

Российская академия наук  
Уральское отделение  
Коми научный центр  
Институт биологии

XXII Всероссийская молодежная  
научная конференция

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

*Материалы докладов*

6-10 апреля 2015 г.  
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар 2015

**XXII Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии».** Материалы докладов. Сыктывкар, 2015. 284 с. (Коми НЦ УрО РАН).

Представлены материалы докладов XXII 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, вопросы почвоведения, физиологии, биохимии и биотехнологии растений, радиобиологии и генетики.

Редколлегия

директор Института биологии С.В. Дегтева (отв. редактор),  
к.б.н. А.Ф. Осипов (зам. отв. редактора)

Члены редколлегии

д.б.н. А.Г. Кудяшева, к.б.н. М.А. Батурина, к.б.н. И.В. Далькэ,  
к.б.н. В.В. Елсаков к.г.н. Д.А. Каверин, к.б.н. О.В. Раскоша,  
к.б.н. М.В. Шапошников

ISBN 978-5-89606-539-5

## ПРЕДИСЛОВИЕ

XXII Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 6 по 10 апреля 2015 г. Конференция собрала довольно широкую аудиторию участников: аспирантов, кандидатов и докторов наук, сотрудников различных организаций и студентов высших учебных заведений, интересующихся вопросами биологии и экологии и участвующих в научно-исследовательской работе.

Основная цель конференции – создание условий общения молодых исследователей для обмена опытом, поиска новых идей, представление возможности обсудить в кругу квалифицированных специалистов результаты своих научных исследований. Организатором мероприятия выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института.

В работе конференции приняли участие 103 чел., из них 68 – молодые ученые Института биологии, 12 – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара (Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, Сыктывкарский лесной институт), остальные – из других городов России. Среди участников – четыре доктора наук, 40 кандидатов наук разных специальностей, 10 аспирантов и 24 студента.

На конференции прозвучало 74 доклада, в том числе четыре пленарных. На пленарной сессии Д.А. Филиппов дал характеристику разнотипных болотных водоемов и их структурных компонентов. В докладе Т.В. Тихоновой показано значение экосистемных услуг на особо охраняемых природных территориях и оценены перспективы их развития в современной России. Роль микоризы в динамике растительных сообществ освещена в сообщении Д.В. Веселкина. Данные о кислотности почв таежной зоны, ее изученности и перспективах исследований представлены в докладе Е.В. Шамриковой.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» были рассмотрены итоги инвентариза-

ции разнообразия водорослей, грибов, растительных сообществ; изучение индикаторной роли и особенности интродукции перспективных видов для лесопромышленного комплекса, их жизненных стратегий, отклика растительности на колебания климата.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» прозвучали доклады, посвященные биологии, таксономическому составу и экологии различных групп водных организмов, комплексов почвенных и наземных беспозвоночных, а также миграции птиц на европейском северо-востоке России.

Традиционно основная часть докладов затронула вопросы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем. Молодые ученые представили результаты исследований морфологии, физико-химических свойств температурного режима почв, последствия их загрязнения поллютантами различной природы, особенностей функционирования микробиоты почвы и закономерностей эмиссии парниковых газов с ее поверхности. Обсуждены вопросы влияния пожаров, ветровалов и рубок на лесные экосистемы.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» и «Морфолого-физиологические и молекулярно-генетические аспекты влияния экологических факторов на организмы» рассмотрены биотехнологические, молекулярно-генетические и физиолого-биохимические механизмы устойчивости и продуктивности организмов.

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.

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, содействовала установлению новых связей и возможностей для сотрудничества.

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми научного центра за помощь и поддержку при проведении конференции. Оргкомитет выражает признательность всем участникам конференции за интересные доклады, активное участие и положительную оценку его работы.

*Оргкомитет*

## ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

### РАЗНОТИПНЫЕ БОЛОТНЫЕ ВОДОЕМЫ И ИХ СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

**Д.А. Филиппов<sup>1</sup>, Е.В. Лобуничева<sup>2</sup>, Е.С. Гусев<sup>1</sup>, Я.В. Стройнов<sup>1</sup>,  
В.Л. Зайцева<sup>2</sup>, Т.В. Романис<sup>3</sup>, В.В. Юрченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

<sup>2</sup>Государственный НИИ озерного и речного рыбного хозяйства,  
Вологодская лаборатория

<sup>3</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН  
E-mail: *philippov\_d@mail.ru*

Болота в таежной зоне отличаются от других типов биогеоценозов (лесов, лугов, водоемов) обязательным наличием трех основных взаимосвязанных компонентов: воды, влаголюбивой растительности и торфа. Только в условиях избыточного или обильного увлажнения посредством развития специфической гидрофильной растительности идет торфообразование и торфонакопление. В процессе естественной эволюции болота происходят усложнение его структурной организации и появление специфической поверхностной гидрографической сети.

Наиболее многообразна и развита гидрографическая сеть на сфагновых болотах, где она может быть представлена как естественными по происхождению (остаточные озера, вторичные озера, мочажины, топи, болотные ручьи, реки), так и искусственными (копаные торфяные каналы, карьеры, колодцы) объектами. Данные разнотипные болотные водоемы отличаются также по своим размерам, морфологическим особенностям, водному и гидрохимическому режиму, составу и структуре биоты. На отдельно взятом болотном массиве, как правило, не могут присутствовать все типы болотных водоемов, но именно их разнообразие должно приводить к усложнению структурно-функциональной организации всей водно-болотной экосистемы и повышению ее биологического разнообразия. Эта гипотеза послужила отправной точкой наших научных изысканий.

Исследования проводились на Шиченгском водно-болотном угодье, расположенном в пределах средней тайги в границах Сямженского р-на Вологодской области (59°53'–60°03' с.ш., 41°14'–41°27' в.д.). С 1987 г. значительная часть данного болота входит в состав одноименного регионального комплексного заказника.

Шиченгское болото представляет собой крупную (14.6 тыс. га без учета внутриволотных островов и озер) болотную систему, сформировавшуюся в озерно-ледниковой котловине и имеющую преимущественно лимногенное происхождение. В настоящее время болото находится на олиготрофной стадии развития. Значительные участки заняты сосново-кустарничково-сфагновыми, кустарничково-сфагновыми и пушицево-кустарничково-сфагновыми сообществами в пределах грядово-мочажинных, кочковато-мочажинных и коврово-мочажинных болотных комплексов. Близ внутриволотных минеральных островов формируются необлесенные (открытые) болотно-травяно-сфагновые мезоолиготрофные проточные топи. Болотные ручьи берут начало в проточных топях или имеют краевое положение. В центральной части болота расположено внутриволотное дистрофное оз. Шиченгское (1.06 тыс. га). В него впадает около 10 ручьев и две малые реки – Сондушка и Глухая Сондушка. Озеро служит истоком р. Шиченга – правым притоком р. Сямжена (бассейн Белого моря). В восточной части имеется еще два внутриволотных озера – Полянок и Плакуновское.

Полевые исследования выполнены Д.А. Филипповым в мае-сентябре 2012-2014 гг. в юго-западной и центральной частях Шиченгского болота на четырех стандартных станциях: 1) болотный ручей, 2) проточная топь, 3) сфагновая мочажина, 4) оз. Шиченгское. Химический анализ проб воды и грунтов выполнен на договорной основе в Аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Вологодский». Измерение основных климатических показателей осуществлялось с помощью регистраторов температуры и влажности DT-171 (SEM-instruments). Интерпретация и обобщение результатов анализа гидрохимических данных выполнены Д.А. Филипповым, почвенных – Т.В. Романис, климатических – В.В. Юрченко. Выявление состава и структуры биоты проведено Д.А. Филипповым (макрофиты), Е.С. Гусевым (фитопланктон), Е.В. Лобуничевой и В.Л. Зайцевой (зоопланктон), Я.В. Стройновым (бактериопланктон). Ниже рассмотрены основные структурные компоненты.

**Грунты.** На окрайках болота вдоль болотных водотоков формируются мало- или среднемощные торфяные залежи. На Шиченгском болоте приручьевые болотные участки сложены древес-

ными, древесно-гипновыми и древесно-травяными низинными торфами. В верхних горизонтах залежи торф хорошо минерализован, слабокислый ( $\text{pH} = 6.6$ ), богат поглощенными основаниями (степень насыщенность – 98). Массовая доля подвижного нитратного азота ( $0.4 \text{ мг}/100 \text{ г}$  абсолютно сухой почвы), подвижного калия (53) и подвижного фосфора (15) мала. Высокая доля подвижных форм марганца ( $202.65 \text{ мг}/\text{кг}$ ) может быть связана со спецификой влияния подстилающих пород.

В проточной топи верхние горизонты залежей сложены пушицевыми переходными, пушицево-сфагновыми, сфагновыми и комплексными верховыми торфами. Торфы топи занимают промежуточное положение между низинными и верховыми. Так, значения  $\text{pH}$  (4.5), степень разложения (5-10%), высокая емкость поглощения характерны для верховых почв, но содержание подвижных металлов ( $\text{Cu} = 2.34 \text{ мг}/\text{кг}$ ,  $\text{Mn} = 233.13$ ,  $\text{Fe} = 356.63$ ) – для низинных.

