при температуре около -14 °С. Следует отметить, что в диапазоне от 0 до -15 °С кристаллизуется вода, которая, как правило, является свободной и находится в растворимой фазе цитоплазмы или межклетниках (Миронов и др., 2001).

Для предотвращения внутриклеточного льдообразования растению необходимо повысить концентрацию криопротекторов и/или снизить оводненность тканей. Оводненность (содержание воды) хвои с. обыкновенной и с. скрученной в сентябре составляла 66% и снижалась к февралю до 55%. Содержание воды в почках с. обыкновенной уменьшалось от 56 до 47%, у с. скрученной оно не изменялось и составляло около 56%. По мнению (Алаудинова и др., 2007), оводненность около 50% достаточна для того, чтобы

почки могли выдержать понижение температуры до -35°C . Можно полагать, что почки с. скрученной более подвержены риску повреждения низкими отрицательными температурами, так как содержат больше воды.

Таким образом, наши данные показали, что с. скрученная превосходит с. обыкновенную по развитости ассимилирующей поверхности и размерам зачаточного побега. Такие же закономерности по приросту с. скрученной получены другими исследователями (Федорков, Туркин, 2010). По-видимому, это обусловлено способностью с. скрученной к более продолжительному росту в течение сезона. По физиолого-биохимическим показателям (температура замерзания воды, оводненность тканей хвои и почек, интенсивность фотосинтеза, содержание пигментов) с. скрученная и с. обыкновенная отличаются незначительно. Морфобиологические показатели с. скрученной соответствуют климатическим условиям региона и ее можно использовать для создания искусственных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

Алаудинова Е.В., Симкина С.Ю., Миронов П.В. Сезонные изменения содержания воды в меристематических тканях почек *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L. и ее распределение в клетках // Хвойные бореальной зоны, 2007. Т. 24. № 4-5. С. 487-491.

Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева, М., 1999. 331 с.

Миронов П.В. Алаудинова Е.В., Репях С.М. Низкотемпературная устойчивость живых тканей хвойных. Красноярск, 2001. 221 с.

Титов Е.В., Дымова О.В., Далькэ И.В. Биология и экофизиология сосны кедровой европейской на плантации в подзоне средней тайги северо-востока Европы. Сыктывкар, 2012. 98 с.

Федорков А.Л., Туркин А.А. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение, 2010. № 1. С. 70-74.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ БИОТЕСТИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ЧЕТВЕРТОГО ПЕРИОДА НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ

К.С. Башарова, А.Ю. Маслова, В.А. Прохорова, А.Ф. Игнатьева, В.С. Сибирцев
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
E-mail: vs1969r@mail.ru

Состояние окружающей природной среды является одним из важнейших факторов, определяющих жизнедеятельность человека и общества. В связи со все ускоряющимся развитием техноло-

гий, увеличением объемов и разнообразия производимой и потребляемой человечеством продукции, а также увеличением народонаселения в целом и концентрацией его в районах мегаполисов (к которым можно отнести, в частности, и Санкт-Петербург) увеличивается все более и антропогенная нагрузка на окружающую среду, а также усложняется ее характер (определяемый, в частности, уже не одним или несколькими доминирующими, а множеством разнообразных источников загрязнения окружающей среды) и территориальное распределение. Высокие концентрации многих химических элементов и соединений, обусловленные техногенными процессами, обнаружены в настоящее время во всех природных средах: атмосфере, воде, почве. Переходные металлы четвертого периода (такие как **Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn**) относятся к наиболее распространенным поллютантам водной и почвенной среды. При этом свое токсическое действие эти металлы проявляют, как правило, только в виде ионов.

В связи с этим интересным представлялось оценить воздействие наиболее устойчивых (и распространенных, вследствие того) ионных форм вышеупомянутых металлов на жизнедеятельную активность микроорганизмов. При этом, именно микроорганизмы были взяты для исследования, во-первых, потому что они, в определенной степени, могут служить моделью любого живого организма (включая человеческий). Во-вторых, потому что микроорганизмы преобладают в количественном отношении и являются первичной основой большинства экологических систем. И в-третьих, знание основных условий взаимодействия между средой и микроорганизмами позволяет разработать эффективные мероприятия как по борьбе с этими микроорганизмами (в случае возникновения такой необходимости), так и по использованию оных в различных биотехнологических процессах.

Оценка влияния ионов металлов на жизнедеятельность микроорганизмов проводилась потенциометрическим и кондуктометрическим методами. Всего было проведено три серии измерений. В каждой серии исследовалась кинетика роста в 21-й пробирке. При этом, сначала в каждую из этих пробирок (кроме № 1-3, используемых в качестве контроля) добавлялось (по три пробирки в параллель) от 0.1 до 0.02 мл водного раствора хлорида, сульфата либо нитрата (которые, как известно, мало влияют на жизнедеятельную активность микроорганизмов), содержащего интересующий нас катион металла в концентрации от 1.0 до 0.1 моль/л (М).

Затем в каждую из пробирок добавлялось по 1 мл бактериальной закваски (в качестве которой был выбран термофильный штамм *Lactobacillus bulgaricus* 298, активно используемый в на-

стоящее время, в частности, при промышленном производстве различной кисломолочной продукции), содержащей 10^7 КОЕ/мл тестовых микроорганизмов, и 9 мл 1.5%-ного молока. После этого все пробирки ставились в жидкостной термостат «ЛОИР LT-117b» и в течение следующих 5 ч инкубировались в нем при температуре 40 ± 0.1 °C (оптимальной для выбранного штамма тестовых микроорганизмов).

При этом в каждой из инкубируемых пробирок последовательно с интервалом 30 мин. регистрировались значения pH, редокс потенциала (E , мВ) и удельной линейной электропроводности (X , мСм/см). Причем, значения pH и E регистрировались с помощью предварительно откалиброванного иономера «Эксперт-001» с комбинированными электродами «ЭСК-10601/7» (с измерительным стеклянным H^+ селективным электродом) и «ЭРП-105» (с измерительным платиновым электродом) соответственно. А значения X регистрировались с помощью кондуктометра «Эксперт-002» с датчиком «УЭП-П-С», работающим на частоте 1.6 кГц.

Полученные значения усреднялись (сначала по трем параллельным образцам внутри каждой серии измерений, а затем между сериями) и для каждого из усредненных значений рассчитывался 95%-ный доверительный интервал, величина которого для любого из полученных значений не превышала 1%.

В результате, сравнивая полученные значения $\Delta pH = pH_5 - pH_0$, $\Delta E = E_5 - E_0$ и $\Delta X = X_5 - X_0$ (где pH_0 , E_0 и X_0 – усредненные значения pH, E и X , зарегистрированные перед началом инкубации образцов; а pH_5 , E_5 и X_5 – усредненные значения pH, E и X , зарегистрированные для тех же образцов через 5 ч после начала их инкубации), можно было сделать следующие выводы.

Ионы Cu^{2+} полностью ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов вплоть до концентрации 10^{-3} М. При меньших концентрациях ионов Cu^{2+} (C_{Cu}) их ингибирующее действие на жизнедеятельность тестовых микроорганизмов достаточно резко снижалось. Так, при C_{Cu} , равной 5×10^{-4} и 2×10^{-4} М, жизнедеятельность *L. bulgaricus* ингибировалась уже лишь на 71 и 32% соответственно.

Ионы Ni^{2+} полностью ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов вплоть до концентрации 5×10^{-3} М. При меньших концентрациях ионов Ni^{2+} (C_{Ni}) их ингибирующее действие на жизнедеятельность тестовых микроорганизмов снижалось более плавно, чем в случае Cu^{2+} . Так, при C_{Ni} , равной 1×10^{-3} и 5×10^{-4} М, жизнедеятельность *L. bulgaricus* ингибировалась на 63 и 36% соответственно.

Ионы Fe^{3+} в концентрации 0.03 М ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов на 65% (т.е. почти в три раза), а в концентрации 0.01 М – всего лишь на 9%. Сходной с Fe^{3+} была и биологическая активность ионов Co^{2+} , которые в концентрациях 0.03 и 0.01 М ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов на 70 и 10% соответственно.

Ионы Mn^{2+} и Cr^{3+} ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов в несколько большей степени, чем Fe^{3+} и Co^{2+} , но в существенно меньшей степени, чем Cu^{2+} и Ni^{2+} . Так, ионы Cr^{3+} в концентрациях 0.03 и 0.01 М ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов на 79 и 15% соответственно, ионы Mn^{2+} в концентрациях 0.03 и 0.01 М – на 82 и 18% соответственно.

И наконец, в наименьшей степени из исследованных катионов ингибировали жизнедеятельность тестовых микроорганизмов ионы Zn^{2+} (на 31 и 2% в концентрациях 0.03 и 0.01 М соответственно).

Таким образом, по степени убывания ингибирующей активности в отношении *L. bulgaricus* наиболее устойчивые ионные формы наиболее распространенных металлов четвертого периода таблицы Менделеева можно построить в следующий ряд: $\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Co}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Zn}^{2+}$.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МЕГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОБНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

А.В. Видякина, Н.А. Андрееенко, К.А. Шичкова, Чан Тхань Туан, В.С. Сибирцев
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
E-mail: vs1969r@mail.ru

В последнее время все более активно идет не только увеличение общей численности народонаселения, но и концентрация его в районах мегаполисов (к которым можно отнести и Санкт-Петербург). Соответственно, все более возрастает и общая микробная контаминация таких районов, а также агрессивность микробов по отношению к другим живым организмам и устойчивость микроорганизмов к ранее действенным в их отношении угнетающим факторам. Вследствие этого все более актуальной становится проблема поиска новых факторов, способных влиять на жизнедеятельную активность микроорганизмов, причем не только химиче-

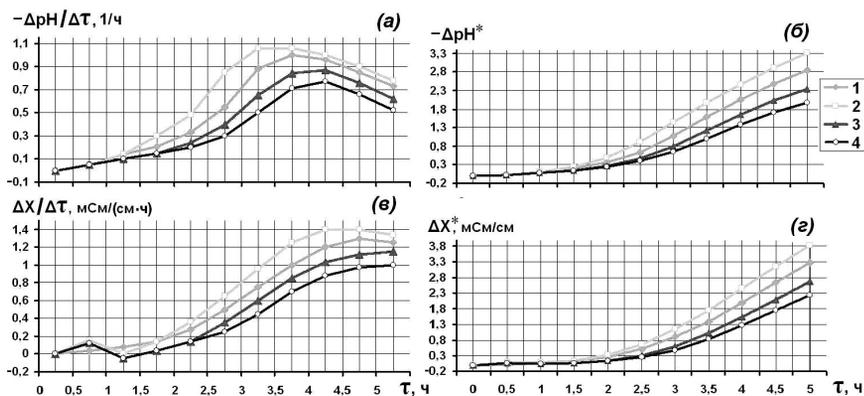
ских (характеризующихся различными побочными эффектами), но и физических. Из последних же одними из наиболее распространенных, простых в применении, дешевых и безопасных являются слабые переменные электрические поля мегагерцового диапазона.

То, что электромагнитные поля способны влиять на состояние живых организмов, стало понятно практически сразу же после открытия явления электромагнетизма. Однако в зависимости от напряженности и частоты ее изменения механизмы и последствия влияния таких полей на живые организмы оказались чрезвычайно различны. Кроме того, несмотря на большое количество исследований в данной области, основной их объем оказался посвящен изучению поражающего влияния на организм человека сильных электрических и магнитных полей. Так что механизмы воздействия на разные типы живых существ слабых электромагнитных полей мегагерцового диапазона (используемых, в частности, в большинстве современных бытовых электротехнических устройств, включая компьютеры, мобильные телефоны, различные электродвигатели, бытовую и производственную электропроводку и т.п.) до сих пор остаются мало выясненными, в то время как сами эти поля с увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду становятся все более распространенными.

В качестве модельной биосистемы для исследования влияния на живые организмы вышеупомянутых слабых электромагнитных полей мегагерцового диапазона нами был выбран термофильный штамм *Lactobacillus bulgaricus* 298, активно используемый в настоящее время, в частности, при промышленном производстве различной кисломолочной продукции. Всего было проведено три серии измерений. В каждой из них исследовалась кинетика роста в 12 пробирках, в каждую из которых к 9 мл 1.5%-ного молока добавлялось по 1 мл бактериальной закваски, содержащей 10^7 КОЕ/мл *L. bulgaricus*. Затем по три пробирки в параллель подвергались 60-минутной обработке однородным переменным электрическим полем, имеющим напряженность 50 В/м и частоту ее изменения 35, 3 и 0.1 МГц соответственно. Для этого каждые три упомянутые стеклянные измерительные пробирки (имеющие диаметр 20 мм) размещались вплотную между алюминиевыми пластинами, имеющими размер $145 \times 105 \times 1$ мм и подключенными (посредством кабеля) к выходу «0.1–1V» генератора «Г4-18А», который предварительно устанавливался в режим непрерывной генерации с несущей частотой 35, 3 либо 0.1 МГц (задаваемой ручкой настройки частоты) и выходным напряжением 1 В и включался за 30 мин. до начала обработки пробирок (для установления стабильного режима работы). Далее все пробирки ставились в жидкостной

термостат «ЛОИП ЛТ-117б» и в течение следующих 5 ч инкубировались в нем при температуре 40 ± 0.1 °С (оптимальной для используемого штамма). При этом в каждой из инкубируемых пробирок последовательно с интервалом 30 мин. регистрировались значения рН и редокс потенциала E (мВ) (с помощью иономера «Эксперт-001» с электродами «ЭСК-10601/7» и «ЭРП-105») и удельной, линейной, низкочастотной электропроводности X (мСм/см) (с помощью кондуктометра «Эксперт-002» с датчиком «УЭП-П-С»). Полученные значения усреднялись, и для каждого из усредненных значений рассчитывался 95% -ный доверительный интервал (величина которого для любого из значений не превышала 3%).

Полученные результаты представлены на рисунке. Из этих данных можно видеть, что даже однократное 60-минутное воздействие однородным переменным электрическим полем, имеющим напряженность 50 В/м и частоту ее изменения в диапазоне от 0.1 до 3.0 МГц, способно значимо ингибировать жизнедеятельность тестовых микроорганизмов. А воздействие аналогичным электрическим полем с частотой 35 МГц, наоборот, достоверно интенсифицировало таковую жизнедеятельность. Причем эффект от такого воздействия был достаточно пролонгированным.



Усредненные дифференциальные (а, в) и интегральные (б, г) зависимости рН и X от времени инкубации (t) *Lactobacillus bulgaricus* 298 после различных режимов их стрессовой обработки переменным электрическим полем. Линиями, соединяющими экспериментальные точки, показаны значения, полученные для *L. bulgaricus* без дополнительной предварительной электрообработки (1, контроль) и *L. bulgaricus*, подвергнутых перед инкубацией в течение 1 ч обработке однородным переменным электрическим полем, имеющим напряженность 50 В/м и частоту ее изменения 35 (2), 3 (3) и 0.1 МГц (4) соответственно. По оси ординат отложены значения $\Delta pH / \Delta t = (pH_t - pH_{t-1}) / (t_t - t_{t-1})$ (а), $\Delta pH^* = pH - pH_0$ (б), $\Delta X / \Delta t = (X_t - X_{t-1}) / (t_t - t_{t-1})$ (в) и $\Delta X^* = X - X_0$ (г). Здесь $pH_0 = 6.46-6.52$ и $X_0 = 13.66-13.88$ мСм/см – значения соответствующих параметров при $t = 0$.