В мочажинах верхние горизонты сложены шейхцерицево-сфагновыми и сфагновыми мочажинными верховыми торфами. По физико-химическому составу ( $\text{pH}$  4.0; степень разложения – 5%; степень насыщенности основаниями – 47 и др.) они являются типично торфяно-болотными верховыми почвами. Влияние подстилающих пород и грунтовых вод на них минимально, поэтому питание происходит исключительно за счет атмосферного переноса осадков и пыли. Осадконакопление в озере связано с отложением сапропеля (средняя мощность 0.6 м).

**Болотные воды.** На верховых болотах физико-химический состав болотных вод существенно отличается в разных типах болотных водоемов и меняется в пределах вегетационного сезона. На Шиченгском водно-болотном угодье в ряду ручей–топь–мочажина увеличивается температура и уменьшаются цветность, общая минерализация,  $\text{pH}$ , содержание карбонатов, марганца, общего железа и фосфатов. Значения физико-химических параметров внутриболотного оз. Шиченгское, как правило, близки к таковым для мочажин и/или реже – проточных топей. Во всех типах болотных водоемов зафиксированы высокие величины перманганатной окисляемости болотных вод и крайне низкие значения содержания хлоридов и фосфатов. Показатели большинства анализируемых физико-химических параметров колеблются в течение вегетационного сезона и, как правило, достигают наибольших величин в июле-августе. Межгодовая динамика гидрохимического состава болотных вод зависит от объемов водного питания и температуры окружающей среды (Филиппов, 2014).

**Климат.** Температура и относительная влажность воздуха являются ключевыми климатическими факторами в развитии верховых болот. Согласно полученным с 7 мая по 11 октября 2013 г. и с 25 мая по 25 сентября 2014 г. данным, среднесуточные значения обоих параметров на окрайке болота имели статистически значимые отличия от величин, наблюдаемых в топи и на краю внутриболотного острова (критерий Колмогорова-Смирнова). Наименьшие суточные амплитуды температуры и влажности отмечались на окрайке болота. На открытых участках суточные колебания обоих параметров были выражены сильнее.

Корреляционный анализ выявил тесную связь изучаемых параметров микроклимата (коэффициент Спирмена). Так, в течение обоих сезонов наблюдения коэффициенты корреляции изменялись от  $-0.91$  на окрайке болота (в 2014 г.) до  $-0.98$  на краю внутриболотного острова (в 2013 г.), т.е. относительная влажность на всех участках болота находится в сильной обратной зависимости от температуры воздуха.

Анализ суточного хода температуры и влажности воздуха (выполненный на примере 15 июля 2013 и 2014 гг.) показал, что в топях происходит самое сильное остывание воздуха, раньше начинается их прогрев (с восходом солнца), колебания температуры выражались сильнее, чем на облесенной окрайке, но слабее, чем на краю внутриболотного острова. Наибольшие значения влажности наблюдались в топи (в предрассветные часы и/или на рассвете). После восхода солнца она начинает уменьшаться в первую очередь на открытых участках топи, затем – на краю острова и позже всего – окрайке болота. В течение дня относительная влажность воздуха заметно выше на облесенной окрайке болота, чем на внутриболотных участках.

**Высшие растения.** Флора Шиченгского водно-болотного угодья насчитывает 244 вида сосудистых растений, из которых 103 (42.2% флоры) отмечены в растительном покрове разнотипных болотных водоемов. Наибольшее разнообразие характерно для внутриболотных озер: Шиченгское (49 видов из 38 родов и 26 семейств) и Полянок (39, 30, 22). Несколько меньшее видовое богатство зафиксировано в болотных реках (29, 26, 19), болотных ручьях (28, 22, 19) и проточных топях (26, 19, 14). Самым низким богатством характеризуются наиболее специализированные болотные водоемы – мочажины (9, 8, 4).

Сравнительный анализ флористических списков при помощи коэффициента общности видового состава Сьеренсена-Чекановского ( $K_{sc}$ ) показал, что в отдельный кластер объединяются топи и мочажины ( $K_{sc} = 0.51$ ), не имеющие почти ничего общего



с другими типами болотных водоемов ( $K_{sc} = 0.11$ ). Внутриболотные озера формируют отдельную группу ( $K_{sc} = 0.52$ ), реки и ручьи остаются несколько в стороне.

**Водоросли.** О видовом богатстве разнотипных болотных водоемов Шиченгского болота пока судить рано, однако нами были получены данные о содержании в них хлорофилла *a*. В 2012 г. значения колебались в широких пределах (от 0.1 до 123 мкг/л), при этом в течение всего вегетационного сезона наблюдалась строгая закономерность: содержание хлорофилла *a* уменьшается в болотных водах в ряду мочажина–озеро–топь–ручей, т.е. в наиболее специализированных болотных водоемах создаются более благоприятные условия для развития водорослевых ценозов.

**Водные беспозвоночные.** Основное внимание было уделено изучению зоопланктона болотных водоемов, а также влиянию ключевых видов (*Fontinalis antipyretica* и *Utricularia intermedia*) на водных беспозвоночных (Ивичева, Филиппов, 2013; Зайцева и др., 2014). В составе зоопланктона разнотипных болотных водоемов Шиченгского водно-болотного угодья (на основе анализа проб 2012 г.) обнаружено 88 видов беспозвоночных (Rotatoria – 35 видов, Cladocera – 40, Copepoda – 13). **Наибольшее их количество отмечено в Шиченгском озере (45 видов) и проточной топи (42), несколько меньше – в ручье (37) и мочажине (33).** В ручьях и топях преобладают коловратки, в озере – ветвистоусые ракообразные, а в мочажине их количество одинаковое (по 13 видов). Анализ фаунистических списков выявил наибольшую общность видового состава зоопланктона топи и мочажины ( $K_{sc} = 0.66$ ), наименьшую – ручья (0.47) и озера (0.32).

При сравнении количественных показателей зоопланктона разнотипных болотных водоемов (в июле 2012 г.) выяснилось, что наибольшей численностью характеризуются планктонные сообщества топи и мочажины, которым значительно уступают озеро и ручей, но при этом биомасса зоопланктеров в ручье и озере соизмерима с таковой в топи и превышает значения, полученные для мочажины. Это связано с высокой численностью, но небольшими размерами коловраток в мочажине и топи и низкой численностью, но значительной биомассой кладоцер в ручье и особенно в озере.

**Бактериопланктон.** Бактериальные параметры на Шиченгском болоте в 2012 г. характеризовались большой вариабельностью. Максимальная численность бактерий достигала  $93 \cdot 10^6$  кл./мл. В июне в ручье, топи и мочажине общая численность ( $46\text{--}50 \cdot 10^6$  кл./мл), биомасса ( $1600\text{--}2500$  мгС/м<sup>3</sup>), продукция ( $329\text{--}349 \cdot 10^3$  кл./мл·ч) бактерий не достигала больших значений, при этом различия между водоемами были невелики. В июле в ручье и проточной

топи численность бактерий ( $2.3$  и  $1.6 \cdot 10^6$  кл./мл соответственно), их биомасса ( $72$  и  $57$  мгС/м<sup>3</sup>) и продукция ( $16$  и  $12 \cdot 10^3$  кл./мл·ч) уменьшились на порядок по сравнению с июнем. В мочажинах данные параметры остались на прежнем уровне. В оз. Шиченгское численность бактерий и их биомасса достигли очень высоких значений ( $20.9 \pm 16.5 \cdot 10^6$  кл./мл,  $739 \pm 637$  мгС/м<sup>3</sup>), а продукция бактерий была невелика ( $147 \pm 116 \cdot 10^3$  кл./мл·ч). Показатели бактериальных параметров в болотном озере на порядок превышали таковые для топи и ручья, но были почти в два раза меньше, чем в мочажинах. Все бактериальные параметры в озере характеризовались очень большой вариабельностью. В августе значения основных показателей достигли максимальных величин в топях ( $63.9 \pm 8.9 \cdot 10^6$  кл./мл,  $3096 \pm 712$  мгС/м<sup>3</sup>,  $449 \pm 63 \cdot 10^3$  кл./мл·ч) и мочажинах ( $63.9 \pm 29.1 \cdot 10^6$  кл./мл,  $2184 \pm 905$  мгС/м<sup>3</sup>,  $449 \pm 204 \cdot 10^3$  кл./мл·ч). При этом в последних наблюдалась существенно большая вариабельность. В ручье численность, биомасса и продукция бактерий в августе почти в два раза больше, чем в июле, но на порядок меньше, чем в июне, а в сентябре численность ( $1.8-2.2 \cdot 10^6$  кл./мл), биомасса ( $48-72$  мгС/м<sup>3</sup>) и продукция бактерий ( $12-15 \cdot 10^3$  кл./мл·ч) были относительно невелики и отличались небольшим разбросом значений. На всех болотных водоемах большая часть бактериопланктона была представлена одиночными бактериальными клетками с достаточно крупным средним объемом ( $0.08-0.34$  мкм<sup>3</sup>).

Число видимых инфицированных вирусами бактериальных клеток очень мало (от  $0.0$  до  $1.25\%$ ), минимальные уровни инфекции в болотных водоемах Шиченгского болота наблюдались в июне, максимальные значения в топях и мочажинах – июле, а в ручье – в сентябре. В июле процент видимых инфицированных клеток в озере ( $0.87 \pm 0.16\%$ ) был выше, чем в ручье ( $0.09 \pm 0.09\%$ ) и мочажине ( $0.45 \pm 0.05\%$ ), и уступал лишь пиковому значению в проточной топи ( $0.87 \pm 0.13\%$ ). В целом, процент видимых инфицированных бактерий оказался столь мал, что говорить о каком-либо существенном прямом влиянии бактериофагов на бактериопланктон в исследованных болотах пока не приходится.

В настоящей работе мы попытались показать, что при исследовании водно-болотных угодий необходимо каждый тип болотных водоемов рассматривать как многокомпонентную и динамическую систему, имеющую свои особенности и закономерности структурно-функциональной организации.

Авторы благодарят В.А. Филиппова за активное участие в полевых изысканиях.

---

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-04-32258 мол-а.

#### ЛИТЕРАТУРА

Зайцева В.Л., Филиппов Д.А., Лобуничева Е.В., Михайлова А.А. Влияние *Utricularia intermedia* на структуру сообществ водных беспозвоночных болотных водоемов // Известия Самарского НЦ РАН, 2014. Т. 16. № 5. С. 276-281.

Ивичева К.Н., Филиппов Д.А. О макрозоофитосе сообществ *Fontinalis antipyretica* водоемов и водотоков Вологодской области // Ярославский пед. вестник, 2013. Т. III (Естеств. науки). № 4. С. 166-170.

Филиппов Д.А. Гидрохимическая характеристика внутриболотных водоемов (на примере Шиченгского верхового болота, Вологодская область) // Вода: химия и экология, 2014. № 7(73). С. 10-17.

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

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**  
**АЛГОЦЕНОЗОВ НЕКОТОРЫХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ**  
**АНТРОПОГЕННОЙ ПРИРОДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

**А.Ю. Бурдо**

Санкт-Петербургский государственный университет  
E-mail: *narrow@yandex.ru*

Водоёмы являются важными объектами городской среды. Издавна они использовались в качестве источников питьевой воды, для технических целей и в качестве объектов рекреации. Урбанизированные ландшафты оказывают комплексное воздействие на водные объекты. Большинство случаев антропогенного эвтрофирования водоёмов впервые было отмечено в пределах именно таких территорий (Россолимо, 1977).

Проблема контроля качества воды в водоёмах крупных городов с середины прошлого века приобрела большую актуальность во многих странах Европы и Америки. В России экологические исследования городских водоёмов до сих пор весьма малочисленны (Трифорова, Сенатская, 1984; Павлова, 2004 и др.). В то же время, как показывают последние исследования, только 2% городских водных объектов могут быть отнесены к условно чистым, тогда как 80% классифицируются как загрязнённые и обычно находятся на уровне эвтрофных или гиперэвтрофных водоёмов (Водные объекты..., 2002). Большинство водоёмов Санкт-Петербурга имеют искусственное происхождение или антропогенно изменены (Охрана окружающей среды..., 1999). Это делает их экосистемы ещё более уязвимыми перед усиливающимся антропогенным воздействием. Город имеет множество различных водоёмов, и их изучение представляется весьма актуальным.

Институт озероведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН) проводит периодические исследования городских водоемов в течение многих лет. В 2006 и 2007 гг. в ряде объектов отбирались пробы фитопланктона, в том числе в прудах парка Интернационалистов Санкт-Петербурга. Материалы, предоставленные Лабораторией гидробиологии ИНОЗ РАН, были исходными в настоящем исследовании.

Парк Интернационалистов ограничен проспектом Славы и улицей Бухарестской, являющимися оживленными и загруженными магистралями, а также Южным шоссе. Его площадь – около 45 га. К парку также относится небольшой участок у Бухарестской улицы к югу от Южного шоссе, который непосредственно примыкает к карьерам. Рядом, на бывшей территории кирпичного завода № 4, строится высотный жилой комплекс «София». Также со стороны Бухарестской улицы примыкает стройплощадка станции метро «Проспект Славы» (рис. 1).

Пруды парка естественного происхождения. Они созданы на месте русла р. Волковки, которая была засыпана в ходе застройки Фрунзенского района (Шалапин, 2013). Пруды имеют силь-

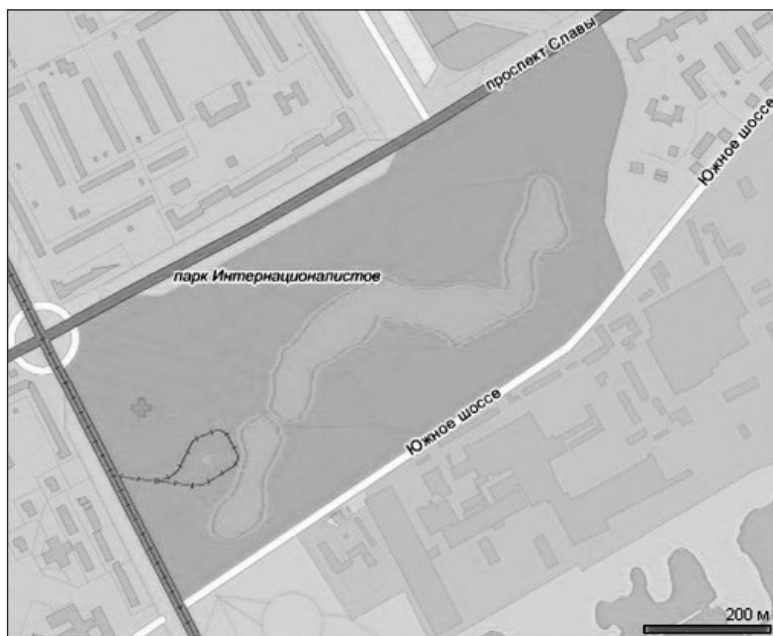


Рис. 1. Карта-схема парка Интернационалистов.

но вытянутую форму и располагаются в направлении с юго-запада на северо-восток, вдоль проспекта Славы, изгибаясь волнами по бывшему руслу реки. Пруды разделяет насыпь шириной около 8 м. Высота берега – 1-2 м, длина склона – от 2 до 5-7 м. Глубина прудов – около 3 м. Регионально водоемы расположены между Финским заливом и Ладожским озером (приблизительно 60° с.ш.). Район относится к среднетаежной (бореальной) зоне. Климат в регионе атлантико-континентальный, с умеренно холодной зимой, нежарким летом. Его особенности связаны с близостью моря, наличием крупных водных бассейнов и избыточным увлажнением.

По результатам отбора проб в июле 2006 г. и в мае и июле 2007 г., в фитопланктоне прудов парка Интернационалистов обнаружено 65 таксонов водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к семи отделам, в том числе в малом пруду – 46, большом – 44. В первом отмечены представители следующих отделов: Cyanophyta – 13 таксонов, Euglenophyta – 5, Dinophyta – 2, Cryptophyta – 5, Chrysophyta – 1, Bacillariophyta – 3, Chlorophyta – 17, во втором – Cyanophyta – 10 таксонов, Euglenophyta – 4, Dinophyta – 1, Cryptophyta – 4, Chrysophyta – 3, Bacillariophyta – 3, Chlorophyta – 19. Наибольшее видовое разнообразие выявлено среди представителей отделов Cyanophyta и Chlorophyta.

Биомасса водорослей в большом пруду парка в июле 2006 г. составляла 24,57 мг/л. В планктоне доминировали криптонады (66% общей биомассы) – *Cryptomonas marssonii*, *C. erosa* Ehr., и разнообразные зеленые водоросли *Staurastrum paradoxum* Meyen, *Botryococcus braunii* Kütz., *Volvox globator* L., *Pandorina morum* (O.F. Müll) Vory. Биомасса водорослей в большом пруду парка в мае 2007 г. составляла 2,23 мг/л. В планктоне доминировали диатомеи (47% общей биомассы) – *Ulnaria danica* (Kütz.) Comprige & Bukhtiyarova, *Diatoma tenue* (Ag.) van Heurck, и криптонады (35%) – *C. marssonii* Skuja, *C. erosa* Ehr., а также синезеленые водоросли *Anabaena lemmermanii* P. Richt и *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. В июле биомасса возросла до 13,61 мг/л. Основную роль играли синезеленые (93%) – *Woronichinia naegeliana* (Ung.) Elenk. и *Microcystis wesenbergi* Kom., в небольших количествах встречались криптофитовые и эвгленовые водоросли, являющиеся индикаторами органического загрязнения.

В июле 2006 г. биомасса фитопланктона в малом пруду парка Интернационалистов достигала 184,65 мг/л. Наблюдалось цветение потенциально высокотоксичной синезеленой водоросли *Aphanizomenon flos-aquae*, численность которой превышала 7 млрд. кл./л, биомасса – 140 мг/л, что значительно превосходило показатели, рекордные для водоемов Санкт-Петербурга за послед-

ние годы. Также отмечалась очень высокая численность криптоноад, являющихся показателями органического загрязнения – *C. marssonii* (8.3 млн. кл./л) и др. Сообщество фитопланктона в целом характеризовалось крайне низким видовым разнообразием (всего шесть видов), что типично в ситуации цветения, особенно при массовом развитии синезеленых водорослей. Средние величины обилия фитопланктона превосходили показатели большого пруда, биомасса достигала 95.58 мг/л, что соответствует гиперэвтрофному статусу. Общее состояние малого пруда парка Интернационалистов определялось как крайне неблагоприятное. В мае 2007 г. биомасса фитопланктона здесь практически не отличалась от таковой в большом пруду – 2.24 мг/л. Доминировали криптоноады (34%) – *C. marssonii*, эвгленовые и синезеленые водоросли – *Trachelomonas hispida* (Perty) Stein, *T. volvocina* Ehr., *Anabaena solitaria* Kleb., *A. circinalis* Rabenh. и др. Летом показатели развития фитопланктона были очень высоки: биомасса достигала 25.42 мг/л. Как и в июле прошлого года, в водоеме отмечалось цветение синезеленых и массовая вегетация криптоноад. Видовое разнообразие также низкое, что является типичным при массовом развитии синезеленых водорослей.