Таким образом, можно заключить, что наложение малых по напряженности внешних электромагнитных полей является перспективным методом как для подавления роста вредной микрофлоры (что может быть необходимо, например, при инфицировании таковой микрофлорой человеческого либо иных многоклеточных макроорганизмов, при «мягкой» стерилизации пищевой и иной продукции без существенного изменения ее вкусовых и других свойств, при осуществлении различных биотехнологических процессов и т.д.), так и для активизации роста полезной микрофлоры (приводя, в частности, к увеличению эффективности различных биотехнологических производств), а также для ускорения роста растений, рыбной молоди и других многоклеточных живых организмов, выращиваемых специализированными предприятиями, либо для иных целей. Но при этом нужно учитывать, что характер влияния термических и электромагнитных полей на многоклеточные организмы может достаточно существенно отличаться от зафиксированного для одноклеточных организмов. Так что здесь необходимы отдельные исследования.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ β -ГЛЮКАНА НА ДИНАМИКУ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ

**А.В. Видякина¹, А.Х. Хайдаров¹, В.С. Сибирцев¹, Л.В. Красникова¹,
М.М. Шамцян²**

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

² Санкт-Петербургский государственный технологический институт
E-mail: vs1969r@mail.ru

В последнее время в связи со все большим увеличением общего уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду, а также возрастанием объемов и расширением разнообразия выпускаемой и потребляемой человеческим обществом продукции, все большую актуальность приобретает проблема разработки достаточно простых, дешевых, экспрессных, надежных и доступных для массового применения методов комплексной оценки общей степени экологического неблагополучия различных помещений, водоемов, территорий и т.п.; оценки общей степени токсичности промышленных и бытовых выбросов и стоков; мониторинга экологической безопасности уже выпускаемой и реализуемой населению продукции; а также выявления всех возможных как позитивных, так и негативных свойств новых либо модифицированных материалов, продуктов и препаратов. Наиболее приемле-

мым и адекватным в настоящее время признано использование для этих целей тестовых биосистем. А применение в качестве таковых биосистем сообществ микроорганизмов делает проведение подобных анализов значительно более простым, доступным, дешевым, экспрессным и статистически достоверным в оценке результатов. В качестве простейшего примера применения одного из таких методов, разработанного в НИУ ИТМО и осуществляемого инструментально, а не визуально (что существенно увеличивает объективность анализа, а также уменьшает его длительность, трудоемкость и материалоемкость), в настоящей работе была произведена оценка влияния β -глюкана на динамику жизнедеятельности тестовых микроорганизмов.

β -глюканы представляют собой полисахариды мономеров D-глюкозы, соединенных β -гликозидными связями. Они отличаются между собой молекулярной массой, плотностью и трехмерной структурой. В биологическом отношении наиболее активной формой является β -глюкан. Этот тип β -глюкана содержится в различных злаковых культурах, бактериях, дрожжах и базидиальных грибах. Среди полезных свойств β -глюканов особо можно выделить следующие: достаточно ярко выраженное иммуномодулирующее, радиопротекторное и антиоксидантное действие; подавление роста раковых клеток; стимуляция роста иммунных клеток спинного мозга; нормализация уровня липидов в крови (и тем самым, снижение уровня холестерина); снижение содержания сахаров в крови (что важно, в частности, для больных диабетом); улучшение пищеварения за счет активизации роста нормальной микрофлоры кишечника и практическое отсутствие побочных эффектов. Кроме того, в пищевой промышленности бета-глюканы используются как натуральные загустители.

Для исследования влияния β -глюкана на динамику жизнедеятельности микроорганизмов были взяты три разных вида молочнокислых бактерий, активно используемых в настоящее время, в частности, при промышленном производстве различной кисломолочной продукции: *Lactobacillus acidophilus* AT-I, *Lactobacillus bulgaricus* 298 и *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* НВ. Всего было проведено три серии измерений. В каждой серии для каждого штамма исследовалась кинетика роста в девяти пробирках. При этом в каждую из пробирок добавлялось по 1 мл бактериальной закваски, содержащей 10^7 КОЕ/мл тестовых микроорганизмов, и 9 мл свежего 1.5%-ного молока. Кроме того, в пробирки № 4-6 добавлялось по 0.2 гр β -глюкана, выделенного из вешенки обыкновенной (*Pleurotis ostreatus*) в виде мелкодисперсного нерастворимого в воде порошка. В пробирки № 7-9 для того, чтобы

оценить влияние на жизнедеятельность тестовых микроорганизмов изменения степени гетерогенности культуральной среды, добавлялось по 0.2 гр лигнина (также в виде мелкодисперсного нерастворимого в воде порошка). После этого все пробирки ставились в жидкостной термостат «ЛОИР ЛТ-117b» и в течение следующих 5 ч инкубировались в нем при температуре 40 ± 0.1 °C (оптимальной для выбранных штаммов тестовых микроорганизмов).

При этом в каждой из инкубируемых пробирок последовательно с интервалом 1 ч регистрировались значения pH, редокс потенциала (E , мВ) и удельной линейной электропроводности (X , мСм/см). Причем, значения pH и E регистрировались с помощью предварительно откалиброванного иономера «Эксперт-001» с комбинированными электродами «ЭСК-10601/7» (с измерительным стеклянным H^+ селективным электродом) и «ЭРП-105» (с измерительным платиновым электродом) соответственно. А значения X регистрировались с помощью кондуктометра «Эксперт-002» с датчиком «УЭП-П-С», работающим на частоте 1.6 кГц. Полученные значения усреднялись (сначала по трем параллельным образцам внутри каждой серии измерений, а затем между сериями) и для каждого из усредненных значений рассчитывался 95%-ный доверительный интервал (величина которого для любого из полученных значений не превышала 1%).

Исходя из полученных таким способом данных (см. таблицу), можно отметить, что для всех исследованных бактериальных культур с течением времени изменение pH, E и X в молоке в присутствии лигнина происходило несколько более активно, чем в том же молоке в отсутствие лигнина, а в присутствии β -глюкана изменение pH, E и X происходило еще более активно, чем в присутствии лигнина. Данный факт объясняется, вероятно, сорбцией микроорганизмов на лигнине и β -глюкане (что само по себе способствует увеличению активности жизнедеятельности тестовых микроорганизмов). Но β -глюкан, в отличие от лигнина, частично

Изменение параметров молока (относительно исходных их значений) через 5 ч после инкубирования оно в присутствии различных бактериальных культур, а также лигнина (Л) и β -глюкана (Г)

Культура	ΔpH_K	ΔpH_L	ΔpH_G	ΔE_K	ΔE_L	ΔE_G	ΔX_K	ΔX_L	ΔX_G
<i>S. thermophilus</i>	-2.19	-2.31	-2.55	25	39	41	3.73	3.94	4.88
<i>L. acidophilus</i>	-1.89	-1.95	-2.08	23	35	37	3.76	3.94	4.92
<i>L. bulgaricus</i>	-2.12	-2.40	-2.59	23	37	39	1.77	1.92	2.43

Примечания. Индексом «К» обозначено изменение параметров молока в отсутствие лигнина (Л) и β -глюкана. E (мВ) – редокс-потенциал. X (мСм/см) – удельная линейная электропроводность.

гидролизуюсь, поставлял в культуральную среду еще и дополнительные питательные вещества, способствовавшие более интенсивному развитию тестовых микроорганизмов.

Дополнительно можно отметить, что из трех исследованных бактериальных культур в «чистом» молоке рН уменьшалось в наибольшей степени термофильным стрептококком, а в наименьшей – ацидофильной палочкой, в то время как при добавлении в это же молоко β -глюкана и лигнина рН уменьшалось в наибольшей степени болгарской палочкой, а в наименьшей – ацидофильной палочкой.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА ХВОИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Н.В. Герлинг

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: gerling@ib.komisc.ru

Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) – древнейший представитель семейства сосновых, одна из основных лесообразующих пород темнохвойных лесов Сибири (Назимова, 1975). На территории Республики Коми пихта занимает около 200 тыс. га, причем значительная часть пихтарников сосредоточена в предгорьях и горах Северного и Приполярного Урала (Юдин, 1954).

Сбор образцов охвоенных побегов пихты сибирской второго года развития проводили в июле 2016 г. в ельнике чернично-сфагновом, расположенном в подзоне средней тайги (62°16'03" с.ш., 50°41'07" в.д.). Хвою отбирали с 10 деревьев первого яруса древостоя со средней части кроны. Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции, изложенном в Государственной фармакопее СССР (Государственная фармакопея..., 1990).

Выход эфирного масла пихты сибирской в июле составил $3.79 \pm 0.02\%$ от массы свежего сырья со средней влажностью 46.35%, или $8.18 \pm 0.05\%$ в пересчете на абсолютно сухое сырье. По данным некоторых исследователей, в Красноярском крае наибольший выход отмечен в июле – $5.40 \pm 0.16\%$ а.с.м. (Ефремов, 2010; Ефремов и др., 2009).

В первые 6 ч выгонки (фракция 0-6) его выход составлял $3.57 \pm 0.01\%$ от массы свежего сырья ($7.7 \pm 0.03\%$ а.с.м.). Эфирное масло пихты представляло собой бесцветную маслянистую жидкость. В последующие 8 ч (фракция 7-14) выход эфирного масла заметно снизился и составил $0.16 \pm 0.01\%$ от массы свежего сырья

($0.34 \pm 0.02\%$ а.с.м.). Эфирное масло уже приобрело светло-желтый цвет. В последние 8 ч отгонки (фракция 15-22) выход эфирного масла пихты сибирской уменьшился до $0.07 \pm 0.01\%$ в пересчете на свежее сырье ($0.14 \pm 0.03\%$ а.с.м.), его цвет сохранился светло-желтым.

Методом хромато-масс-спектрометрии установлено, что в эфирном масле пихты сибирской имеется 57 компонентов, из них нами были идентифицированы 27, составляющие 98.2% от общего состава эфирного масла.

Из идентифицированных компонентов доля монотерпенов составляла 62.2%, сесквитерпенов – 2.1%, спиртов – 4.9% от общего состава эфирного масла. В составе изученного нами эфирного масла пихты сибирской более высокая концентрация отмечена для четырех компонентов: борнилацетата (29.4%), камфена (28.8%), альфа-пинена (10.8%) и дельта-3-карена (6.2%). По содержанию борнилацетата и общему количеству эфирного масла из охвоенных побегов пихта сибирская превосходит другие виды пихт.

Сравнительный анализ результатов по выходу эфирного масла пихты сибирской, полученных разными методами, показал их хорошее согласие (см. таблицу). При этом следует отметить, что точность гравиметрического метода превышает точность хроматографического метода при больших значениях массы навески.

Анализ динамики выхода эфирного масла выявил, что при абсолютной погрешности результата измерения выхода эфирного масла хроматографическим методом Δm равной ± 0.2 г разница между значением выхода масла в первые 6 ч (1.46 г) и значением выхода масла за все время выгонки (1.55 г) статистически незначима (Петунин, 1981). Рассматривая динамику выхода борнила-

Выход эфирного масла пихты сибирской в разное время выгонки

Метод	Время выгонки, ч	Выход масла, %	Выход масла, м, г	Абсолютная ошибка, Δm , г	Относительная ошибка, δm , %
X	6	94.2	1.46	0.2	16.1
	14	4.5	0.07	0.004	5.8
	22	1.3	0.02	0.0008	4.3
	Всего	100	1.55	0.2	12.9
Г	6	93.9	1.39	0.005	0.36
	14	4.1	0.06	0.005	8.3
	22	2.0	0.03	0.005	16.6
	Всего	100	1.48	0.04	2.8

Примечание: X – хроматографический метод, Г – гравиметрический метод расчета выхода эфирного масла.

цетата, одного из основных компонентов, определяющих качество эфирного масла пихты, следует отметить, что в составе фракции 0-6 доля борнилацетата составляет 0,44 г, фракции 7-14 – 0.01 г, фракции 15-22 – 0.0006 г. Очевидно, что значения выхода масла, соответствующие фракции 7-14 и 15-22, существенно не изменяют общий показатель выхода борнилацетата и ими можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА

Назимова Д.И. Горные темнохвойные леса Западного Саяна. Л.: Наука, 1975. 118 с.

Юдин Ю.П. Темнохвойные леса. Ч. 1. Растительный мир // Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. 3. С. 42-126.

Ефремов Е.А., Ефремов А.А. Компонентный состав эфирного масла июльской лапки пихты сибирской Красноярского края // Химия растительного сырья, 2010. № 2. С. 135-138.

Ефремов А.А., Струкова Е.Г., Нарчуганов А.Н. Компонентный состав эфирного масла лапки хвойных Сибирского региона по данным хромато-масс-спектрометрии // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Химия, 2009. № 4. С. 335-350.

Петунин Ю.И. Приложение теории случайных процессов в биологии и медицине. Киев: Наукова думка, 1981. 320 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А.В. Гогонин¹, И.В. Новаковская²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: algogonin@gmail.com; novakovskaya@ib.komisc.ru

Интенсивное использование водных ресурсов приводит к серьезным нарушениям в водных экосистемах. В индустриально развитых районах за счет сброса хозяйственно-бытовых, производственных и ливневых сточных вод происходит поступление биогенных элементов в природные экосистемы, что проявляется в эвтрофикации водоемов, а также в накоплении ксенобиотиков и органических загрязнителей во всех трофических цепях. В связи с этим необходимо проводить мероприятия, направленные на снижение концентрации загрязняющих веществ в сбрасываемых водах. К таковым относятся разнообразные методы очистки сточных вод: механические, химические, физико-химические и биологические (Гудков, 2002). Последние в качестве очищающего агента используют разнообразные живые организмы. Широко применяют

ся микроводоросли, которые значительно изменяют физико-химические свойства среды, способны к биосорбции, оказывают влияние на рост и развитие различных групп живых организмов через выделяемые ими метаболиты.

Цель работы: исследование трех штаммов микроводорослей в качестве биотехнологических агентов при очистке сточных вод лесопромышленного комплекса ОАО «Монди СЛПК». ОАО «Монди СЛПК» производит очистку не только собственного промышленного стока (210 тыс. м³/сут.), но и хозяйственно-бытовых сточных вод г. Сыктывкара (65 тыс. м³/сут.) и пос. Эжва (16 тыс. м³/сут.) (Щетинин и др., 2010).

В качестве биологических агентов были выбраны штаммы *Anabaena sp.*, *Coelastrum proboscideum* Bohlin и *Eustigmatos magnus* (B.-Peters.) Hibberd из коллекции Института биологии Коми НЦ УрО РАН (СЮКОА).

Род *Anabaena sp.* относится к отряду Cyanoprokaryota. В большинстве случаев представлен одиночными нитями или в виде дерновинок. Симметричные нити одинаковы по ширине на всем протяжении. Нити формируются из округлых вегетативных клеток и гетероцист. Большинство представителей рода *Anabaena sp.* могут образовывать споры. Обитает в планктоне, бентосе рек и озер (Komárek, 2013).