В связи с рекордными показателями по биомассе потенциально высокотоксичной синезеленой водоросли *A. flos-aquae* решено провести детальное исследование альгофлоры малого пруда. Пробы отбирались на трех станциях в период с начала лета до поздней осени 2014 г. в прибрежной части. Производился отбор проб фитопланктона, соскобов с плавающих объектов (доски, пакеты), выжимок из высшей водной растительности (рдест, кубышка), ила со дна. Часть проб просматривалась живыми, прочие фиксировались 40%-ным формалином или водным раствором Люголя с дофиксацией формалином. Для определения диатомовых водорослей изготавливались постоянные препараты, для чего некоторые пробы были проварены холодным способом концентрированной перекисью водорода с бихроматом калия.

По результатам проведенных исследований, в малом пруду парка Интернационалистов обнаружено 180 видовых и внутривидовых таксонов водорослей, из них по отделам: Cyanophyta – 31 вид и разновидность, Euglenophyta – 9, Dinophyta – 1, Cryptophyta – 4, Chrysophyta – 1, Bacillariophyta – 57, Chlorophyta – 75, Xathophyta – 2 (рис. 2).

По обилию в течение сезона доминируют представители отделов Chlorophyta (41% видов) и Cyanophyta (17%). Диатомеи, несмотря на второе место по числу видов (32%), обильны лишь в начале лета и в середине осени. Наиболее массового разви-

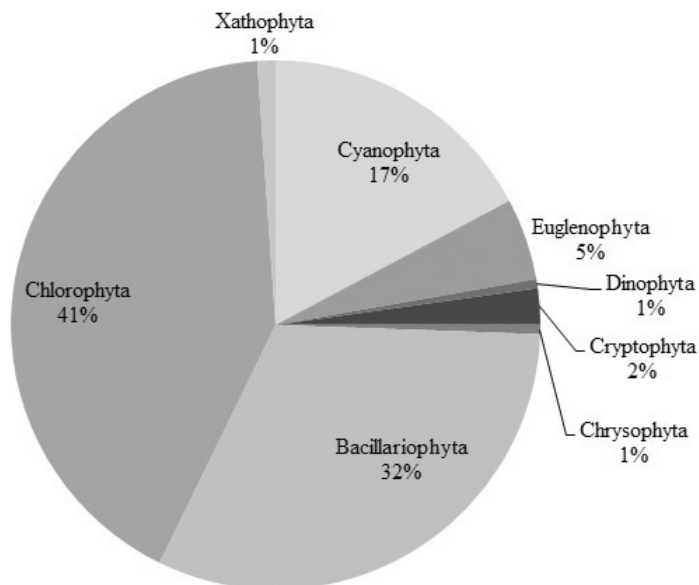


Рис. 2. Соотношение отделов водорослей по числу видов.

тия достигали *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Cocconeis pediculus* Ehr., *C. placentula* Ehr., *Fragilaria capucina* Desmazières, *Navicula cryptocephala* Kütz., *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. В начале лета наблюдалось цветение синезеленых водорослей *Anabaena circinalis* и *A. lemmermannii*. В июле доминировали синезеленые *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena circinalis* и *Snowella lacustris* (Chod.) Kom. et Hind. Из зеленых водорослей был в обилии *Coelastrum microporum* Nägeli. В конце июля – начале августа доминировали зеленые *C. microporum* и др., а также синезеленые. В конце августа–сентябре отмечено сильное цветение зеленой водоросли *C. microporum* Nägeli. К концу осени обилие водорослей снижалось при доминировании зеленых, синезеленых и диатомовых.

В целом, сообщество водорослей малого пруда парка Интернационалистов можно охарактеризовать как синезелено-зеленое с участием диатомовых водорослей.

#### ЛИТЕРАТУРА

Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977. 143 с.



Трифонова И.С., Сенатская Н.Ю. Фитопланктон и первичная продукция // Сохранение природной экосистемы водоема в урбанизированном ландшафте. Л.: Наука, 1984. С. 43-58.

Павлова О.А. Структура фитопланктона малых озер в условиях урбанизированного ландшафта (на примере Суздальских озер г. Санкт-Петербурга): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2004. 24 с.

Водные объекты Санкт-Петербурга / Под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. СПб.: Символ, 2002. 348 с.

Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге в 1998 году / Под ред. А.С. Баева, Н.Д. Сорокина. СПб., 1999. 520 с.

Шаляпин Д.В. Купчино. Четыре века истории. 50 лет современности. М.: Центрполиграф, 2013. 348 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Л.Н. Гутий

Сыктывкарский лесной институт

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

Естественный ареал сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) находится на западе Северной Америки, простираясь от Аляски на севере (64° с.ш.) до Калифорнии на юге (30° с. ш.); на востоке доходит до Скалистых гор, поднимаясь до 3900 м над ур.м. Насаждения сосны скрученной занимают примерно 20 млн. га в Канаде и 5 млн. га – США (Elfving et al., 2001). **Древесина** сосны скрученной по своим физико-механическим свойствам близка к древесине сосны обыкновенной и используется в основном для производства пиломатериалов и целлюлозы, а также в строительстве (Элайс, 2014).

По результатам исследования 25-30-летних культур сосны скрученной в Карелии и Ленинградской области был сделан вывод о перспективности ее интродукции на северо-запад СССР (Гиргидов, 1952). Позднее сообщалось, что в 55-летнем возрасте эти культуры имеют высокую продуктивность (Ia класс бонитета) и устойчивы к местному климату (Мордась, Раевский, 1992). Современный этап создания опытных культур сосны скрученной в Ленинградской, Архангельской областях и Карелии относится к 1980-м гг. (Алексеев и др., 2014; Мордась, Раевский, 1992; Стафеев, 1989). Исследования, проведенные в этих регионах, показали, что сосна скрученная значительно обгоняет сосну обыкновенную по скорости роста (Раевский, Мордась, 2000; Раевский, Пеккоев, 2013; Раевский, 2010; Феклистов и др., 2008).

Серия экспериментальных культур в Республике Коми заложена весной 2004 г. Происхождение материала сосны скрученной идентично на всех участках – шесть шведских лесосеменных плантаций. В качестве контроля использовались семена сосны обыкновенной местного происхождения (для каждого участка) (Федорков, Туркин, 2010). Для посадки брались однолетние сеянцы, выращенные в полиэтиленовой теплице. Сеянцы высаживались в линейные (рядовые) деланки, расположенные рендомизированно в 9-13 блоках.

Исследование экспериментальных культур проведено осенью 2014 г. Жизненное состояние растений оценивалось по следующей шкале: 1 класс – здоровое растение, почки здоровые, ствол прямой; 2 – слабо поврежденное растение, состояние хорошее, имеются незначительные повреждения хвои, верхушечная и боковые почки здоровые, ствол прямой; 3 – сильно поврежденное растение, состояние плохое, около 30% хвои повреждено, верхушечная почка повреждена или погибла, рост замедлен; 4 – погибшее растение. Сохранность рассчитана как доля выживших растений. Высота измерялась у всех выживших растений.

Сохранность растений в экспериментальных культурах составила 77, 74 и 65% в Ухте, Сторожевске и Койгородке соответственно. На самом южном в данной серии участке экспериментальных культур (Койгородок), заложенных на сухой, хорошо прогреваемой песчаной почве, корневые системы части растений были повреждены личинками майского хруща (*Melolontha hippocastani*). Кроме того, побеги у части растений здесь также повреждены побеговьюном-смолевщиком (*Petrova resinella*), что привело к снижению сохранности по сравнению с другими двумя участками. Расположение участка и происхождение материала статистически значимо ( $p < 0.001$ ) влияли на жизненное состояние и высоту растений (табл. 1). В целом, жизненное состояние и рост растений в высоту лучше в Сторожевске (табл. 2).

Жизненное состояние сосны скрученной двух северных происхождений (Нарлинг и Оппала) лучше контроля, а остальных – хуже контрольного варианта, но эти различия статистически значимы ( $p < 0.05$ ) только для самого южного происхождения (Остерби). По сравнению с результатами предыдущего исследования данной серии экспериментальных культур, проведенного в 2011 г. (Fedorkov, 2012), жизненное состояние сосны скрученной в целом немного улучшилось после повреждений в конце зимы–начале весны 2010 г.

Сосна скрученная северных происхождений обгоняла сосну обыкновенную по росту в высоту на 11-17%, хотя эти различия

Таблица 1

**Дисперсионный анализ жизненного состояния и роста в высоту  
сосны обыкновенной и сосны скрученной  
на экспериментальных плантациях**

Источник варьирования	Число степеней свободы	Средний квадрат	F-критерий	P-значение
Жизненное состояние				
Участок	2	1.15	8.54	>0.001
Происхождение	6	1.98	14.62	>0.001
Участок × происхождение	12	1.25	9.28	>0.001
Высота				
Участок	2	43.28	117.82	>0.001
Происхождение	6	2.61	7.1	>0.001
Участок × происхождение	12	0.64	1.75	0.057

статистически незначимы ( $p > 0.05$ ). Высота сосны скрученной южных происхождений (Румхулт и Остерби) была ниже контроля вследствие обмерзания верхушечных побегов (табл. 2).

Полученные результаты о превосходстве сосны скрученной над сосной обыкновенной по скорости роста соответствуют имеющимся в литературе (Феклистов и др., 2008; Раевский, Пеккоев, 2013; Varmola et al., 2000; Elfving et al., 2001).

Таблица 2

**Жизненное состояние (класс) и высота растений (см) сосны скрученной и сосны обыкновенной (с 95%-ными доверительными интервалами)**

Источник варьирования	Жизненное состояние			Высота		
	Среднее значение	-95%	+95%	Среднее значение	-95%	+95%
Участок						
Ухта	2.50	2.36	2.63	2.29	2.10	2.47
Сторожевск	2.30	2.21	2.40	3.16	3.05	3.28
Койгородок	2.55	2.45	2.65	1.64	1.50	1.77
Происхождение						
Нарлинге	2.24	2.10	2.37	2.60	2.28	2.92
Опала	2.22	2.10	2.35	2.72	2.38	3.07
Скорсерум	2.37	2.23	2.51	2.59	2.25	2.93
Ларслунд	2.40	2.26	2.54	2.37	2.03	2.71
Румхулт	2.49	2.36	2.61	2.21	1.92	2.49
Остерби	2.93	2.75	3.11	1.94	1.67	2.21
Контроль	2.29	2.08	2.50	2.32	2.03	2.61

Таким образом, успех выращивания сосны скрученной в Республике Коми в значительной степени зависит от происхождения материала. Для окончательных выводов необходимы более длительные наблюдения за сохранностью, объемом и качеством ствола этой древесной породы в экспериментальных культурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В.М., Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Бурцев Д.С.* Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области // Лесной журнал, 2014. № 3. С. 24-33.
- Гиргидов Д.Я.* Культуры сосны Муррея и дуба красного в северо-западных районах СССР // Лесное хозяйство, 1952. № 7. С. 8-13.
- Мордась А.А., Раевский Б.В.* Всхожесть семян и рост сосны скрученной в Карелии // Лесоведение, 1992. № 1. С. 89-93.
- Раевский Б.В., Пеккоев А.Н.* Перспективы выращивания сосны скрученной в Южной Карелии // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013: Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбНИИЛХ, 2013. Ч. 2. С. 182-193.
- Раевский Б.В., Мордась А.А.* Рост и продуктивность испытательных культур сосны скрученной в южной Карелии // Известия вузов. Лесной журнал, 2000. № 5-6. С. 74-82.
- Раевский Б.В.* Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии // Известия Коми НИЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 31-38.
- Стафеев Б.Л.* Северо-американская сосна скрученная – перспективная порода для интродукционного испытания в Архангельской области // Вопросы интродукции хозяйственно-ценных древесных пород на европейский Север. Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. С. 35-43.
- Федорков А.Л., Туркин А.А.* Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение, 2010. № 1. С. 70-74.
- Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л.* Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск, 2008. 118 с.
- Элайс Т.С.* Североамериканские деревья. Определитель / Пер. с англ. // Под ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. 959 с.
- Elfving B., Ericsson T., Rosvall O.* The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // Forest Ecology and Management, 2001. Vol. 141(1-2). P. 15-29.
- Fedorov A.* Swedish lodgepole pine seed orchard crops tested in north-west Russia // Scandinavian Journal of Forest Research, 2012. Vol. 27. P. 675-680.
- Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkelä M.* Survival and early development of lodgepole pine // Scandinavian Journal of Forest Research, 2000. Vol. 15. P. 410-423.

## СТРУКТУРА И ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКОЦЕНОЗОВ В ОСНОВНЫХ ТИПАХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Д.В. Кириллов, М.А. Паламарчук  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [kirdimka@mail.ru](mailto:kirdimka@mail.ru)

Грибы – это неотъемлемая часть биоценозов, тесно связанная с другими их компонентами таким образом, что любые изменения состояния грибной группировки неизбежно окажут влияние на включающее ее сообщество и наоборот. Следовательно, изучение микобиоты может дать исследователю не только сведения о ее текущем состоянии (видовое разнообразие, обилие, продуктивность видов), но и позволит сделать выводы об общем состоянии экосистемы, спрогнозировать тренды ее изменений и, если необходимо, своевременно принять меры по ее сохранению, что достаточно актуально.

В соответствии с этим тезисом сформулирована цель наших исследований – изучение структуры и продуктивности сообществ макроскопических грибов в биоценозах, характерных для таежной зоны Республики Коми.

Для достижения поставленной задачи провели подбор и адаптировали под условия проведения работ специальную методику оценки микобиоты, результаты апробации которой легли в основу данных материалов.

Методика построена на изучении плодовых тел – единственной части грибного организма, видимой невооруженным глазом и позволяющей идентифицировать вид, оценить его жизнеспособность и распространение в биоценозе. Ее основой послужили метод оценки биоразнообразия Алана Фиста (Feest, 1999, 2006, 2009) и рекомендации Протоколов по организации изучения макромицетов на пробных площадях (Mueller et al., 2004). На заранее выбранном ключевом участке закладывалась пробная площадь (ПП, 500 м<sup>2</sup>), состоящая из 10 учетных площадок, каждая в виде окружности с радиусом 4 м и площадью 50 м<sup>2</sup>. С учетных площадок производили сбор всех встреченных плодовых тел макромицетов. Учет однократный, его момент совпадает с периодом массового плодоношения грибов в большинстве местообитаний. В лабораторных условиях разбирали коллекции по каждой площадке – определяли число видов, число плодовых тел (ПТ) каждого вида, их массу. Образцы, требующие специальных методов идентификации, гербаризировали и определяли по общепринятым методам. Получен-

ные результаты заносили в особые ведомости и обобщали в формате «грибной карты» – списка видов грибов, в котором приведены ценотические показатели микобиоты как в целом по местообитанию, так и по каждому виду.

В вегетационный сезон 2014 г. на территории Сыктывдинского района Республики Коми заложили три ПП в разных типах старовозрастных сосновых лесов: бруснично-зеленомошном с пятнами лишайников, лишайниковом и бруснично-чернично-зеленомошном. Это типичные сосняки, широко распространенные в центральной части республики с характерной для умеренно населенных местностей степенью антропогенной нагрузки.

На заложенных площадях выявлено в общей сложности 127 видов макромицетов, в том числе 17 – новые для Республики Коми. Наибольшее число видов (59) отмечено в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном, наименьшее – сосняке лишайниковом (55) (см. таблицу). Приведенные данные по числу выявленных видов характеризуют фазу массового плодоношения позднелетнего слоя – основного слоя грибного сезона на территории республики. С учетом других периодов «грибного» года видовые списки для этих местообитаний могут быть несколько расширены.

Оценка биоразнообразия микобиоты с помощью специальных индексов, построенных по двум критериям (обилию и биомассе видов), показала, что наиболее сложная по составу и богатая видами группировка характерна для сосняка бруснично-чернично-

#### Результаты статистической оценки биоразнообразия макромицетов в исследованных местообитаниях

Показатели	ПП 1. Сосняк бруснично-зеленомошный	ПП 2. Сосняк лишайниковый	ПП 3. Сосняк бруснично-чернично-зеленомошный
Видовое богатство, видов/500 м <sup>2</sup>	57	55	59
Индекс Симпсона*	0.069 (0.122)	0.128 (0.093)	0.065 (0.108)
Индекс Бергера-Паркера*	0.189 (0.272)	0.311 (0.178)	0.115 (0.208)
Индекс Шеннона	3.143	2.785	3.129
Плотность ПТ, шт./1 тыс. м <sup>2</sup>	2206.0	4356.0	3140.0
Продуктивность микоценоза, кг/га	103.4	148.8	77.6
Индекс редкости, M (S)	2.03 (1.56)	1.82 (0.83)	2.04 (1.10)
Соотношение Mr/St, %**	52.6 / 47.4	78.2 / 21.8	47.5 / 52.5

\* Значения без скобок рассчитаны по обилию ПТ видов, в скобках – по биомассе;  
\*\* трофические группы грибов: Mr (микоризообразователи), St (сапротрофные виды).

зеленомошного (ПП 3), так как значение индексов доминирования Симпсона и Бергера-Паркера здесь было наименьшим (см. таблицу). Микобиота сосняка лишайникового отличается доминированием отдельных мелких видов с высокой плотностью (обилие *Cortinarius bayeri* (1356 шт./1 тыс. м<sup>2</sup>) в 3.5 раза выше других видов). Значительная биомасса *Cortinarius caperatus* (28 кг/га) выделяет сосняк бруснично-зеленомошный с пятнами лишайников, как наименее выровненную по составу таксонов с крупными плодовыми телами группировку – индексы доминирования по биомассе здесь максимальные (см. таблицу, в скобках). Неравенство в структурах микобиот объясняется, прежде всего, степенью благоприятности экологических условий во включающих их биоценозах. Если они хороши для большинства видов грибов – уровень доминирования будет невысоким, как в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном (ПП3). Ухудшение условий выведет в лидеры несколько наиболее толерантных видов, что найдет отражение в значении индекса доминирования: чем хуже условия обитания, тем он будет выше.