Вид *Eustigmatos magnus* является представителем отдела Eustigmatophyta. Представлен одиночными коккоидными клетками с чашевидным хлоропластом. Размножение происходит с образованием двух-четырёх автоспор либо одножгутиковых зооспор. Вид *E. magnus* относительно легко культивируется, толерантен к токсичности тяжелых металлов и устойчив к высоким температурам (Сафиуллина и др., 2009). Перечисленные качества являются необходимыми для технологии очистки сточных вод ЛПК, так как температура воды в аэротенках достигает 40 °С в летний период (Ettl, Gärtner, 2014).

Вид *Coelastrum proboscideum* относится к отряду Chlorophyta. Образует шаровидные, эллипсоидные или кубические ценобии из 4-64 клеток, но встречаются одно- и двухклеточные формы. Клетки шаровидные, при виде сбоку почти шестиугольные, иногда с двумя-тремя короткими выростами. Хлоропласт пристенный с одним пиреноидом. Размножение автоспорами. В виде запасающего вещества крахмал. Широко представлен в пресных водоемах с различным уровнем загрязнения органическими веществами (Царенко, 1990).

Сточная вода для проведения эксперимента была отобрана с аэротенков ОАО «Монди СЛПК». Биомасса микроводорослей на-

работывалась на протяжении 14 дней в 250 мл колбах на двух питательных средах: Люка и Тамия. Нарботка биомассы происходила на шейкере при 180 об./мин. в условиях комнатной температуры и освещения фитолампой с соблюдением соотношения периодов свет/темнота – 12/12. В емкости со сточной водой вносили инокулят водорослей в объеме 0.3% от общего количества экспериментальной жидкости. В качестве контроля выступала сточная вода без добавления биологических агентов. Все емкости с исследуемой жидкостью подверглись суточному барботированию воздухом, после чего все образцы были сданы на анализ в экоаналитическую лабораторию Института биологии Коми НЦ УрО РАН на определение содержания следующих веществ: Al, Fe, фенольные соединения, общего азота и ряда других загрязнителей.

В ходе эксперимента клетками микроводорослей происходила аккумуляция Fe. За сутки снижение железа в воде произошло на 8-25% от первоначальной концентрации. После внесения инокулятов также уменьшилось количество алюминия на 5-34%. Небольшое снижение наблюдалось по содержанию общего азота – 10-13%. Наиболее эффективными в аккумуляции металлов и азота показали себя *Anabaena sp.* (Тамия) и *E. magnus* (Тамия). Концентрация фенольных соединений уменьшилась на 15-50%. Хороший эффект в аккумуляции фенола был отмечен для *Coelastrum proboscideum* на среде Люка (см. таблицу). В случае со штаммом *C. proboscideum*, культивированного на среде Люка, результаты по Fe превышают контроль из-за водопроводной воды, используемой для приготовления среды. Видимо, аккумуляция железа происходила ниже, чем в других вариантах. В последующих опытах данная специфика будет учтена и изучена.

Таким образом, использование микроводорослей в качестве биологических агентов для очистки сточных вод промышленных

Количественное содержание основных загрязняющих веществ в сточной воде без водорослей (контроль) и с внесением биомассы исследованных микроводорослей

№	Проба	Al, мкг/дм ³	Fe, мг/дм ³	Азот общий, мг/дм ³	Фенол, мг/дм ³
1	<i>Anabaena sp.</i> (Люка)	1130.00	0.58	22.00	30.90
2	<i>Eustigmatos magnus</i> (Люка)	970.00	0.75	20.00	31.30
3	<i>Coelastrum proboscideum</i> (Люка)	780.00	1.31	19.06	18.60
4	<i>Anabaena sp.</i> (Тамия)	920.00	0.78	15.00	25.2
5	<i>Eustigmatos magnus.</i> (Тамия)	970.00	0.56	15.00	23.9
6	<i>Coelastrum proboscideum</i> (Тамия)	780.00	0.69	20.00	25.4
7	Контроль	1190.00	0.75	20.00	36.90

предприятий и коммунально-бытовых хозяйств является перспективным. В результате применения биологического метода очистки содержание тяжелых металлов, азота и фенола в общем уменьшилось от 8 до 50%. Наибольший эффект по снижению содержания загрязнителей показал штамм *E. magnus*, наработанный на питательной среде Тамия.

ЛИТЕРАТУРА

Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод. Вологда: ВоГТУ, 2002. 127 с.

Сафиуллина Л.М., Фазлутдинова А.И., Бакиева Г.Р. Толерантность почвенных водорослей *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta) и *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve et Grunow (Bacillariophyta) к воздействию тяжелых металлов // Вестник Оренбургского гос. ун-та, 2009. С. 609-610.

Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев, 1990. 208 с.

Щетинин А.И., Костин Ю.В., Андреев Е.Л., Есин М.А., Малбиев Б.Ю., Демяненко Е.В., Юрченко В.А. Сыктывкарский ЛПК: решение проблем очистки сточных вод. М., 2010. С. 34-38.

Ettl H., Gärtner G. Syllabusder Boden-, Luft- und Flechtenalgen 2. Auflage, 2014. 773 p.

Komarek J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous genera. Berlin, Heidelberg: Springer-Spektrum, 2013. 1130 p.

ОЧИСТКА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ МИКРОБНЫХ АССОЦИАЦИЙ

А.Н. Гуркина¹, Е.М. Анчугова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: churensia_777@mail.ru; anchugova@ib.komisc.ru

В очистке земель от нефти и нефтепродуктов применимы только дифференцированные подходы, подтверждающие, что положительный результат достигается технологиями, учитывающими конкретные условия восстанавливаемой территории, концентрацию загрязнения, возраст разлива, состав нефти, а также степень функциональной активности почвенной микробиоты.

В основу нашей исследовательской работы взяты существующие технологии:

– глубокая очистка водоемов и заболоченных территорий от нефти и нефтепродуктов, в которую включены уборка поверхностной нефти, внесение биопрепаратов и минерального удобрения и аэрация;

– технология, в которой используется специальное обводнение зоны загрязнения с помощью дамб, отсыпок и т.д., чтобы нефть в процессе аэрации поднималась на поверхность воды, где очистка происходит наиболее эффективно.

Такие технологии направлены на биорекультивацию почв либо с невысокой степенью загрязнения, либо с предварительной уборкой нефти. В то же время существующая проблема утилизации сильно загрязненных нефтью почв (жидких нефтешламов) предполагает разработку новых технологий очистки.

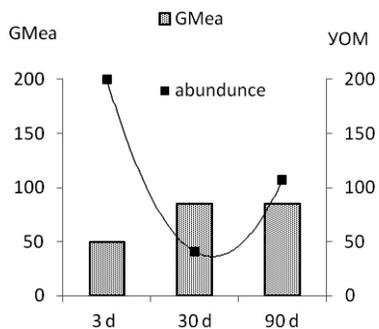
Для активизации биологического разрушения нефтепродуктов были использованы штаммы нефтеокисляющих микроорганизмов *Rhodotorula glutinis*, *Pseudomonas libanensis*, *Acutodesmus obliquus*, *Chlorella* sp., *Monoraphidium* sp., *Anabaena* sp.

В экспериментальные емкости помещали почву в количестве 0.5 кг и загрязняли ее нефтью (30%). Далее заливали поверхность почвы водопроводной водой 1 дм³ и добавляли по схеме опыта минеральные соли НРК-15 и биологические агенты (биомассу бактерий, дрожжей и микроводорослей): минеральные соли во все варианты, кроме контроля, в пробу 2 – биомассу бактерий и дрожжей, 3 – биомассу микроводорослей, 4 – биомассу альго-бактериально-дрожжевого консорциума. Продолжительность лабораторного эксперимента составляла 90 сут., учитывая, что его результаты будут применены в дальнейшем на почвах северных территорий, где длительность безморозного периода составляет 90-120 сут.

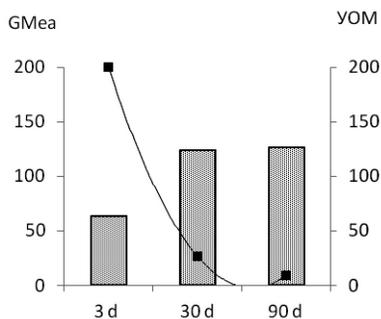
Поступление в образцы дерново-подзолистой почвы специфического субстрата (нефти) привело к росту численности микроорганизмов и, как следствие, выработке соответствующих ферментов микроорганизмами (на 30-е сут.). На третьи сутки эксперимента увеличивается численность УОМ (см. рисунок), но активность клеток в продуцировании в среду окислительно-восстановительных ферментов не зафиксирована. На 30-е сут. наблюдается постепенное возрастание активности окислительно-восстановительных ферментов (дегидрогеназы и каталазы) и пик биологической активности приходится на 90-е сут. В результате активизации деятельности клеток микроорганизмов попавшие в почву органические вещества (углеводороды нефти), особенно растворимые, разрушаются и переходят в водную часть эксперимента (см. таблицу).

Внесение биологических агентов стимулирует процессы деструкции углеводов микроорганизмами и ферментами. Как видно из диаграммы, внесение биоагентов увеличивает значение G_{Mea} (среднее геометрическое) по сравнению с нефтезагрязненной необработанной почвой (Контроль), что говорит о положительном

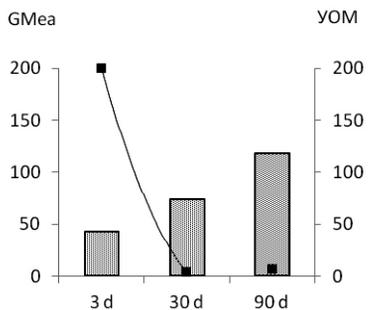
I



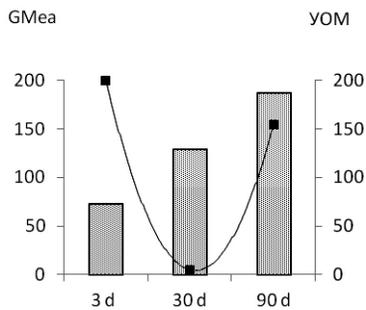
II



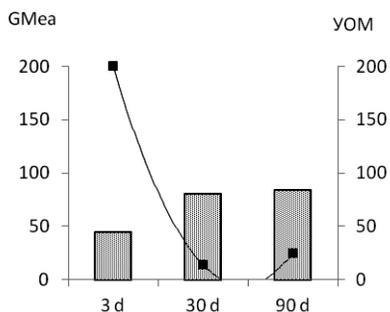
III



IV



Контроль



Ферментативная активность и динамика УОМ в эксперименте.

Содержание нефтепродуктов в экспериментальных образцах, мг/г

Вариант	3 дня	30 дней	90 дней
I	293.7 ± 5.5	302.2 ± 4.4	$\frac{1491^*}{290 \pm 6.1}$
II	195.9 ± 9.5	176.6 ± 4.7	$\frac{2423^*}{135.4 \pm 5.1}$
III	268.6 ± 10.5	270.7 ± 5.9	$\frac{108^*}{269.1 \pm 5.3}$
IV	207.8 ± 2.7	186.6 ± 1.4	$\frac{750^*}{124.6 \pm 1.5}$
Контроль	325.2 ± 10.7	329.5 ± 6.5	$\frac{47^*}{337.7 \pm 3.1}$

* Масса десорбированной нефти в водной фазе, мг.

эффекте проведенных биоремедиационных мероприятий (см. рисунок). Внесение только минеральных добавок не приводит к усилению биохимических процессов в загрязненной нефтью почве, а значит, и процессы восстановления будут происходить значительно дольше, чем при внесении биодобавок.

Рассматривая зависимость изменения содержания нефтепродуктов, УОМ и ферментативной активности по **GMea**, можно выделить две технологии очистки: с внесением симбиотического комплекса микроорганизмов дрожжей и бактерий (вариант II) и альго-бактериально-дрожжевого консорциума (вариант IV). Уже на третьи сутки значительно уменьшается содержание нефтепродуктов в почве этих вариантов, а за 90 сут. эффективность очистки составляет 60 и 63% соответственно. В этих же вариантах концентрация нефтепродуктов в водной среде самая высокая.

Таким образом, с помощью показателей биологической активности загрязненных нефтью почвенных образцов и образцов, инокулированных микроорганизмами, были отражены внутренние сдвиги, обусловленные микробной сукцессией, а также выявлена зависимость окислительно-восстановительных ферментов (каталазы и дегидрогеназы) и почвенной микробиоты в процессе самоочищения и очищения с помощью биологических агентов – штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов *Rhodotorula glutinis*, *Pseudomonas libanensis* и культур микроводорослей *Acutodesmus obliquus*, *Chlorella* sp., *Monoraphidium* sp., *Anabaena* sp. в сильно загрязненной дерново-подзолистой почве.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

А.С. Залужский¹, Е.М. Анчугова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: wademovie@gmail.com; anchugova.ib@rjmisc.ru

Технология очистки сточных вод молочной промышленности с советских времен не претерпела значительных изменений, тогда как современное производство наряду с натуральным молоком позволяет применять широкий спектр добавок. Для мойки технологического оборудования, помещений и тары используются современные синтетические моющие средства. В результате кардинально меняется характер сточных вод молочных предприятий, в которых появились компоненты, ранее им не свойственные, но весьма осложняющие процесс очистки. Зачастую городские молочные заводы не оснащены локальными системами очистки и сбрасывают стоки в систему городской канализации, что влечет за собой штрафы за сброс неочищенных сточных вод. На рынке преобладают физико-химические методы очистки. Методы биологической очистки сточных вод, хоть и значительно дешевле, но становятся крайне трудными в организации из-за отсутствия композиций микроорганизмов, специализированных для очистки сточных вод молочных производств.

Следует отметить, что в соответствии с п. 116 действующих на сегодняшний момент Правил холодного водоснабжения и водоотведения, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 № 644, молокоперерабатывающие предприятия обязаны иметь и надлежащим образом эксплуатировать локальные очистные сооружения и обеспечивать предварительную очистку сточных вод.

В процессе изучения состава сточной воды сыктывкарских молокозаводов было обнаружено, что по ряду показателей предприятия превышают ПДК. Например, по взвешенным веществам БПК и ХПК ПДК превышает в десятки раз. Это обусловлено тем, что стоки содержат большое количество органических соединений. Наибольшие показатели ХПК достигаются во время мойки оборудования и аварийных сбросах.

Также превышения ПДК были зафиксированы по таким показателям, как хлориды Cl^- , ионы аммония NH_4^+ и фосфат-ионы. Это тоже обусловлено тем, что сточные воды молокозаводов содержат главным образом органические вещества. В органических веществах естественного происхождения азот находится главным об-

разом в восстановленной форме. Аминогруппы белковых веществ, аминокислот, мочевины легко отщепляются соответствующими ферментами и превращаются в ион NH_4^+ . К биогенным элементам относится также фосфор, поскольку он необходим для роста и нормальной жизнедеятельности микроорганизмов. Соединения фосфора в сточных водах предприятий пищевой промышленности содержатся, как правило, в гораздо меньших концентрациях, чем соединения азота.

Последним показателем являются нефтепродукты, показатели ПДК которых также были превышены. Наличие нефтепродуктов в сточных водах молокозавода является следствием того, что на территории завода располагается парк автомобилей, техническое обслуживание которых происходит на предприятии. Мойка автомобилей и дожди смывают нефтепродукты на землю и они попадают в общую систему канализации.