Значения индексов продуктивности (плотность ПТ и их биомасса) для изученных группировок представлены в таблице. При их анализе можно столкнуться с интересным парадоксом. Наибольшей продуктивностью грибов отличается самый бедный питательными веществами тип местообитаний – сосняк лишайниковый (общая плотность ПТ – 4356 шт./1 тыс. м<sup>2</sup>, а суммарная продуктивность – 148.8 кг/га). В то время как в местообитаниях с богатыми субстратами микобиоты менее продуктивны. Так, в сосняке бруснично-чернично-зеленомошном отмечена наименьшая суммарная биомасса видов (77.6 кг/га), а в бруснично-зеленомошном – наименьшая плотность (2200 шт./1 тыс. м<sup>2</sup>). Объяснить этот факт можно, представив соотношение между видами грибов из ведущих трофических групп (симбиотрофы и сапротрофы) (см. таблицу). Так, в сосняке лишайниковом (ПП 2) доля микоризообразователей почти в 3.5 раза выше, чем сапротрофных. Совместное, взаимовыгодное существование деревьев и грибов в полной мере компенсирует бедноту субстратов и позволяет относительно благополучно существовать обоим членам симбиоза – наземные грибы реагируют на это обильным плодоношением. Кроме того, симбиотрофные виды грибов образуют крупные ПТ (масса одного ПТ микоризного вида в 10 раз больше сапротрофного) и тем самым вносят существенный вклад в формирование биомассы микобиоты. Численное преобладание «более легких» сапротрофных видов – причина низкой биомассы грибов в относительно богатом биоценозе сосняка бруснично-чернично-зеленомошного.

Из числа дополнительных ценотических параметров нами изучены частота встречаемости видов в границах местообитания и индекс редкости микобиоты. Первый показатель показывает степень распространенности вида в пределах местообитания. Определяется как отношения числа учетных площадок, на которых встречен вид, к общему числу площадок. Наиболее важными будут виды с высокими значениями частоты встречаемости (60% и более). Для всех изученных микобиот набор распространенных видов возглавляют виды рода *Cortinarius* (55-62% от состава важных видов), вступающие в симбиоз с сосной, за исключением сосняка бруснично-чернично-зеленомошного, где микоризообразователи отодвигаются на второй план сапротрофами (суммарная доля 70%). В сосняке лишайниковом состав наиболее распространенных видов дополняют микоризообразователи (*Lactarius*, *Amanita*), способные обитать на бедных субстратах, и сапротрофы на подстилке (*Mycena*, *Collybia*, *Coltricia*). В сосняках зеленомошных к группе деструкторов добавляются также виды, связанные с зелеными мхами (*Cystoderma*, *Galerina*). Частота встречаемости – важный параметр, он позволяет оценить степень распространения подземного вегетативного тела гриба в пределах местообитания. При мониторинговых исследованиях тренд к уменьшению значения частоты встречаемости будет свидетельствовать об ухудшении условий обитания и деградации мицелия вида.

На основании данных по степени распространения вида в таежной зоне, полученных из литературных источников, редкость каждого вида оценивали по 10-балльной шкале. Первые пять позиций оценивали по частоте встречаемости, а с 6 по 10 – применяли для видов, занесенных в Красную книгу Республики Коми, соседних регионов и России. Среднее арифметическое значение баллов оценки редкости по всем видам микобиоты дает индекс редкости. Оценка участков по данному индексу представляет большой интерес при проведении обследований, поскольку дает возможность количественно оценить качество грибной компоненты, а следовательно, и природоохранную ценность территории. Такая информация может найти применение при подготовке обоснований к организации новых либо при оценке уже существующих особо охраняемых природных территорий.

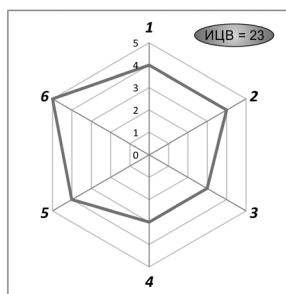
В нашем случае наименьшее значение индекса редкости отмечено для сосняка лишайникового (1.8), т.е. данная микобиота включает обычные, широко распространенные виды (см. таблицу). Наиболее ценной территорией является сосняк бруснично-зеленомошный, так как для него больше значение стандартного отклонения (S), которое очень чувствительно к присутствию редких видов.



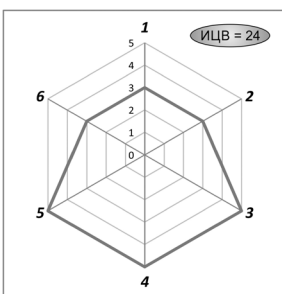
Подвести итог под представленными выше результатами позволяет суммарный индекс ценотической важности микобиоты, в котором обобщены значения всех рассмотренных выше флористических и ценотических показателей для изученных группировок. Каждый показатель оценивали по пятибалльной шкале (5 – максимальное значение). На рисунке видно, что по совокупности оценок лидирует микобиота сосняка бруснично-чернично-зеленомошного и ее доминирующее положение обеспечено высоким видовым разнообразием (оси 1, 2 и 3) – важнейшим показателем, обеспечивающим устойчивость существования биоценоза.

Грибная компонента сосняка лишайникового стоит на втором месте по оценке ценотической важности. Специфика данной группировки – низкое видовое богатство, что вызвано, прежде всего, бедностью субстратов. Высокое значение показателей продуктивности (см. рисунок, оси 4 и 5) может иметь двойное трактование. С одной стороны – это следствие того, что виды, слагающие биоту, имеют хорошую жизнеспособность и достаточно ресурсов к воспроизводству. С другой стороны, возможно, что в данном случае наблюдается проявление закона «фруктификации в результате страдания», когда виды увеличивают интенсивность плодообразования в неблагоприятных условиях, чтобы обеспечить воспроизводство мицелия в другом месте. Для уточнения причины необходимы дополнительные исследования.

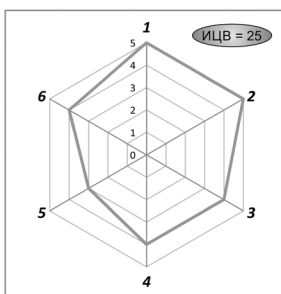
По результатам оценки, сосняк бруснично-зеленомошный с пятнами лишайников можно охарактеризовать как наименее устойчивое сообщество с невысоким видовым разнообразием и продуктивностью грибов. Следует обратить внимание на это местообитание –



Сосняк бруснично-зеленомошный с пятнами лишайников



Сосняк лишайниковый



Сосняк бруснично-чернично-зеленомошный

Круговые диаграммы флористических и ценотических признаков микобиот изученных местообитаний. *Обозначения осей:* 1 – число видов; 2 – ИДС (обилие видов); 3 – ИДС (биомасса); 4 – плотность ПТ; 5 – биомасса ПТ; 6 – индекс редкости.

обеспечить мониторинг состояния микобиоты. Необходимость этого подчеркивает и высокая доля редких видов в ее составе (см. рисунок, ось 6).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Feest A.* A practical methodology for surveying the macrofungus flora (Agarics, Boletes and Gasteromycetes) of a site for conservation // *Journal of Practical Ecology and Conservation*, 1999. Vol. 3. P. 23-32.

*Feest A.* Establishing baseline indices for the quality of the biodiversity of restored habitats using a standardized sampling process // *Restoration Ecology*, 2006. Vol. 14. № 1. P. 112-122.

*Feest A.* The biodiversity quality of forest macrofungi and forest management // *Management of Environmental Quality: An International journal*, 2009. Vol. 20. № 1. P. 21-32.

*Mueller G.M.* et al. Recommended protocols for sampling macrofungi / *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. Amsterdam; Boston: Elsevier, 2004. P. 106-172.

### ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ШЕКСНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**О.Г. Лопичева**

Вологодский государственный университет  
E-mail: [olga2008.08@bk.ru](mailto:olga2008.08@bk.ru)

Развитие фитопланктона равнинных водохранилищ происходит в условиях своеобразного уровня режима, и ход его межгодовой и сезонной динамики могут резко изменять техногенные факторы. Регулирование стока для судоходства и попуски ГРЭС особенно сильно сказываются на колебаниях уровня воды в прибрежных участках, что наряду с ветровым и волновым воздействием создает крайне нестабильный режим для существования фитопланктонных сообществ. Поэтому изучение фитопланктона прибрежной части водохранилищ дает возможность выявить его особенности в условиях специфической гидродинамической обстановки.

Исходя из вышеизложенного, цель работы – исследование особенностей фитопланктона в прибрежье речной части Шекснинского водохранилища (далее ШВДХ).

Данное водохранилище было образовано в 1963 г. в результате перекрытия р. Шексны для создания водораздельного участка Волго-Балтийского водного пути. Оно соединило Белое озеро с р. Вытегрой, относящейся к бассейну Балтийского моря. По морфометрическим показателям ШВДХ может быть разделено на три

участка: речная часть, Белое озеро, Ковжинский участок и водо-раздельный канал.

Выбранная для исследования речная часть водохранилища отличается повышенной динамикой водных масс. Здесь высокая скорость перемешивания водных масс связана с ветровыми течениями, а стоковые течения сильно варьируют в зависимости как от сезона, так и режима работы гидросооружений (Литвинов, 2002).

Модельный участок для исследований был выбран в прибрежной открытой зоне воды без зарослей макрофитов, где отмечалась наибольшая прибойно-волновая активность водных масс за счет интенсивного судоходства. Кроме того, он находился в зоне влияния канала Северо-Двинской системы, который впадает в данном районе в Шекснинское водохранилище (дер. Топорня). На формирование фитопланктона значительное воздействие также оказывала повышенная мутность воды, что связано с динамикой водных масс и характером грунта, представленного илистыми песками.