Существующие проекты очистных сооружений молокозаводов, а также анализ отечественных и зарубежных наработок в этой сфере предполагают две основные технологические схемы организации водоочистки.

Со сбросом в водоем. При этой схеме сточные воды молочного производства проходят следующие стадии очистки:

- аэробная фильтрация в биофильтре;
- очистка в аэротенках;
- фильтрационная доочистка;
- ультрафиолетовое обеззараживание.

Биологические процессы в аэротенках идут с интенсивным перемешиванием и циклической аэрацией. Это дает возможность активно окислять органические соединения. Подача реагента в аэротенках дополнительно запускает процессы денитрификации и нитрификации.

Конечные стадии очистки – фильтрационная доочистка и ультрафиолетовая дезинфекция – позволяют довести сбрасываемую воду до показателей, соответствующих нормативам для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Со сбросом в коммунальные системы водоотведения. В этом случае сточные воды подвергаются следующим стадиям очистки:

- процеживание;
- усреднение и нейтрализация;
- обезжиривание;
- флотационная очистка;
- двухстадийная анаэробная обработка;
- аэробная очистка с использованием биофильтров;
- обезвоживание собранного осадка.

Методы очистки сточных вод молочных производств

Способ	Недостатки
Физико-химические методы: коагуляция (Патент RU 2326821), фильтрация (Патент RU 94020900), флотация и отстаивание (Патент RU 2228301), реагентная обработка (Патент RU 94040236), баромембранные процессы (Полезная модель RU 122 847)	Относительная дороговизна, необходимость установки цело- лого спектра сопутствующего оборудования
Ассоциация собственной микрофлоры при долго- срочном культивировании с постоянной заменой сточных вод	Затраты времени и энергорес- урсов
Культивирование селективированных штаммов на сточной воде	Загрязнение микрофлорой вод, избыточный ил
Биоценоз активного ила для очистки сточных вод молочных производств	Пока не обнаружено

В случае, если такая схема очистки основана на современном технологическом оборудовании, остаточные концентрации растворенной органики не превышают 140-200 мг/дм³ по БПК_{полн} и 40-45 мг/дм³ по жирам. Указанные величины предусматривают возможность аварийных сбросов от основного производства молокозавода.

Нашим решением является разработка управляемых смешанных культур микроорганизмов, способных развиваться в условиях непрерывных процессов, для обеспечения наиболее полной и экологической очистки сточных вод, снижения патогенной микрофлоры до санитарно-показательных норм и утилизации избыточного содержания активного ила в технологической цепи. Таким образом, целью работы является композиция активного ила для биологической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности. А конечным продуктом является активный ил, специализированный для данного вида производства.

Нами предложена технология формирования биоценоза активного ила из микроорганизмов как собственной микрофлоры стоков, так и специально селективированных на сточной воде молочно-го производства в качестве основного источника питания.

На базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН планируется выделить из сточных вод эффективные штаммы-деструкторы органических загрязнений, создать из них и коллекционных штаммов устойчивый консорциум путем непрерывного совместного культивирования на сточной воде в качестве источника питания.

На данный момент нами проведено микробиологическое исследование сточных вод молокоперерабатывающего предприятия г. Сыктывкар. Коэффициент Мишустина (КАА/МПА = 1.88) подтверждает низкую интенсивность минерализации органического

вещества. Коли-титр – объем воды, в котором содержится одна кишечная палочка, – составляет 25 см³ при норме 300 см³.

В настоящее время на российском рынке представлены следующие методы очистки сточных вод молочных производств (см. таблицу).

Таким образом, метод очистки сточных вод при участии активного ила, специально селективированного на сточной воде молочного производства, является наиболее оптимальным при использовании его в комплексе очистных сооружений.

ФИЗИОЛОГИЯ РОСТА И МОРФОГЕНЕЗА ПОДЗЕМНЫХ ПОБЕГОВ *ACHILLEA MILLEFOLIUM*

Е.А. Кравченко¹, С.П. Маслова², О.В. Дымова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: maslova@ib.komisc.ru

Свет и гравитация являются важнейшими факторами среды, регулирующими рост и развитие растений. Известно, что побеги проявляют положительный фототропизм (растут по направлению к источнику света) и отрицательный гравитропизм (растут в противоположную от центра Земли сторону). Корни проявляют положительный гравитропизм и отрицательный фототропизм. В природе существуют диагравитропные побеги – корневища, столоны, которые продолжительное время растут в горизонтальном положении под поверхностью почвы, не проявляя фото- или гравитропических реакций. Периодически конус нарастания корневищ и столонов формирует почки, которые затем переходят в надземный побег – сармент. Апикальная часть сармента в процессе подземного горизонтального роста дифференцируется и формирует ассимилирующие листья (Маркаров, Головкин, 1995). К настоящему времени малочисленны данные по изучению механизмов морфогенеза подземных побегов. Целью исследований было изучение физиолого-биохимических показателей в тканях верхушки подземных побегов *Achillea millefolium* L. на разных этапах органогенеза апикальной почки.

A. millefolium – многолетнее длиннокорневищное растение, формирует два типа побегов – корневища и сарменты. В фазу цветения растения образует до 30 подземных побегов, из которых 25% составляют сарменты (Маслова и др., 2013). Исследования проводили в июле 2016 г. в вегетационном эксперименте. В фазу отрастания (середина мая) растения *A. millefolium* рассажива-

ли участками корневищ. В фазу цветения оценивали скорость тепловыделения, дыхания и запасания энергии в верхушках тканей подземных побегов с помощью микрокалориметра Биотест-2 (ИБП, Пущино). Отбирали пробы для изучения содержания растворимых углеводов, белков и фотосинтетических пигментов. Верхушки подземных побегов исследовали на разных этапах органогенеза апикальной почки: на фотофобном изучали гетеротрофные верхушки корневищ, на фотофильном – зеленеющие верхушки сарментов и молодые листья сарментов.

Показано, что скорость тепловыделения и дыхания в верхушках гетеротрофных тканей корневищ была существенно выше по сравнению с верхушками сарментов на фотофильном этапе органогенеза. Расчеты показали, что скорость запасания энергии в верхушках корневищ была сравнительно высокой и составляла около 20 мкВт/мг сухой массы. Скорость запасания энергии в тканях гетеротрофных корневищ была в три раза выше, чем в верхушке подземного побега на фотофильном этапе развития.

Выявлено, что концентрация неструктурных углеводов в тканях гетеротрофных верхушек корневищ *A. millefolium* составляла в среднем 50 мг/г сухой массы. Доля моносахаридов была 85% от общего содержания сахаров. Основными моносахарами были глюкоза, фруктоза и манноза, из дисахаридов отмечены сахароза и трегалоза. В зеленеющих верхушках сарментов отмечено небольшое снижение растворимых сахаров, соотношение моно- и дисахаридов не изменялось. Наименьшее количество углеводов было отмечено в тканях молодых листьев подземных побегов – сарментов, что связано с активным ростом ассимилирующих органов.

Показано сравнительно высокое содержание растворимых белков в тканях верхушек подземных побегов тысячелистника. Наибольшее его количество (65 мг/г сухой массы) отмечено в тканях зеленеющих верхушек сарментов. В этот период в конусе нарастания формируются примордии фотофильных листьев, осуществляется переход от гетеротрофного к автотрофному способу питания. Наименьшее количество белка отмечено в тканях сформировавшихся листьев сарментов.

В гетеротрофных тканях верхушек корневищ обнаружены хлорофиллы (Хл) и каротиноиды (Кар) в низких концентрациях – 0.17 и 0.05 мг/г сухой массы соответственно. Выявлено низкое соотношение Хл a/b (меньше 1) и относительно высокое содержание Кар (величина Хл/Кар 3.5) в гетеротрофных тканях. Известно, что Кар участвуют в путях биосинтеза фитогормонов, в частности АБК. Ранее была показана возможная роль АБК в регуляции ростовых процессов, связанных с транспортом метаболитов и

воды к формирующимся подземным побегам *A. millefolium* в летний период (Маслова и др., 2013).

Ткани зеленеющих верхушек сарментов имели сходные величины концентрации Хл и Кар и их соотношений по сравнению с гетеротрофными верхушками корневищ. Концентрация Хл и Кар в этих тканях составляла всего 4-7% от их содержания в тканях молодых листьев сарментов. Показано, что синтез хлорофилла может происходить в темноте благодаря светонезависимой протохлорофиллидоксиоредуктазе (Armstrong et al., 1998). Исследования экспрессии генов и белков в тканях гетеротрофных верхушек корневищ у многолетнего злака тростника обыкновенного показали присутствие фотосинтетических генов – белков фотосистем I и II, хлорофилла *a*, апопротеина A1 и фототропина-2 (He et al., 2012). Экспрессия этих генов может происходить на фотофильном этапе морфогенеза подземных почек под действием света.

Таким образом, получены новые данные об изменении физиолого-биохимических характеристик тканей верхушек подземных побегов на разных этапах органогенеза апикальной почки. Выявлено снижение скорости запасаения поставляемой дыханием энергии при переходе от фотофобного к фотофильному этапу органогенеза апикальной почки, что может быть связано с адаптивными процессами при переключении программы развития с гетеротрофного на автотрофный способ питания. Отмечено увеличение содержания растворимого белка в тканях верхушек зеленеющих сарментов при формировании примордий фотофильных листьев. Обнаружены фотосинтетические пигменты в гетеротрофных тканях подземных побегов – корневищ, синтез которых может происходить при низком уровне света под поверхностью почвы.

Исследования выполнены в рамках темы НИОКТР «Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» (№ АААА-А17-117033010038-7).

ЛИТЕРАТУРА

Маркаров А.М., Головки Т.К. Влияние света на ориентацию роста корневищ и столонов // Физиология растений, 1995. Т. 42. С. 533-538.

Маслова С.П., Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В., Головки Т.К. Сезонные изменения роста и метаболической активности подземных побегов тысячелистника обыкновенного // Физиология растений, 2013. Т. 60. № 6. С. 865.

Armstrong G.A. Greening in the dark: light-independent chlorophyll biosynthesis from anoxygenic photosynthetic bacteria to gymnosperms // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1998. Vol. 43. № 2. P. 87-100.

He R., Kim M., Nelson W., Balbuena T. S., Kim R. et al. Next-generation sequencing-based transcriptomic and proteomic analysis of the common reed, *Phragmites australis* (Poaceae), reveals genes involved in invasiveness and rhizome specificity // American Journal of Botany, 2012. Vol. 99. № 2. P. 232-247.

ОТВЕТ РАСТЕНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* НА МАЛЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНА НАТРИЯ

Е.В. Кропочева, Е.С. Глаголева, Т.Н. Бибикова
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: katerinakropocheva@yandex.ru

В процессе своей жизнедеятельности растения испытывают влияние различных факторов окружающей среды. Содержание минеральных элементов в почве является одним из наиболее важных абиотических факторов. Натрий не относится к группе необходимых элементов, но его присутствие может положительно сказываться на росте и развитии некоторых систематических и экологических групп растений. Однако, наиболее широко влияние ионов натрия на растительный организм рассматривается в свете проблемы засоления почв. Около 20% сельскохозяйственных земель по всему миру испытывают воздействие повышенных концентраций солей, по большей части содержащих ионы натрия и хлора. Это приводит к потерям урожая, оцениваемым в 27.3 млрд. долларов ежегодно (Qadir et al., 2014). Многие растения способны увеличивать свою устойчивость к прежде летальному солевому стрессу после обработки низкими концентрациями NaCl. Это явление известно под названием солевой акклимации, однако его молекулярные и физиологические основы изучены недостаточно. Мы поставили цель проследить изменения, происходящие в организме проростков арабидопсиса, при воздействии 10 mM NaCl.

В своей работе мы использовали шестидневные проростки *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Растения выращивали на питательной среде в чашках Петри при 16-часовом световом дне. Для исследования постоянного воздействия соли в питательную среду добавляли 10 mM NaCl, для изучения быстрых эффектов растения обрабатывали 10 mM NaCl в течение 1.5 ч. В обоих случаях в качестве контроля использовали соответствующую концентрацию KCl для исключения влияния осмотических эффектов и хлорид-аниона. Белковый состав растений изучали с помощью метода двумерного электрофореза с последующей MALDI-TOF – масс-спектрометрией. Морфологию эндоплазматического ретикулума

наблюдали с помощью конфокальной микроскопии с использованием проростков арабидопсиса, экспрессирующих флуоресцентный белок YFP в ЭПР.

Согласно полученным данным, в корнях растений, в течение шести дней испытывающих воздействие 10 мМ NaCl, появляется модифицированный белок PUK10/BGLU23 (BETA-GLUCOSIDASE 23). Известно, что этот белок гидролизует индольные глюкозинолаты и локализован в ЭПР-тельцах – субкомпартаментах эндоплазматического ретикулума, характерных для некоторых представителей порядка Brassicales (Nakano et al., 2017). Мы предположили, что модификация основного белка ЭПР-телец могла повлиять на структуру самих ЭПР телец. Однако, в наших экспериментах как при длительном, так и при кратковременном воздействии 10 мМ NaCl морфология ЭПР-телец не изменялась.

При обработке растений 10 мМ NaCl в течение 1.5 ч по всей видимости происходила посттрансляционная модификация белка RBP1 (PUK10 BINDING PROTEIN), которая проявлялась в изменении электрофоретической подвижности белка. Из литературы известно, что при повреждении клетки белок PUK-10 может активироваться в результате связывания с белком RBP1.

ЭПР-тельца также содержат другие специфические для них белки: MEB1, MEB2 (MEMBRANE OF ER BODY), расположенные в мембране ЭПР-телец и, возможно, выполняющие функцию переносчиков железа; NAI2, отвечающий за формирование ЭПР-телец. Экспрессия компонентов ЭПР-телец регулируется транскрипционным фактором NAI1 (Nakano et al., 2015).

Для изучения функции белков, связанных с тельцами эндоплазматического ретикулума, растения, имеющие мутации в генах, кодирующих эти белки, выращивали в течении шести дней в чашках Петри на питательной среде, содержащей 100 мМ NaCl, и подсчитывали количество проросших семян. В присутствии 100 мМ NaCl растения, не имеющие белка PUK-10, и растения, не имеющие ЭПР-телец (*nai-1*, *nai-2*), на начальных этапах прорастают быстрее по сравнению с диким типом. Растения, имеющие точечную мутацию в белке PUK-10, делающую невозможным образование дисульфидного мостика, а также растения, мутантные по белкам MEB1, MEB2, имеют пониженную всхожесть по сравнению с растениями дикого типа вне зависимости от содержания соли в среде.

Таким образом, наши результаты показывают, что проростки арабидопсиса при воздействии концентрации NaCl, вызывающей акклимацию, претерпевают изменения, связанные с компонентами эндоплазматического ретикулума. Это позволяет предположить участие этих суборганелл в формировании акклимации и ответа на повышенные концентрации соли.

ЛИТЕРАТУРА

Nakano R. T. et al. ER bodies in plants of the Brassicales order: biogenesis and association with innate immunity // Endoplasmic reticulum-shape and function in stress translation, 2015. P. 68-85.

Nakano R.T. et al. PYK10 Myrosinase Reveals a Functional Coordination between ER Bodies and Glucosinolates in Arabidopsis thaliana // The Plant Journal, 2017. Vol. 89. №. 2. P. 204-220.

Qadir M. et al. Economics of salt-induced land degradation and restoration // Natural Resources Forum, 2014. Vol. 38. №. 4. P. 282-295.

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ТАЛЛОМАХ ЛИШАЙНИКОВ (ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБА ЭКСТРАКЦИИ)

О.А. Кузиванова, О.В. Дымова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: Kuzivanova@ib.komisc.ru

В таежных лесах Республики Коми созданы благоприятные условия для произрастания лишайников, число которых составляет 866 видов (Пыстина, Херманссон, 2013). Здесь преобладают эпифиты (60% от общего числа видов), обитающие на стволах и ветвях деревьев. Эпигейные лишайники входят в состав мохово-лишайникового яруса, больше распространены в сосновых лесах. Таллом лишайника представляет собой структуру, сформированную гифами гриба, в которой располагаются клетки фотобионта (зеленые микроводоросли и/или цианобактерии). В биомассе таллома доминируют грибные гифы микобионта. На долю фотобионта приходится менее 10% биомассы. Фотобионт снабжает гриб органическим углеродом и азотом (в случае цианобактерий), микобионт создает условия для функционирования фотобионта. Маркерами фотобионта в талломах лишайников являются фотосинтетические пигменты.

Цель работы – сравнение разных способов экстракции пигментов (хлорофиллов – Хл и каротиноидов – Кар) из талломов двух видов лишайников – *Lobaria pulmonaria* L. (эпифитный) и *Cladonia rangiferina* (L.) Weber (эпигейный). Рассмотрено четыре варианта экстракции пигментов из высечек талломов (200-250 мг сырой массы). Использовали краевые зоны талломов у *L. pulmonaria* и верхушечную часть – у *C. rangiferina*.

Первый вариант экстракции (I) состоял из следующих этапов: 1) навеску растительного материала растирали в охлажденной ступке под слоем растворителя с обязательным добавлением CaCO_3

(для нейтрализации лишайниковых кислот), Na_2SO_4 (для обезвоживания); 2) экстракт центрифугировали 10 мин. при 5000 g; 3) спектры поглощения полученных экстрактов регистрировали в диапазоне 400-700 нм на спектрофотометре (Shimadzu, Япония).

Пробоподготовка по второму варианту (II) включала, дополнительно к I, предварительную стадию промывания. Образцы (кусочки таллома) помещали в пробирки с ацетоном ($V = 3$ мл) на 1 мин., процедуру повторяли пять раз. Промывание необходимо для удаления с поверхности талломов веществ, которые в ходе экстракции могли разрушить Хл и Кар. Третий вариант экстракции (III) согласно методике (Ra et al., 2005) включал стадию термостатирования при 65°C в течение 40 мин. Нагревание гомогената в диметилсульфоксиде (ДМСО) необходимо для минимизации деградации хлорофиллазы (Ronen, Galun, 1984). В четвертом варианте пробоподготовки (IV), выполненной согласно (Gaaslaa et al., 1996), время термостатирования составило 4 ч. В эксперименте наряду с четырьмя вариантами экстракции были использованы разные растворители: ацетон, смесь ДМСО:ацетон (2:1) и чистый ДМСО. Варианты с нагреванием экстракта были рассмотрены только с использованием чистого ДМСО.

Из таблицы видно, что максимальное извлечение Хл и Кар произошло при промывании талломов *L. pulmonaria* ацетоном, экстракцией ДМСО и термостатировании 4 ч при 65°C . Остальные варианты экстракции показали сходные результаты. По данным дисперсионного анализа условия экстракции статистически значимо влияли на содержание Хл *a* и Кар. Параллельно пробы, подготовленные вышеперечисленными способами экстракции (I-IV), были проанализированы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (Кнауер, Германия). В вариантах с термостатированием на хроматограммах наблюдали появление дополнительных пиков, которые принадлежат феофитинам *a* и *b*, что свидетельствует о разрушении Хл и позволяет сделать вывод о недопустимости применения нагревания при экстракции пигментов. Возрастание концентрации Хл при экстракции ДМСО, обнаруженное спектрофотометрическим методом, было связано с наложением спектров хлорофиллов и феофитина как продукта распада зеленого пигмента. По сравнению с листоватым лишайником *L. pulmonaria*, в кустистых талломах *C. rangiferina* в расчете на сухую массу содержание Хл (0.47 ± 0.06 мг/г) и Кар (0.14 ± 0.02 мг/г) было низким. Максимальное извлечение пигментов наблюдали в варианте с промыванием талломов в ацетоне и использованием экстрагента ДМСО:ацетон (2:1). Нагревание не оказало влияния на содержание Хл и Кар.

Содержание пигментов в талломах *Lobaria pulmonaria* в зависимости от способа экстракции и растворителя

Условия			Концентрация пигментов, мг/г сухой массы		
Растворитель	Промывание ацетоном	Нагревание при 65°C, t, мин.	Хл а	Хл b	Сумма каротиноидов
+	-	0	0.94±0.12	0.47±0.19	0.29±0.03
+	+	0	0.92±0.21	0.51±0.26	0.28±0.04
-	-	0	1.05±0.11	0.28±0.02	0.40±0.04
-	+	0	1.13±0.19	0.32±0.05	0.44±0.07
-	-	0	1.12±0.15	0.37±0.05	0.41±0.04
-	+	40	1.08±0.19	0.31±0.04	0.35±0.05
-	+	240	1.60±0.19	0.57±0.04	0.45±0.06
ANOVA, P			0.04	0.086	0.03

У обоих видов лишайников независимо от способа экстракции и растворителя среди каротиноидов на долю β-каротина приходилось 13-14%, лютеин составлял 42-50%, неоксантин – 10-14%, компоненты ксантофиллового цикла (зеаксантин, виолаксантин и антраксантин) – от 28 до 35%.

Установлено, что оптимальными условиями для извлечения Хл и Кар из талломов лишайников являются: 1) использование экстрагента ДМСО:ацетон = 2:1; 2) необходимость промывания талломов зависит от вида лишайника и местообитания (загрязнения, прочее); 3) экстракцию следует проводить без нагревания гомогената. С применением оптимизированного нами способа экстракции исследовано содержание фотосинтетических пигментов в талломах 21 вида лишайников (Головки и др., 2015).

Исследования выполнены в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН по направлению «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и темы НИОКТР «Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» (№ АААА-А17-117033010038-7).

ЛИТЕРАТУРА

Головки Т.К., Дымова О.В., Табаленкова Г.Н., Пыстина Т.Н. Фотосинтетические пигменты и азот в талломах лишайников бореальной флоры // Теоретическая и прикладная экология, 2015. № 4. С. 38-44.

Пыстина Т.Н., Херманссон Я. Разнообразие лишайников Республики Коми: важнейшие итоги и перспективы дальнейших исследований // Современная ботаника в России: Труды XIII Съезда Русского ботанического общества и конференции «Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна». Тольятти, 2013. Т. 1. С. 205-207.

Gaaslaa Y., Kopperud C., Solhaug K.A. Optimal quantum yield of photosystem II and chlorophyll degradation of *Lobaria pulmonaria* in relation to pH // Lichenologist, 1996. Vol. 28. P. 267-278.

Ra H.S.Y., Geiser L.H., Crang R.F.E. Effects of season and low-level air pollution on physiology and element content of lichens from the U.S. Pacific Northwest // Sci. Total Environ., 2005. Vol. 343. P. 155-167.

Ronen R., Galun M. Pigment extraction from lichens with dimethylsulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation // Environ. Exp. Bot., 1984. Vol. 24. P. 239-245.

CORTUSA MATTHIOLI L.: ВВОД В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* С ПОМОЩЬЮ СЕМЯН

Е.Н. Кузнецова

Удмуртский государственный университет

E-mail: pteris-2008@mail.ru

Для сохранения редких и исчезающих видов растений возможно использование различных методов. При использовании микрклонального размножения в качестве подобного метода важно учитывать не только биологию изучаемого вида, но и влияние стерилизующих агентов на растительный эксплант, который вводится в культуру *in vitro*. Использование семян в качестве экспланта особенно актуально для размножения редких видов растений, поскольку относительно большой объем семенного материала позволяет повысить успешность микрклонального размножения.

В качестве объекта исследования был выбран редкий вид *Cortusa matthioli* L. (сем. *Primulaceae*), занесенный в Красную книгу Удмуртской Республики (Баранова, 2012) и имеющий статус редкости 1.

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивалась лабораторная всхожесть в нестерильных условиях при различных температурных режимах и освещенности. Проращивание семян осуществлялось в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге (Международные правила..., 1984). На втором этапе исследования производился ввод семян *C. matthioli* в культуру *in vitro*. Так как в литературе (Morozowska et al., 2011) одной из особенностей строения семенной кожуры указана ее небольшая толщина, то было принято решение применить одноступенчатую

стерилизацию во избежание повреждения зародыша. Посев семян осуществлялся на питательную среду Мурасиге-Скуга без добавления фитогормонов, данная среда считается универсальной для большинства растений (Бутенко, 1999).

Семена для получения эксплантов были собраны с особей, интродуцированных в Учебном ботаническом саду Удмуртского государственного университета, и с особей из природной популяции (Глазовский район, Удмуртская Республика). Ввиду малого количества семенного материала на обоих этапах семена проращивались по 10 шт. в пятикратной повторности.

Перед началом экспериментов была проведена оценка собранных семян по морфометрическим параметрам. Семена *C. matthioli* темно-коричневые. Поверхность семян матовая, сетчатая, с редкими волосками, что может затруднить обработку стерилизующими агентами. Данные по количественным параметрам приведены в табл. 1.

Исходя из полученных данных, по количественным параметрам семена *C. matthioli* небольшого размера и легковесные, что соответствует литературным данным (Morozowska et al., 2011). Семена, собранные с интродуцированных особей *C. matthioli* в Ботаническом саду, крупнее и тяжелее по сравнению с семенами, собранными в природной популяции.

Для экспериментов первого этапа были использованы семена, собранные в Ботаническом саду. Наилучшая всхожесть в нестерильных условиях (от 46.67 ± 12.02 до $86.67 \pm 6.67\%$) наблюдалась у стратифицированных семян, при этом наибольший процент всхожести был отмечен при 16-часовом освещении, что подтверждает исследования других ученых (Петрук, Баландин, 1995). Поэтому в дальнейшем в качестве предпосевной обработки семян данного вида использовалась стратификация в течение четырех недель с последующим проращиванием на свету при 25°C .

На втором этапе использовались семена, собранные в природной популяции. Предварительно была проведена проверка жизнеспособности семян при выбранных ранее оптимальных условиях. Всхожесть составила 50.0% , что значительно меньше аналогичного показателя у семян, собранных в Ботаническом саду. Вероят-

Таблица 1
Морфологические характеристики семян *Cortusa matthioli*

Место сбора	Длина семян, мм	Ширина семян, мм	Масса 1000 семян, г
Ботанический сад	1.54 ± 0.04	0.98 ± 0.04	0.55 ± 0.01
Глазовский район	1.16 ± 0.03	0.69 ± 0.02	0.42 ± 0.01

Таблица 2

Всхожесть семян *Cortusa matthioli* в условиях *in vitro*

Вариант стерилизации (время экспозиции)	Нормально проросшие семена, %	Аномалии развития, %	Непроросшие семена, %	Зараженные семена, %
70%-ный спирт (1 мин.)	18.0±5.8	12.0±2.0	66.0±6.8	4.0±2.4
35%-ный спирт (3 мин.)	8.0±4.9	6.0±4.0	44.0±6.8	42.0±6.6
3%-ный H ₂ O ₂ (20 мин.)	0	0	0	100.0
10%-ная «Белизна» (5 мин.)	30.0±4.5	16.0±4.0	40.0±6.3	14.0±6.8
Контроль	50.0±3.2	0	50.0±3.2	0

но, разница как в количественных параметрах, так и в показателе жизнеспособности вызвана тем, что в Ботаническом саду созданы благоприятные условия для роста и развития данного вида. Далее результат проращивания семян из природной популяции был принят за контроль. Соотношение нормально развитых проростков, аномалий, а также непроросших и контаминированных семян показано в табл. 2. Наименьшее влияние на жизнеспособность семян и проростков *C. matthioli* оказывает раствор «Белизны» (всхожесть составила 30.0%), однако при этом отмечается высокий процент аномалий – 16.0% (остановка в развитии, отсутствие нормально сформированной корневой системы). 3%-ный раствор перекиси водорода оказался наименее эффективным стерилизующим агентом, вероятно, вследствие особенностей семенной поверхности – все семена в данном варианте стерилизации оказались контаминированными.

Таким образом, для проращивания семян редкого растения *Cortusa matthioli* оптимальным вариантом предпосевной подготовки является стратификация и дальнейшее проращивание на свету. Применение различных стерилизующих агентов при вводе в культуру *in vitro* оказывает влияние на развитие проростков, приводит к появлению аномалий. Влияние стерилизующих агентов на прорастание семян и дальнейшее развитие проростков следует учитывать в подборе стерилизующих агентов с целью успешного ввода в культуру семян *Cortusa matthioli*.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранова О.Г. Коргуза Маттиоли – *Cortusa matthioli* L. // Красная книга Удмуртской Республики. Чебоксары: Перфектум, 2012. С. 335.
- Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнология на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
- Международные правила анализа семян. М.: Колос, 1984. 310 с.
- Петрук Т.В., Баландин С.А. Коргуза Маттиоли // Биологическая флора Московской области. М.: Изд-во МГУ, Изд-во «Аргус», 1995. Вып. 11. С. 192-198.

Morozowska M., Czarna A., Kujawa M., Jagodzinski A. Seed morphology and endosperm structure of selected species of Primulaceae, Myrsinaceae and Theophrastaceae and their systematic importance // Plant systematics and evolution., 2011. Vol. 291. Issue 3-4. P. 159-172.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ МЕТОДОМ НАТИВНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

М.В. Кырнышева¹, К.В. Ермолина², Е.В. Гармаш²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Супероксиддисмутаза (СОД) – важный антиоксидантный фермент, катализирующий реакцию восстановления супероксидрадикала ($O_2^{\cdot-}$) до H_2O_2 . Супероксидрадикал является наиболее опасной активной формой кислорода (АФК), особенно для мембранных структур. В растениях существует три изоформы СОД в зависимости от типа переходного металла, который является кофактором активного центра фермента. Эти формы имеют различную клеточную локализацию. Cu/Zn-СОД локализована в цитоплазме, хлоропластах и пероксисомах, Mn-СОД – в митохондриях, тогда как Fe-СОД – в хлоропластах.

Современным методом определения активности, количества и идентификации различных форм СОД является нативный электрофорез в полиакриламидном геле (ПААГ). Нативный электрофорез, в отличие от денатурирующего, позволяет разделять белки в нативной (природной) форме, сохраняя их активность. В нашей работе мы использовали метод нативного электрофореза для определения активности СОД и изучили, как этот метод позволяет решать научные задачи.

Цель работы – исследовать активность СОД в растениях при изменении внутренних и внешних факторов методом нативного электрофореза. Для этого были получены электрофореграммы на присутствие белка СОД и его ферментативной активности в листьях растений арабидопсиса, проведена идентификация разных изоформ СОД ингибиторным методом, изучено влияние УФ радиации на активность СОД в листьях разных мутантных линий арабидопсиса.