Актуальность наших исследований определяется отсутствием данных по состоянию фитопланктона в прибрежной зоне ШВДХ, так как имеющиеся материалы его многолетнего изучения Институтом биологии внутренних вод им. Папанина РАН (1976-1977 и 1994-1995 гг.) и Вологодской лабораторией «ГосНИОРХ» (2009-2014 г.) касаются только фарватерной зоны. Помимо того, при единовременных сборах проб не ставилась задача непрерывного изучения динамики фитопланктонного сообщества в определенный промежуток времени. В то же время последовательное изучение его динамики позволяет выявить ситуационный отклик показателей его сообщества на изменение гидродинамической обстановки.

Для этого отбор проб фитопланктона производился ежедневно в одно и то же время суток (14-15 ч) с 3 по 6 июня 2014 г. в поверхностном слое. Пробы фиксировались раствором Люголя и затем концентрировались осадочным методом. Камеральная обработка проводилась в лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Кольского НЦ РАН в г. Апатиты. Численность фитопланктона рассчитывалась по стандартной формуле, биомасса определялась с помощью счетно-объемного метода. Полученные данные усреднялись (Методы..., 2003). Таксономическая принадлежность выявлялась с помощью ряда определителей, включая отечественные и иностранные источники. Для сравнительного анализа уровня развития фитопланктона использовались литературные данные и фондовые материалы.

В целом, фитопланктон ШВДХ характеризуется богатством таксономического состава. Всего за период исследования данного

водоема, начиная с 1955 г., было обнаружено 1105 видов, разновидностей и форм (Корнева, 2002). По данным 1995 г., в речной части водохранилища на станциях, расположенных вдоль фарватера, найдено 470 видов, разновидностей и форм. Средняя биомасса водорослей в мае, среди которых преобладали диатомовые, составляла  $3.86 \text{ г/м}^3$  при численности 3247 тыс. кл./л (Корнева, 2002). Анализ фондовых материалов Вологодской лаборатории «ГосНИОРХ» по изучению фитопланктона в зоне фарватера речной части ШВДХ в летний период с 2009 по 2014 г. показал возрастание количественных показателей и значительный размах их вариабельности. Максимальные величины отмечены в 2009-2010 гг., когда численность фитопланктона достигала 19 733-21 085 тыс. кл./л при биомассе 2.1-7.5  $\text{г/м}^3$  соответственно. Затем наблюдалось снижение уровня его развития, и в 2011-2013 гг. численность колебалась в пределах 8178-15 292 тыс. кл./л при биомассе 1.7-3.1  $\text{г/м}^3$  (Материалы..., 2014).

В 2014 г. численность фитопланктона в зоне фарватера речной части ШВДХ уменьшилась до 6720 тыс. кл./л, а биомасса – до 1.3 мг/л при массовом развитии мелких синезеленых водорослей, являющихся индикаторами эвтрофирования водоема.

Данная группа преобладала в фитопланктонном сообществе, достигая по численности 89%, диатомовые водоросли составляли около 8%. Остальные группы имели незначительную долю в сообществе: зеленые – 1.5%, криптофитовые – 0.7, а эвгленовые – всего 0.07%.

Исследования прибрежного участка, проведенные в данный период, выявили иное соотношение доминантов в таксономической структуре фитопланктона по сравнению с открытой частью водохранилища. В целом, в прибрежной зоне доминировали диатомовые водоросли, составляя в среднем 51.5%. К субдоминантам относились зеленые (35%), меньшее значение имели синезеленые водоросли (10) и криптофитовые (5). Отличия в доминирующем комплексе объясняются иными условиями обитания водорослей в прибрежной зоне с высокой гидродинамической активностью водных масс. Это отрицательно воздействует на колонии синезеленых водорослей, которые разрушаются. В то же время, повышение доли диатомовых происходит за счет бентосных форм, которые вымываются из донных илистых отложений при взмучивании.

Наблюдения за изменением таксономического состава фитопланктона в течение нескольких дней показали, что диатомовые водоросли занимали постоянно доминирующее положение. Их доля в сообществе (3-6 июня 2014 г.) составляла 62, 45, 48, 51% соответственно (рис. 1). Однако в этот период изменялась доля

групп, которые становились субдоминантами. Сначала это были зеленые водоросли (38%), затем их сменили синезеленые (30%). На третий день наблюдений субдоминантами стали криптофитовые (35%), а затем – снова зеленые (31%). Подобную смену можно рассматривать как ситуационный отклик на изменение локальной гидродинамической обстановки. Остальные группы водорослей дополняли общую картину временного распределения в исследуемом прибрежном участке. Так, эвгленовые составляли 0,5, 5, 2, 2,5%, а доля золотистых колебалась от 0 до 5%. В течение всего периода наблюдений к массовым видам относились водоросли из отдела диатомовых – *Cyclotella*, *Stephanodiscus*.

Прслеженная нами динамика количественных показателей характеризовалась незначительным повышением численности и биомассы: от 3200 (первый день наблюдений) до 3850 тыс. кл./л (последний день) и от 3.12 до 3.82 г/м<sup>3</sup> соответственно (рис. 2). Исключение составляли данные второго дня наблюдений, когда численность снизилась до 2620 тыс. кл./л, а биомасса – до 2.2 г/м<sup>3</sup>. Причину этого можно объяснить тем, что место субдоминанта временно заняли более мелкие синезеленые водоросли, и, в частности, *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Komárková-Legnerová et Gronberg.

Следует отметить, что уровень развития фитопланктона в прибрежном участке был сравним с таковым для фарватерной зоны речной части ШВДХ в 1990-е гг., но отличался от данных 2014 г. Биомасса фитопланктона прибрежья была больше почти в три раза, чем в глубоководной зоне, но меньше по численности, что связано с отличиями в таксоно-

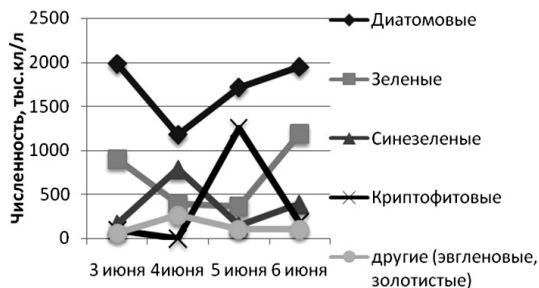


Рис. 1. Группы фитопланктона прибрежья речной части ШВДХ.

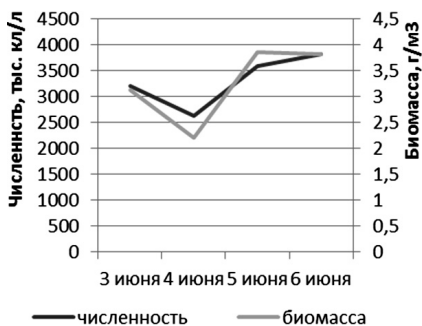


Рис. 2. Средняя численность и средняя биомасса фитопланктона прибрежья речной части ШВДХ.

мической структуре. Преобладание мелких синезеленых водорослей в фитопланктоне фарватерной части ШВДХ определяло более высокие показатели численности, а доминирование диатомовых в прибрежье, включавших крупные бентосные формы, повышало показатели биомассы. Когда в один из дней наблюдений синезеленые в прибрежной части стали субдоминантами, то биомасса сразу заметно снизилась.

Анализ многолетней динамики фитопланктона показывает, что в глубоководной части водохранилища происходит снижение численности фитопланктона из-за массового доминирования синезеленых водорослей. В целом, было отмечено, что прибрежье является своеобразным биотопом, где наблюдаются специфические условия обитания. Доминирующими видами являются представители отдела диатомовых водорослей, среди которых отмечаются в основном бентосные формы.

Таким образом, фитопланктон прибрежья речной части ШВДХ отличается от глубоководной зоны по таксономической структуре и количественным показателям. Доминирующими видами становятся представители отдела диатомовых водорослей, включая бентосные формы, которые вымываются в условиях активного перемешивания водных масс. Установленная в ходе ежедневных наблюдений смена субдоминантов в структуре фитопланктона отражает неустойчивую гидродинамическую обстановку. Это служит приоритетным фактором для формирования своеобразных условий существования планктонных сообществ в прибрежных биотопах вследствие нестабильного уровня режима водохранилища, ветрового воздействия и активной волно-прибойной деятельности, особенно на фоне интенсивного судоходства.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Корнева Л.Г* Фитопланктон // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: ЯГТУ, 2002. С. 90-105.

*Литвинов А.С* Гидродинамические процессы в водохранилище // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль: ЯГТУ, 2002. С. 23-39.

Материалы, обосновывающие общий допустимый улов водных биологических ресурсов в озерах Белом, Кубенском, Воже, Шекснинском водохранилище (речная часть) и малых водоемах Вологодской области на 2015 год (с оценкой воздействия на окружающую среду). Вологда, 2014.

Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: Методическое руководство. М.: Изд-во «Университет и школа», 2003. 158 с.

## СОСТАВ И ДИНАМИКА ДОМИНИРУЮЩИХ ГРУПП ВОДОРОСЛЕЙ В ФИТОПЛАНКТОНЕ КРУПНЫХ ОЗЕР ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ В 2009-2014 гг.