Объект наших исследований – растения арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) дикого экотипа (экотип Columbia-0) и мутантных линий – линии XX-2, трансформированные конструкцией, экспрессирующей ген АОХ1а в сенсовой ориентации (со сверхэкспрессией), и линии AS-12, трансформированные кон-

струкцией, экспрессирующей АОХ1а в антисенсовой ориентации под контролем промотора CaMV35S) (Umbach et al., 2005). АОХ1а – это один из генов, кодирующий альтернативную оксидазу (АОХ) – белок-переносчик электронов в митохондриальной электрон-транспортной цепи (мЭТЦ). В мЭТЦ АОХ может принимать электроны сразу с пула убихинона и передавать их на кислород с образованием воды, тем самым снижается вероятность образования $O_2^{\cdot-}$. АОХ играет важную роль в защите клетки от окислительного стресса.

Выращивание арабидопсиса осуществляли в почвенной культуре на универсальном грунте в условиях климатической камеры (Binder, Германия) (Т +22 °С, влажность 70%, фотопериод 16 ч, освещенность 65-80 мкмоль/м² с ФАР). Часть трехнедельных растений экспонировали к УФ облучению. УФ – один из глобальных экологических факторов, в повышенных дозах негативно влияющий на наземные экосистемы. В эксперименте доза диапазона УФ-А и УФ-В составляла 38 и 0.5 кДж/м² в сутки, что соответствовало уровню УФ облучения в ясный солнечный день.

Для проведения электрофореза растительный материал гомогенизировали в среде выделения, содержащей 100 мМ трицина (рН 8), полученный экстракт центрифугировали, супернатант использовали для проведения нативного электрофореза. Электрофорез проводили в блоках ПААГ (12.5%), в котором ДДС-На отсутствовал, используя прибор для электрофореза Mini-PROTEAN Tetra System (Bio-Rad, США). Анализируемые белки наносили на гель в количестве 30 мкг на трек. Электрофорез проводили при напряжении 180 В. Все процедуры проводили при 4 °С.

Активность СОД определяли по способности фермента ингибировать фотохимическое восстановление тетразолиевого нитросинего (NBT) согласно Beauchamp and Fridovich (1971). Для ингибирования Cu/Zn-СОД и Fe-СОД в окрашивающий буфер добавляли 5 мМ H_2O_2 . Селективное ингибирование Cu/Zn-СОД происходило при инкубации гелей в буфере, содержащем 3 мМ KCN. Количественное содержание фермента определяли с помощью программы Quantity One 4.6.9. (Bio-Rad, США). Активность СОД выражали в относительных единицах. Содержание $O_2^{\cdot-}$ в образцах измеряли спектрофотометрически по способности $O_2^{\cdot-}$ восстанавливать NBT согласно Chaitanya, Naithani (1994).

С помощью нативного электрофореза были получены электрофореграммы с разными формами СОД (рис. 1). Согласно электрофореграмме, листья арабидопсиса содержали четыре фракции или изоформы СОД. Ингибиторный анализ показал, что верхняя фракция представлена двумя изоформами Mn-СОД, средняя – фракцией Fe-СОД, нижняя – Cu-/Zn-зависимой СОД.

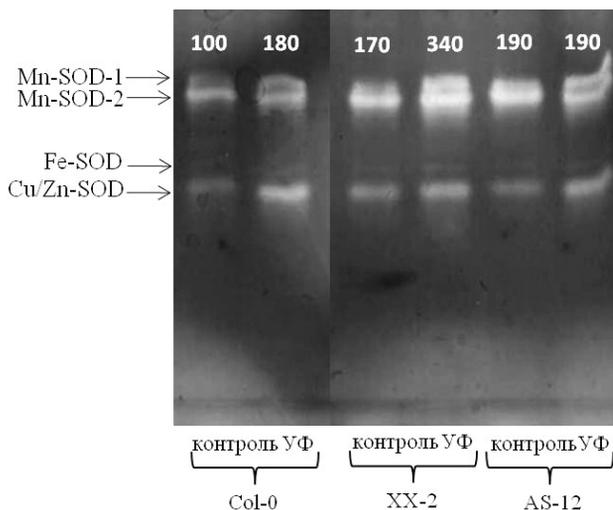


Рис. 1. Влияние УФ радиации на активность СОД в листьях растений арабидопсиса разных мутантных линий. Представлены данные изоферментного анализа СОД после нативного фореза и обработки изображений с помощью программы Quantity One 4.6.9 software (Bio-Rad, США).

Листья растений антисенсовой линии AS-12 имели самую высокую активность митохондриальной Mn-СОД независимо от воздействия УФ. Это можно расценивать как компенсаторный эффект усиления антиоксидантной активности при отсутствии АOX1a в геноме и АOX в мЭТЦ (Umbach et al., 2005). В ответ на действие УФ усиливалась активность СОД, особенно Mn-СОД, в листьях дикого типа и линии XX-2. Содержание $O_2^{\cdot-}$ в образцах было стабильным среди разных линий арабидопсиса и при действии УФ (рис. 2). Это свидетельствовало об эффективной работе антиоксидантной системы, включая СОД, в разных мутантных линиях в нормальных условиях роста и при действии УФ.

Таким образом, методом нативного электрофореза в ПААГ получены электрофореграммы разных изоформ СОД, позволяющие судить о количестве и активности фермента. Уровень экспрессии гена АOX1a определял формирование защитных механизмов в процессе адаптации проростков арабидопсиса к УФ облучению. Увеличение активности СОД при стабильном уровне супероксида в листьях арабидопсиса свидетельствовало об эффективном функционировании клеточной антиоксидантной системы.

Авторы благодарят В.И. Тарасенко и О.И. Грабельных (СИФИБР СО РАН, Иркутск) за любезно предоставленные семена

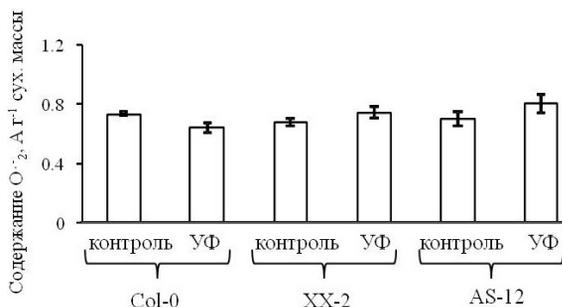


Рис. 2. Влияние УФ на содержание супероксида в листьях растений арабидопсиса разных мутантных линий. Даны средние и их ошибки ($n = 6-7$).

мутантов арабидопсиса (NASC, Великобритания); Р.В. Малышева (ИБ Коми НЦ УрО РАН) за техническое содействие при проведении эксперимента.

Работа выполнена в рамках НИОКТР «Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» (2017-2019 гг.), Рег. № АААА-А17-117033010038-7.

ЛИТЕРАТУРА

Beauchamp C.O., Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels // *Anal. Biochem.*, 1971. Vol. 44. P. 276-287.

Chaitanya K.S.K., Naithani S.C. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss of viability in seeds of *Shorea robusta* Gaertn. f. // *New Phytol.*, 1994. Vol. 126. P. 623-627.

Umbach A.L., Fiorani F., Siedow J.N. Characterization of transformed *Arabidopsis* with altered alternative oxidase levels and analysis of effects on reactive oxygen species in tissue // *Plant Physiol.*, 2005. Vol. 139. P. 1806-1820.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ УФ-В РАДИАЦИИ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПЕРВОГО ЛИСТА ПШЕНИЦЫ

Р.В. Малышев, М.А. Шелякин
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: malrus@ib.komisc.ru

Растения, как автотрофные организмы, благодаря фоторецепции способны оценивать качество и количество падающей фотосинтетически активной радиации. Физиологически наиболее важными являются синяя и красная области спектра. Рецептором

красного света является фитохром, он ответственен за этиоляцию и деэтиоляцию, избегание тени, прорастание семян, регуляцию внутренних часов растений и циркадных ритмов (Franklin et al., 2010; Rockwell et al., 2010). Рецепцию в области синего света осуществляют криптохром и фототропин (Christie et al., 2007; Liu et al., 2011). Незначительную часть солнечного спектра занимает ультрафиолетовое излучение. Действие на растительный организм УФ радиации зависит от интенсивности и длины волны. Различают коротковолновую УФ-С радиацию (100-280 нм), средневолновую УФ-В радиацию (280-320 нм) и длинноволновую УФ-А радиацию (320-398 нм).

Особый интерес представляет изучение эффектов на растения высокоэнергетических фотонов УФ-В радиации. Они представляют собой потенциально повреждающие факторы среды, способные индуцировать деструктивные реакции в ДНК и белках, вызывая цитотоксические стрессовые эффекты у растений. При низких интенсивностях УФ-В излучение служит регуляторным сигналом, который специфически воспринимается и используется растениями для активации различных физиологических процессов, а также акклиматизации и развития растений на солнечном свету. Сравнительно недавно был открыт белок UVR8, который является селективным рецептором фотонов УФ-В диапазона (Rizzini et al., 2011). По нашим данным среднесуточная доза УФ-В радиации в подзоне средней тайги в июле составляет около 90 кДж.

Целью данной работы было изучить влияние малой дозы УФ-В радиации на жизнедеятельность проростков яровой пшеницы. Для этого проводили измерения энергетического баланса, соотношения дыхательных путей и скорости роста растений.

Проростки пшеницы (сорт Иргина) выращивали в лабораторных условиях при температуре 22-25 °С, интенсивности ФАР 150 мкмоль/м²с и фотопериоде 12 ч. В качестве источника ультрафиолетового излучения использовали люминесцентные лампы ЛЭР-40М. Эксперименты проводили по следующей схеме: с четвертых по седьмые сутки от прорастания проростки пшеницы облучали ежедневно УФ-В мощностью 0.6 Вт в течение 60 мин. Суточная доза составляла около 2 кДж. Контрольная группа растений действию УФ не подвергалась.

Влияние УФ-В на проростки оценивали по морфометрическим показателям, скорости CO₂-газообмена, который изучали с помощью газоанализатора Li-7000 (Li-cor, США). Скорости теплопродукции и количество запасаемой энергии определяли на микрокалориметре Биотест-2 (Пушино, Россия). Интенсивность дыхания и отдельных дыхательных путей оценивали по поглощению O₂ (по-

лярографическая система Oxytherm, Великобритания) в присутствии специфических ингибиторов цитохромоксидазы и альтернативной оксидазы. Все измерения проводили при 20 °С.

Растения, как и все живые организмы, при действии стрессора вынуждены направлять внутренние резервы на адаптацию и поддержание гомеостаза. Сравнение проростков контрольной и экспериментальной группы по морфометрическим показателям (длина побега, удельная поверхностная плотность и накопление сухой массы первого листа) не выявило значимых различий между вариантами.

Известно, что наибольшую чувствительность к УФ радиации проявляет фотосинтетический аппарат. Оценка фотосинтетической способности выявила незначимое снижение скорости поглощения CO_2 у первого листа проростков, получивших дозу УФ-В около 9 кДж. Скорость ассимиляции при интенсивности ФАР 1500 мкмоль/м²с составляла 25-30 мг CO_2 /г сухой массы ч у контрольных проростков и 20-25 мг CO_2 /г сухой массы ч – у проростков в опыте.

Результаты калореспиromетрических измерений показали, что УФ-В радиация в дозе 2 кДж/сут. не приводила к изменению энергетического баланса листа. Максимальное запасание энергии на рост, около 12 мкВт/мг сухой массы, было отмечено на пятые сутки. Скорость роста, оцениваемая в эквивалентах энергии, закономерно снижалась по мере старения первого листа у обоих вариантов.

Более детальное изучение дыхательного метаболизма с применением метода специфических ингибиторов показало, что общая скорость поглощения O_2 листом проростков, облученных УФ, увеличивалась по мере накопления дозы, а на восьмые сутки, в период релаксации, общее дыхание снижалось. Увеличение интенсивности поглощения O_2 проростками, которые получали УФ, было обусловлено главным образом повышением интенсивности энергетически малоэффективного альтернативного пути транспорта электронов. Расчет соотношения активностей цитохромного и альтернативного путей ($V_{\text{cyt}}/V_{\text{alt}}$) показал, что в листе проростков контрольной группы величина данного соотношения была около 2, а в варианте с воздействием УФ значение данного соотношения равнялось примерно 1. Это указывает на сдвиг дыхательного метаболизма первого листа проростков в сторону энергетически малоэффективного альтернативного пути дыхания под действием малых доз УФ радиации диапазона В. При этом интенсивность транспорта электронов по основному цитохромному пути в опытном варианте также оставалась на довольно высоком уровне.

Можно полагать, что выявленное нами увеличение доли альтернативного пути транспорта электронов является проявлением специфической реакции проростков на действие низкой дозы УФ-В.

Таким образом, нами установлено, что воздействие низкой дозы высокоэнергетических фотонов УФ-В на начальном этапе онтогенеза не оказывает значимого эффекта на морфометрические показатели первого листа пшеницы. По мере накопления дозы УФ-В около 9 кДж проявляется тенденция к снижению поглощения CO_2 . Воздействия УФ-В в дозе 2 кДж/сут. не приводило к изменению количества диссипируемой и запасаемой энергии в листе пшеницы в сравнении с контролем. Специфическая реакция на действие малых доз UV-B проявилась в изменении соотношения дыхательных путей в листе пшеницы в сторону увеличения альтернативного, энергетически малоэффективного пути дыхания, но значительного снижения доли основного цитохромного пути не наблюдалось.

Исследования выполнены в рамках темы НИОКТР «Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» (№ АААА-А17-117033010038-7).

ЛИТЕРАТУРА

Franklin K.A., Quail P.H. Phytochrome functions in Arabidopsis development // J. Exp. Bot., 2010. Vol. 61. P. 11-24.

Rockwell N.C., Lagarias J.C. A brief history of phytochromes // *Chemp-hyschem.*, 2010. Vol. 11. № 6. P. 1172-1180.

Liu H., Liu B., Zhao C. et al. The action mechanisms of plant cryptochromes // *Trends Plant Sci.*, 2011. Vol. 16. P. 684-691.

Christie J.M. Phototropin blue-light receptors // *Ann. Rev. Plant Biol.*, 2007. Vol. 59. P. 21-45.

Rizzini L., Favory J.J., Cloix C. et al. Perception of UV-B by the Arabidopsis UVR8 protein // *Science*, 2011. Vol. 332. P. 103-106.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

В.В. Мартынов

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: vla.martynov2017@yandex.ru

В Республике Коми действуют несколько молочных предприятий. Молочная сыворотка, образующаяся в результате их деятельности, в ряде случаев недостаточно полно собирается и перерабатывается, зачастую попадает в сточные воды, нанося определен-

ный вред окружающей среде. Вместе с тем расчеты показали, что тонна молочной сыворотки, слитая в сточные воды, загрязняет водоем так же, как 100 м³ хозяйственно-бытовых стоков. Все это доказывает необходимость и целесообразность организации полного сбора и переработки молочной сыворотки и других молочных продуктов. Молочная сыворотка характеризуется как полноценная среда, содержащая все необходимые элементы питания для различных микроорганизмов. Например, на сыворотке могут расти представители из рода *Streptococcus*. Из микробактерий – *Microbacterium lacticum*. Также могут встречаться и психрофильные группы родов *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* (Залашко, 1990).

Основная проблематика при выращивании больших объемов микробных препаратов – применение дешевых питательных сред. К примеру, для выращивания микроорганизмов-нефтедеструкторов применяют мелассу – отход сахарного производства (Нуртдинова, 2005). Но сезонность производства и проблема доступности ее для ряда северных и восточных регионов России создают трудности в бесперебойном снабжении сырьем. Поэтому целесообразно было провести оценку более доступных питательных веществ для организации биотехнологического цикла.

Целью данной работы являлась разработка комплексной технологии переработки творожной сыворотки, в том числе для применения в качестве питательной среды для микроорганизмов-нефтедеструкторов. Для этого на Сыктывкарском молочном заводе была приобретена сыворотка, образующаяся при изготовлении обезжиренного творога. Также из Института биологии Коми НЦ был получен штамм микроорганизма-нефтедеструктора: дрожжи *Rhodotorula glutinis* ВКМ Y-2993D.

Эксперимент № 1. Оценка творожной сыворотки в качестве питательной среды для дрожжевой культуры.

На сыворотке культивировали штаммы микроорганизмов *Rhodotorula glutinis* ВКМ Y-2993D. Посев микроорганизмов осуществляли в жидкую питательную среду с помощью дозатора. После засева инокулята (среда Чапека с титром $4 \cdot 10^7$) колбы устанавливали на шейкер (300 об./мин.) и выращивали при комнатной температуре в течение 9 сут. Подсчет количества клеток проводили с помощью камеры Горяева. Рост дрожжевой культуры оценивали на четырех средах: среде Чапека с сахарозой; среда Чапека с лактозой; обезжиренная сыворотка без микроэлементов; обезжиренная сыворотка с микроэлементами.

Выявлено, что на среде Чапека с сахарозой дрожжевая культура показывает стабильный рост. Через девять дней численность

дрожжевых клеток на среде Чапека с сахарозой составила $2 \cdot 10^7$ клеток в 100 см^3 культуральной жидкости. В то же время на модифицированной среде Чапека с лактозой рост отсутствовал. Количество клеток для сыворотки без микроэлементов через девять дней составило $4 \cdot 10^7$ клеток в 100 см^3 культуральной жидкости, в то же время на сыворотке с добавлением микроэлементов через девять дней количество составило $4.5 \cdot 10^7$ клеток.

Различные показатели роста в сыворотках могут быть связаны с тем, что дрожжевая культура в качестве источника углерода используют для роста остатки жиров и белков в сыворотке. Внесение дополнительных микроэлементов позволяет усилить рост микроорганизмов и способствует набору большей биомассы. Сыворотка без микроэлементов показывала быстрый рост в течение 2 сут., после чего темпы роста стали заметно снижаться, выход на плато произошел на 7-е сут. Сыворотка с микроэлементами показывала стабильный рост на протяжении всего эксперимента, выход на плато произошел также на 7-е сут., но количество клеток по сравнению с другими вариантами было больше всего.

Эксперимент № 2. Комплексная переработка сыворотки.

С целью более полного извлечения полезных компонентов сыворотки (в частности, сывороточного белка) провели термическую коагуляцию сывороток. С помощью центрифугирования был выделен белковый продукт массой порядка 6.0-6.5 г (по воздушно-сухой массе) с 1 л сыворотки. Данный компонент сыворотки может быть применен в качестве кормовой добавки в животноводческих предприятиях, производстве спортивных напитков и кисломолочных продуктов или в микробиологических средах. Выращивание *Bifidumbacterium longum* на переработанной сыворотке проводили с целью более полной конверсии лактозы, которую не могут усваивать применяемые нами микроорганизмы-нефтедеструкторы. В результате роста молочнокислых бактерий концентрация лактозы в 100 см^3 сыворотки снизилась с 4 г до 10 мг. Количество клеток *Bifidumbacterium longum* через шесть дней достигло $2 \cdot 10^{10}$ в 100 см^3 . В дальнейшем полученную биомассу молочнокислых бактерий после автолиза можно использовать как замену в мясо-пептоновых средах при выращивании бактерий-нефтедеструкторов *Pseudomonas*.

Таким образом, результаты исследований показали, что сыворотка является подходящей питательной средой для выращивания дрожжей-нефтедеструкторов рода *Rhodotorula*. Путем термической коагуляции можно выделить ценные белковые продукты.

После коагуляции и выделения белкового продукта сыворотка может быть использована в качестве питательной среды для мо-

лочнокислых бактерий. Разработанные способы переработки сыворотки могут уменьшить нагрузку на окружающую среду, причиняемую из-за сбросов сыворотки в сточные воды.

ЛИТЕРАТУРА

Залашко М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. М.: Агропромиздат, 1990. 192 с.

Нуртдинова Л.А. Исследование процессов ремедиации нефтезагрязненных природных объектов с использованием биопрепарата «Ленойл»: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2005.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В БИОТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ

Ж.Л. Пантюхина, Е.М. Анчугова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: zpantuyuxina@mail.ru

На предприятиях лесопромышленного комплекса Российской Федерации ежегодно образуется порядка 35 766.3 тыс. м³ древесных отходов (Колесникова, 2013). Эффективность вовлечения отходов производства в хозяйственный оборот доказана многолетней практикой разных стран. Древесные и технологические отходы используются в основном для получения пара и электроразности. Однако, в последние десятилетия стали активно использоваться отходы в качестве сорбентов для очистки нефтезагрязненных объектов (опилки, стружка, зола, корьевые отходы).

Лесопромышленный комплекс в Республике Коми является одним из базовых элементов экономики. По выпуску промышленной продукции ЛПК занимает второе место после топливно-энергетического (Министерство промышленности..., 2010). Одним из видов отходов, образующихся в результате производства, является обезвоженный осадок активного ила. Он представляет собой избыток искусственно выращенного биоценоза при аэрации антропогенно загрязненных вод, а после термической модификации и высушивания – гидрофобный сорбент (Солодкова, 2014). Ежегодный вывоз обезвоженного осадка активного ила на полигоны составляет 30 тыс. т. Одним из возможных вариантов его утилизации является использование осадка в качестве матрицы для иммобилизации углеводородокисляющих культур микроорганизмов.

В результате ранее проведенных исследований был сконструирован Биосорбент на основе обезвоженного осадка активного ила и углеводородокисляющих организмов (Щемелинина, Маркарова,

2014; Пантюхина, Тарабукин, 2015). Задача последующих экспериментов состояла в проверке сорбционных свойств Биосорбента и оценке эффективности применения его для очистки нефтезагрязненных вод.

Сорбционные и деструктивные способности Биосорбента оценивали по результатам модельных экспериментов.

Модельный эксперимент 1. В экспериментальные стаканы на 250 см³ наливали 100 см³ водопроводной воды, добавляли 50 мг нефти, вносили обезвоженный осадок активного ила (Сорбент) и Биосорбент. Сорбция нефтепродуктов происходила в течение 1-2 мин.

Степень удержания нефти массой Сорбента в маслоуловителе составила 86-97%, Биосорбента – 68-89%.

Модельный эксперимент 2. В экспериментальные колбы на 250 см³ наливали дистиллированную воду по 100 см³, минеральные соли (NaNO₃, MgSO₄, KCl, KH₂PO₄) и сахарозу, стерилизовали и добавляли по схеме опыта нефть (табл. 1), Сорбент, Биосорбент.

По окончании эксперимента (через 7 сут.) определяли остаточное содержание нефтепродуктов (НП) как в воде, так и в самой биомассе Сорбента и Биосорбента по методике определения массовой концентрации нефтепродуктов гравиметрическим методом, ПНД Ф 14.1:2.

При суммировании количественного содержания остаточных углеводов в модельной воде и образовавшейся биопленке степень разложения НП выше в варианте с внесением Биосорбента и

Таблица 1

Схема модельного эксперимента

Вариант	Среда эксперимента	Внесенный агент
1	Дистиллированная вода, минеральные соли, нефть 5 см ³ /100 см ³ воды	Отсутствует (контроль)
2		Сорбент
3		Биосорбент

Таблица 2

Содержание нефтепродуктов в образцах, г/дм³

Образец	Содержание нефтепродуктов, г/дм ³
Контроль (модельная вода, загрязненная нефтью)	3345
Биосорбент	
Водная часть	228
Биомасса	2984
Сорбент	
Водная часть	501
Биомасса	2577

в целом составляет 18% от исходного загрязнения. В варианте с внесением Сорбента степень очистки в 1.4 раза ниже и составляет 13% от контроля, что говорит о деструктивной способности по отношению к НП иммобилизованного на сорбенте альго-бактериально-дрожжевого консорциума.

Исходя из полученных данных, можно прийти к выводу, что наиболее эффективным деструктором нефти является сорбент на основе обезвоженного осадка активного ила и иммобилизованных на нем микроорганизмов.

В результате исследований разработан Биосорбент на основе отходов лесопромышленного производства с иммобилизованными на нем нефтеокисляющими микроорганизмами. Биосорбент проявляет высокие сорбционные свойства и в последующем в нем происходит деструкция сорбированных нефтепродуктов с помощью микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России / Экономика природопользования, 2013. С. 117.

Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах вод методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием. ПНД Ф 14.1:2.116-97.

Министерство промышленности и энергетики республики Коми. Основные направления развития лесопромышленного комплекса Республики Коми на 2010-2015 гг. и на период до 2020 г.

Солодкова А.Б. Обезвреживание отработанного активного ила с получением материалов для решения экологических проблем химических и нефтехимических предприятий: Дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2014. 160 с.

Пантюхина Ж.Л., Тарабукин Д.В. Микроорганизмы и сорбенты в очистке сточных вод / Актуальные проблемы биологии и экологии. Сыктывкар, 2015. 272 с.

Щемелинина Т.Н., Маркарова М.Ю., Злобина Н.В., Пантюхина Ж.Л. Биопрепарат «Универсал» и микроводоросли в условиях углеводородного загрязнения // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова, 2014. Т. 10. С. 18-22.

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АССОЦИАЦИЙ МИКРОБИОТЫ В БИОМАССУ ЛИПИДНЫХ МЕТАБОЛИТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА БИОТОПЛИВА

А.А. Чепурко, Н.В. Матистов

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: *chepurko.aleksandr.89@mail.ru*

Среди отходов, образующихся на предприятиях, наиболее экологически опасными являются нефтешламы, которые представляют собой весьма устойчивую трехкомпонентную систему: твердое–масло–вода, стабилизированную присутствием газообразной фазы – продуктов биологического разрушения органических веществ.

Угрожающий рост нефтешламных отходов ведет к отчуждению земельных ресурсов на длительные сроки, что приводит к потере ценных земель, проникновению токсичных веществ в почвы, водные горизонты, сокращению рекреационных территорий. Вот некоторые цифры:

- доля нефтешламов в России, по разным оценкам, может достигать 5-8% от объема годовой добычи нефти;
- количество образующихся нефтешламов постоянно увеличивается и составляет 5-7 т на 1 тыс. т перерабатываемой нефти;
- ежегодное образование нефтешламов в Республике Коми – от 15 до 40 тыс. т.

В основном, биологические методы направлены либо на усиление процессов деградациии остаточных нефтепродуктов с утратой энергетического ресурса, либо переработку нефтешламов, основанную на извлечении материального и энергетического потенциала отходов, что носит небиологический характер, а предлагаемые способы переработки (физические, механические, химические, термические, ультразвуковые) полностью не утилизируют нефтяные отходы и являются дорогостоящими. Получение вторичного энергетического сырья – биодизеля – путем биотрансформации углеводов в составе нефтешламов может быть перспективным решением двух проблем: энергетической и экологической. Нами предложена идея накопления (культивирования) биологической массы на конкретных отходах нефтегазовой промышленности – жидких нефтяных шламах с целью получения вторичного сырья – биодизеля. Помимо получения биодизеля параллельно решится проблема биоремедиации загрязненных нефтешламами объектов.

Экспериментальная база – Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Цель нашей работы – разработать комплексную технологию биотрансформации нефтяных шламов с применением ассоциаций микроорганизмов (бактерии, дрожжи, микроводоросли) в биомассу липидных метаболитов, используемых в качестве источника биотоплива. В задачи работы входит:

1) наработка биомассы микроорганизмов в искусственно созданных системах с целью получения биотоплива;

2) количественное и качественное определение липидного состава в наработанной биомассе;

3) выявление перспективных видов микробных ассоциаций для создания биодизеля в изучаемых биосистемах.

Конечным продуктом будет биодизель, полученный в процессе культивирования биомассы микроорганизмов на жидких нефтяных шламах или нефтезагрязненных водных объектах.

В качестве объектов исследования были взяты дерново-подзолистая почва, нефть, биомасса микроорганизмов (дрожжей – родоторула, бактерий – псевдомонас и микроводорослей – хлорелла глобоза). Все штаммы депонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов в г. Пущино.

Почву загрязняли нефтью в количестве 30% от массы, заливали стерильной водопроводной водой в количестве 1 л, добавляли по схеме опыта: минеральные удобрения во все варианты, кроме контроля, в пробу 2 добавляли биомассу бактерий и дрожжей, в пробу 3 – биомассу микроводорослей и в пробу 4 – биомассу альго-бактериально-дрожжевого консорциума и аэрировали при комнатной температуре в течении 90 сут. Все варианты были в трех повторностях. Содержание липидов определяли в водной части через 3, 30 и 90 сут.

Метилловые эфиры жирных кислот получали по методу К.М. Синяка с соавторами. После подготовки проб они были переданы в экоаналитическую лабораторию для проведения хромато-масс-спектрометрического анализа. Определение насыщенных кислот, содержащихся в липидных метаболитах микробиоты, было проведено к.б.н. И.В. Груздевым, за что выражаю огромную благодарность.

Цетановое число (ЦЧ) – основной показатель воспламеняемости дизельного топлива. Чем выше ЦЧ, тем более спокойное и плавное горение дизельного топлива, которое обеспечивает высокие мощностные и экономические показатели работы двигателя. Оптимальную работу современных дизельных двигателей обеспечивают дизельные топлива с ЦЧ от 45 до 55. Согласно российским стандартам, ЦЧ летнего и зимнего дизтоплива должно быть не ме-

нее 48 единиц. В требованиях европейских стандартов установлена минимальная граница данного показателя ЦЧ – 51. Содержание пальмитиновой кислоты определяет цетановое число. Чем выше сумма содержания пальмитиновой и стеариновой кислот, тем выше качество биодизеля.

Итак, содержание пальмитиновой кислоты в системах загрязненная почва–вода–минеральные удобрения и загрязненная почва–вода–минеральные удобрения–бактериально-дрожжевой комплекс) составило от 46.8 до 55%, что обеспечивает нормы по ЦЧ. Суммарное содержание пальмитиновой и стеариновой кислот невысокое, т.е. получаемый биодизель нельзя отнести к премиальному. Для накопления пальмитиновой кислоты до норм по ЦЧ нет необходимости вносить в систему альго-бактериально-дрожжевой комплекс, достаточно стимулировать местную микробиоту внесением минеральных удобрений или внести биомассу бактерий и дрожжей.

РЕЗОЛЮЦИЯ
XXIV ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(С ЭЛЕМЕНТАМИ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ)
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»,
ПОСВЯЩЕННОЙ 55-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ
Сыктывкар, 3-7 апреля 2017 г.

XXIV Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 3 по 7 апреля 2017 г. Конференция собрала студентов, аспирантов, сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, участвующих в научно-исследовательской работе в области биологии и экологии. Основная цель конференции заключалась в создании условий для общения молодых исследователей с целью обмена опытом, поиска новых идей, в предоставлении им возможности обсудить в кругу квалифицированных специалистов результаты своих научных исследований. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института, ФАНО России и ООО «Агентство Химэксперт» (г. Москва).

В работе конференции приняли участие 110 человек, из них большая часть – молодые ученые Института биологии, 12 – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара (Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкарский лесной институт), остальные участники прибыли из других городов России. Они представляли Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН (г. Архангельск), Архангельский областной институт открытого образования (г. Архангельск), Вологодский государственный университет (г. Вологда), Удмуртский государственный университет (г. Ижевск), Казанский (Поволжский) федеральный университет (г. Казань), Балтийский федеральный университет им. И. Канта (г. Калининград), Вятский государственный университет (г. Киров), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Институт систематики и экологии животных СО РАН (г. Ново-

сибирск), Институт биологии Карельского НЦ РАН (г. Петрозаводск), Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург), Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург), Сахалинский государственный университет (г. Южно-Сахалинск).

Среди участников – пять докторов наук, более 30 кандидатов наук разных специальностей, 10 аспирантов и 28 студентов.

На конференции озвучены 75 докладов, в том числе пять пленарных. На пленарной сессии прозвучали лекции приглашенных специалистов в области биотехнологии и молекулярной биологии, чьи исследования широко известны и высоко оценены во всем мире. Чл.-корр РАН., д.б.н. Е.А. Бонч-Осмоловская дала характеристику термофильным микроорганизмам с точки зрения современных представлений об их природе, распространении, метаболическом разнообразии и применении в биотехнологии. В докладе д.б.н., проф. К.В. Северинова были освещены молекулярно-генетические аспекты адаптивного иммунитета бактерий. Пленарные доклады сделали специалисты Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Моделирование географических пределов распространения борщевика Сосновского было рассмотрено в сообщении к.б.н. И.В. Далькэ. Данные о температурном состоянии почв в таежно-тундровом геоэкоптоне представлены в докладе к.б.н. Д.А. Каверина. Охарактеризовала состояние экологической биотехнологии в Республике Коми к.б.н. Т.Н. Щемелинина.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» прозвучало 13 докладов, которые были посвящены выявлению разнообразия водорослей, грибов, лишайников и сосудистых растений, изучению жизненных форм модельных видов растений, классификации растительности, проблемам интродукции и сохранения редких видов растений.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» озвучены 15 докладов по вопросам биологии, таксономического состава и экологии различных групп водных организмов, проблемам видовой индентификации групп организмов, комплексов почвенных и наземных беспозвоночных, а также миграции птиц на европейском северо-востоке России.

Проблемы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем были затронуты в одноименной секции (15 докладов). Молодые ученые представили результаты исследований морфологии, физико-химических свойств и температурного режима почв, влияния на них хозяйственной деятельности человека и природных факторов, последствий загрязнения почвенного покрова поллютантами различной природы, осо-

бенностей функционирования микробиоты почвы и закономерностей эмиссии парниковых газов с ее поверхности.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (19 докладов) и «Морфолого-физиологические и молекулярно-генетические аспекты влияния экологических факторов на организмы» (шесть 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.

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

В рамках конференции проведены четыре мастер-класса с экскурсиями в лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН, экскурсии в музеи других Институты Коми НЦ УрО РАН.

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:

Институту биологии Коми НЦ УрО РАН издать материалы докладов, представленных на XXIV Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии», тиражом 150 экз.

Совету молодых ученых разместить электронную версию материалов докладов на сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН и в базе данных РИНЦ (<http://elibrary.ru>).

Провести XXV Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2018 г.

Продолжить практику проведения мастер-классов с экскурсиями в лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН, способствующих повышению квалификации молодых ученых, во время XXV Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии»

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН, ФАНО России, ООО «Агентство Химэксперт» за помощь и финансовую поддержку при проведении конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Секция 1. Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира	6
Аганина Ю.Е. Изменчивость биохимических показателей и поврежденность деревьев разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения почв	6
Игнашов П.А. Структура растительного покрова мелкоконтурных болот средней тайги в Карелии	10
Каганов В.В., Ежкин А.К. Особенности видовой структуры лишайников <i>Populus maximowiczii</i> A. Henгі в городе Южно-Сахалинск и его окрестностях	12
Карелина Е.Д. Первые сообщения о мучнисторосяных грибах города Екатеринбурга	15
Леострин А.В. Роль болот в сложении региональной флоры (на примере Костромской области)	18
Макарова А.В., Стерлягова И.Н., Шабалина Ю.Н. Первые сведения о водорослях (исключая Bacillariophyta) горных озер окрестностей горы Хальмерсале (бассейн реки Щугор, северный Урал)	21
Михайлова Е.А., Савиных Н.П. Строение побеговых систем <i>Eleocharis palustris</i> (L.) R. Br. с позиции модульной организации	24
Постельный Д.А., Шабалина Ю.Н., Стерлягова И.Н. Первые данные о водорослях горного ручья окрестностей горы Хальмерсале (северный Урал, национальный парк «Югыд ва») ...	27

Пунегов А.Н. Редкие виды рода кизильник (<i>Cotoneaster medic.</i>) в коллекции ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН	30
Сабиров Р.Н., Шеварденко Н.В. Сообщества кедрового стланика на острове Сахалин и их антропогенная трансформация	33
Шаклеина М.Н., Савиных Н.П. Начальные этапы онтогенеза <i>Petasites spurius</i> (retz.) Reichenb.	36
Секция 2. Изучение, охрана и рациональное использование животного мира	41
Гараева А.Р., Суходольская Р.А. Популяционные показатели жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в урбанизированном ландшафте	41
Данилова Е.В. Пролет гусеобразных и ржанкообразных птиц в Республике Коми	44
Кабаков М.Б. Внутривидовая и межвидовая изменчивость темпов роста раковин жемчужниц рода <i>Margaritifera</i> в условиях широтного градиента температур	47
Калинина Е.А., Винокурова Н.В. Кариотип естественной популяции фитофильного <i>Glyptotendipes glaucus</i> Mg. (Diptera, Chironomidae) из озера Чайка национального парка «Куршская коса»	54
Коноплева Е.С., Кондаков А.В., Вихрев И.В. Анализ эволюционных процессов в древних речных бассейнах Индокитая (на примере пресноводных моллюсков рода <i>Conradens</i>) ...	56
Кудрин А.А. Почвенные нематоды тундровых местообитаний, отличающихся характером растительности	61
Мазеева А.В., Кулакова О.И. Структура фауны и особенности экологии булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Rhopalocera) южной тайги Кировской области	65
Моролдоев И.В. Сообщества мелких млекопитающих дельты реки Селенга	69

Мухаметнабиев Т.Р., Суходольская Р.А., Зелеев Р.М. Разнообразие и вариабельность морфометрических признаков массовых видов жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Волжско-Камского заповедника (ВКГПБЗ) и города Нижнекамска	72
Ненашева-Желудкова А.И. Исследование поведения <i>Delphinapterus leucas</i> Pallas у мыса Белужий в летний период 2015 года	75
Томилова А.А., Кондаков А.В. Идентификация моллюсков рода <i>Anodonta</i> на основе молекулярно- генетических маркеров	77
Шабунова А.А. Гибель млекопитающих на дороге в результате столкновения с автотранспортом (трасса М-8, Вологодская область)	81
Секция 3. Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем	85
Бушковская М.В., Василевич Р.С. Накопление ртути в торфяных почвах европейского северо-востока России	85
Жангуров Е.В., Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Дымов А.А. Эколого-генетические особенности формирования иллювиально- железистых подзолов горной ландшафтной зоны Приполярного Урала	88
Ковалева В.А. Состав и структура микробных сообществ аллювиальных почв в тундровой зоне Республики Коми	92
Кубик О.С. Вариабельность свойств почв прибрежной территории Баренцева моря	95
Кузнецов М.А. Эмиссия CO ₂ с поверхности почвы вырубок ельников с учетом условий технической нагрузки (пасаека, волок)	98
Кутявин И.Н. Вертикально-фракционное распределение фитомассы древесного яруса сосняков Северного Приуралья	101
Манов А.В., Осипов А.Ф., Кутявин И.Н. Зональные закономерности распределения деревьев по диаметрам в древостоях сосняков	103

Осипов А.Ф. Изменение таксационных показателей, строения и биомассы древостоя среднетаежного сосняка черничного с 1978 по 2011 год ...	106
Осипов А.Ф., Кутявин И.Н. Компоненты цикла углерода в среднетаежных сосняках в градиенте увлажнения	108
Перминова Е.М. Особенности разложения растительного опада в условиях естественного лесовосстановления	111
Спиридонова В.А., Василевич Р.С. Геохимия тяжелых металлов торфяников криолитозоны	114
Судаков Д.О., Ефанов В.Н. Сравнительная характеристика содержания мелкодисперсных фракций в грунтах водотоков, пересекаемых трассой нефтегазопровода (на примере рек Ай и Фирсовка, остров Сахалин)	117
Холопов Ю.В. Физико-механические свойства среднетаежных типичных подзолистых и болотно-подзолистых почв	119
Шахтарова О.В., Русанова Г.В., Денева С.В., Лаптева Е.М. Особенности формирования автоморфных почв Субарктики (на примере почв лесотундры)	122
Яковлева Е.В., Габов Д.Н. Мониторинговые исследования накопления полиаренов в растениях под действием угледобывающей промышленности	125
Секция 4. Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм	130
Боднарь И.С., Чебан Е.В., Зайнуллин В.Г. Морфометрические изменения и окислительный стресс у ряски малой при воздействии тяжелых металлов	130
Добровольская Е.В., Соловьев И. А, Прошкина Е.Н., Москалев А.А. Влияние активации генов циркадных ритмов на продолжительность жизни и скорость старения <i>Drosophila melanogaster</i>	133
Ермакова А.В., Велегжанинов И.О. Радиационно-индуцированное изменение пролиферативного потенциала ФЛЭЧ-104	139

Земская Н.В., Лашманова Е.А., Прошкина Е.Н., Москалев А.А. Влияние флавоноидов (лютеолин, нарингин, хризин) на жизнеспособность и стрессоустойчивость <i>Drosophila melanogaster</i>	144
Очеретенко А.А. Радиоуглерод ¹⁴ C и способ его определения в талломе лишайников рода <i>Cladonia</i> Web.	148
Соловьев И.А., Добровольская Е.В., Москалев А.А. Эффекты продления жизни, вызванные у особей <i>Drosophila melanogaster</i> нейрон-специфичной сверхактивацией генов-регуляторов циркадных ритмов в условиях постоянного освещения	152
Секция 5. Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов	155
Анчугова Е.М. Микроорганизмы как биотехнологические агенты для разложения стойких органических загрязнений	155
Атоян М.С., Малышев Р.В. Физиолого-биохимические изменения в хвое и почках <i>Pinus silvestris</i> и <i>Pinus contorta</i> при смене сезонов	158
Башарова К.С., Маслова А.Ю., Прохорова В.А., Игнатъева А.Ф., Сибирцев В.С. Электрохимическое биотестирование влияния ионов переходных металлов четвертого периода на жизнедеятельность микроорганизмов	160
Видякина А.В., Андреевко Н.А., Шичкова К.А., Чан Тхань Туан, Сибирцев В.С. Изучение возможностей применения слабых электромагнитных полей мегагерцового диапазона для регулирования микробной жизнедеятельной активности	163
Видякина А.В., Хайдаров А.Х., Сибирцев В.С., Красникова Л.В., Шамцян М.М. Оценка влияния β-глюкана на динамику жизнедеятельности микроорганизмов	166
Герлинг Н.В. Компонентный состав эфирного масла хвои пихты сибирской в подзоне средней тайги	169
Гогонин А.В., Новаковская И.В. Использование микроводорослей для очистки сточных вод	171

Гуркина А.Н., Анчугова Е.М. Очистка нефтезагрязненных почв с помощью микробных ассоциаций	174
Залужский А.С., Анчугова Е.М. Технология формирования биоценоза активного ила для очистки сточных вод молочных производств	178
Кравченко Е.А., Маслова С.П., Дымова О.В. Физиология роста и морфогенеза подземных побегов <i>Achillea millefolium</i>	181
Кропачева Е.В., Глаголева Е.С., Бибикова Т.Н. Ответ растений <i>Arabidopsis thaliana</i> на малые концентрации иона натрия	184
Кузиванова О.А., Дымова О.В. Содержание фотосинтетических пигментов в талломах лишайников (оптимизация способа экстракции)	186
Кузнецова Е.Н. <i>Cortusa matthioli</i> L.: ввод в культуру <i>in vitro</i> с помощью семян	189
Кырнышева М.В., Ермолина К.В., Гармаш Е.В. Исследование активности супероксиддисмутазы методом нативного электрофореза	192
Малышев Р.В., Шелякин М.А. Влияние малых доз УФ-в радиации на физиологические параметры и энергетический баланс первого листа пшеницы	195
Мартынов В.В. Биотехнологические особенности переработки молочной сыворотки	198
Пантюхина Ж.Л., Анчугова Е.М. Использование отходов лесопромышленного производства в биотехнологии очистки жидких нефтяных шламов	201
Чепурко А.А., Матистов Н.В. Технология утилизации нефтяных шламов с применением ассоциаций микробиоты в биомассу липидных метаболитов, используемых в качестве источника биотоплива	204
Резолюция	207

ISBN 978-5-9909731-0-7



Научное издание

XXIV Всероссийская молодежная научная конференция
(с элементами научной школы)

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»,
посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Оригинал-макет и корректура – Е.А. Волкова
Художник О.П. Велегжанинов

Компьютерный набор. Подписано в печать 01.08.2017. Формат 60x90^{1/16}. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13.5. Уч.-изд. л. 13.5. Тираж 150. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика
в полном соответствии с предоставленными материалами
в ООО «Коми республиканская типография»
Адрес: 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. В. Савина, 81



ХИМЭКСПЕРТ

ПРОСТЫЕ РЕШЕНИЯ

для исследования
генетического разнообразия

Проводите массовый скрининг интересных вам замен в геномах любых видов живых организмов с помощью оборудования и реактивов Thermo Fisher Scientific.

Вам достаточно знать **нуклеотидную последовательность интересующей вас замены** и выбрать необходимую технологию - реал-тайм ПЦР или секвенирование. Дизайн праймеров и зондов делает производитель. Реактивы проходят проверку, гарантирующую работу набора.

Генотипирование не составит труда с custom Taqman зондами и универсальными смесями для ПЦР на системах QuantStudio. Все реакции идут по стандартному протоколу. Разнообразие форматов позволяет выбрать прибор под конкретные нужды лаборатории.

Секвенирование стало быстрее и легче с простыми в эксплуатации и обслуживании генетическими анализаторами серии 3500. Работая на этих приборах с реактивами BigDye, вы можете быть уверены в точности полученных результатов.

ООО "Агентство Химэксперт"
125009, г.Москва,
Страстной б-р, д.4,стр.1 оф.101
Тел: +7(495)629 28 69, 650 36 66
info@khimexpert.ru, www.khimexpert.ru