**Н.Н. Макаренкова**

Государственный НИИ озерного и речного рыбного хозяйства,

Вологодская лаборатория

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

Крупнейшими рыбохозяйственными водоемами на территории Вологодской области являются озера Воже, Кубенское и Белое. Озеро Воже (418 км<sup>2</sup>) принадлежит бассейну р. Онеги, его средняя глубина составляет 1.4 м, при этом для водоема характерны значительные внутри- и межгодовые колебания уровня воды (Веселова, 1979). Озеро характеризуется изрезанной береговой линией, что в сочетании с нестабильным уровнем воды и заболоченностью берегов обуславливает интенсивное развитие макрофитов. Кубенское озеро (417 км<sup>2</sup>) относится к Северо-Двинскому бассейну и является частью одноименного водного пути (Поляков и др., 1997). Морфо- и гидрологические особенности во многом сходны с оз. Воже, а также значительная антропогенная нагрузка обуславливают его интенсивное зарастание. Самым крупным водоемом, находящимся полностью в границах Вологодской области, является оз. Белое (1284 км<sup>2</sup>). Оно принадлежит бассейну верхней Волги, средняя глубина – 4.1 м (Веселова, Дружинин, 1981). Характерной чертой озера является интенсивное перемешивание воды в связи с мелководностью, открытостью и округлой формой. Литеральная зона с зарослями макрофитов выражена слабо.

Материалом для анализа динамики послужили пробы фитопланктона, отобранные батометром Паталаса (1 л) в пределах фотического слоя в мае, июне и августе на озерах Кубенском и Воже, и в октябре на Белом озере в течение 2009-2014 гг. Пробы фиксировались раствором Люголя и концентрировались отстойным методом. Качественная и количественная обработки проводились с использованием стандартных методик и определителей. Данные о температурах воздуха на метеостанциях «Вожега» (оз. Воже), «Вологда» (оз. Кубенское) и «Белозерск» (оз. Белое) взяты из электронного ресурса [gr5.ru](http://gr5.ru) «Расписание Погоды». URL: [http://gr5.ru/Архив\\_погоды](http://gr5.ru/Архив_погоды) (дата обращения 30.03.2015 г.).

Флористический список планктона крупных озер Вологодской области представлен видами из отделов диатомовые, синезеленые, зеленые, желтозеленые, золотистые, криптофитовые, эвгленовые и динофитовые водоросли.

Структуру фитопланктонного сообщества оз. Воже определяют диатомовые, синезеленые и зеленые водоросли. Как правило, на каждый из этих трех отделов приходится 20-30% всей биомассы, около 90% численности составляют синезеленые водоросли. Наиболее широко в нем представлены виды родов *Planktolyngbya* Anagn. & Komarek, *Pseudanabaena* Laut., *Aphanothece* Näg., *Scenedesmus* Meyen, *Pediastrum* Meyen.

В 2009-2014 гг. средняя биомасса водорослей планктона в озере изменялась в пределах от 3.0 до 7.2 г/м<sup>3</sup> (рис. 1). Максимальная среднегодовая биомасса фитопланктона была отмечена в 2010 г. и достигала значений 7.2 г/м<sup>3</sup>, минимальная – в 2012 г. – 3.0 г/м<sup>3</sup>. Сравнительно низкие величины биомассы в 2012 г. связаны в первую очередь со снижением уровня развития большинства групп водорослей в осенний период, что обусловлено погодными условиями: низкими температурами (рис. 4) и продолжительным периодом дождей. В 2014 г. биомасса фитопланктона составила в среднем 4.2 г/м<sup>3</sup>. Увеличение общей биомассы в сравнении с предыдущим годом определялось интенсивным развитием диатомовых и синезеленых водорослей.

Численность фитопланктона оз. Воже в течение указанных лет в среднем изменялась от 100 до 200 млн. кл./л (рис. 1). Наименьшая среднегодовая численность зафиксирована в 2009 г. (60 млн кл./л) при относительно высокой биомассе 5.5 г/м<sup>3</sup>. Высокой концентрации водоросли достигали в 2011 г., когда в течение нескольких теплых лет создавались благоприятные условия для развития синезеленых водорослей, и в 2014 г. также за счет преимущественно мелкоклеточных нитчатых и колониальных представителей синезеленых.

Динамика среднегодовых численности и биомассы фитопланктона оз. Воже определяется



Рис. 1. Средние численность и биомасса фитопланктона оз. Воже в 2009-2014 гг.

колебаниями уровня развития зеленых и синезеленых водорослей. Лишь в отдельные годы (2011 г.) на структуру планктонного сообщества значительное влияние оказывали также диатомовые.

Доминирующий комплекс фитопланктона оз. Кубенское образуют виды из отделов синезеленых и диатомовых. Они определяют



величину общей биомассы и численности фитопланктона в озере, составляя от 40 до более 70% массы (диатомовые) и от 60 до 90% – числа клеток (синезеленые). В меньшей степени развиваются зеленые водоросли, но обнаруживаются в течение всего периода наблюдений. Остальные группы водорослей встречаются периодически. Среди диатомовых, составляющих основную долю биомассы в течение всего вегетационного периода, доминировали виды рода *Aulacoseira*. В летний период также отмечались относительно высокие биомассы синезеленых водорослей, таких как *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah., *Dolichospermum circinale* (Rabenh. ex Born. et Flah.) Wacklin et al.

Средняя биомасса водорослей в озере изменялась за исследуемый период от 1.0 до 4.2 г/м<sup>3</sup> (рис. 2). Характер ее динамики определялся в первую очередь изменениями количества диатомовых и синезеленых водорослей. В течение нескольких лет (2009-2012 гг.) фиксировалось постепенное увеличение общей биомассы фитопланктона преимущественно за счет роста синезеленых водорослей, для которых высокий уровень развития был характерен даже в более прохладном 2012 г. Пик общей биомассы водорослей совпал с пиком биомассы синезеленых. В отличие от оз. Воже биомасса зеленых водорослей в анализируемый период изменялась незначительно и заметного влияния на общую биомассу не оказывала.

В оз. Кубенское общая численность составляла от 5 до 68 млн. кл./л (рис. 2). В 2012 г. отмечалась аномально высокая плотность планктонных водорослей (266 млн. кл./л) преимущественно за счет развития представителей отдела синезеленые. С 2013 г. наблюдается значительное снижение численности и массы фитопланктона. Характер динамики общей численности в озере определялся динамикой численности синезеленых водорослей: именно они обусловили высокий пик численности в 2012 г. и ее последующий резкий спад. Пик численности зеленых водорослей также совпал с общим пиком численности. Диатомовые водоросли имели максимальное количество в 2011 г., но и в 2012 г. их численность все еще была высокой. Наиболее резко изменялась концентра-

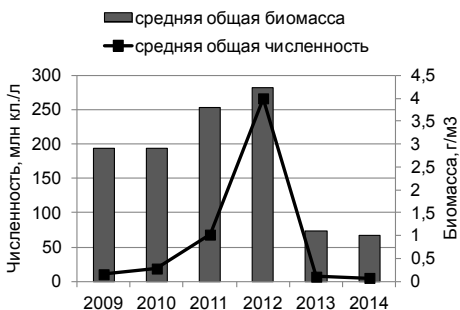


Рис. 2. Средние численность и биомасса фитопланктона оз. Кубенское в 2009-2014 гг.

ция синезеленых водорослей и в целом она растет, тогда как диатомовых и зеленых – снижается.

Фитопланктонное сообщество Белого озера формируется в первую очередь диатомовыми, синезелеными и зелеными водорослями, которые имеют наибольшие значения биомассы и численности на протяжении всего вегетационного периода. Осенью диатомовые водоросли составляют до 95% общей биомассы и до 20% всей численности, синезеленые – до 20 и 80% соответственно. Доминирующими видами в альгоценозе являются *Aulacoseira islandica* (Müll.) Sim., *A. granulate* (Ehr.) Sim, *Cymatopleura solea* (Br.) Smith, *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rab., *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm. (лето, осень), *Asterionella formosa* Hass. (осень) *Peridinium sp.* (весна), *Aphanizomenon flos-aquae*.

В течение 2009-2014 гг. общая биомасса водорослей в планктоне данного озера возрастала, и наибольшие показатели отмечались в 2013 г. (в среднем  $5.7 \text{ г/м}^3$ ). Это обеспечивалось интенсивным развитием нитевидных колоний – представителей центрических из рода *Aulacoseira* Thw. (*A. italica* (Ehr.) Sim, *A. granulate*). Их достаточно крупные створки в высоком количестве встречались на большинстве станций отбора проб. При этом в 2012-2013 гг. наблюдалось снижение общей численности фитопланктона, прежде всего, за счет уменьшения концентрации синезеленых водорослей. Минимальные показатели биомассы водорослей отмечались в годы, когда в условиях повышенных летних температур интенсивно развивались мелкоклеточные представители этого отдела водорослей. В эти же годы общая численность, наоборот, увеличивалась. В 2014 г. общая биомасса была несколько ниже в сравнении с предыдущим годом, а численность клеток возросла, что определялось увеличением доли синезеленых в сообществе



Рис. 3. Средние численность и биомасса фитопланктона оз. Белое в 2009-2014 гг.

в течение вегетационного сезона. В целом, значения биомассы фитопланктона изменялись в пределах от 1.6 до  $5.7 \text{ г/м}^3$ , а численности – от 6 до 31 млн. кл./л (рис. 3). Кривая изменений общей биомассы в озере в большей степени повторяет кривую динамики развития диатомовых водорослей: несмотря на колебания численности, с 2010 г. биомасса увеличивалась, и пик ее отмечался

в 2013 г. Это определялось тем, что основную биомассу в озере создавали немногочисленные крупные клетки диатомовых. Также наблюдается тенденция увеличения биомассы синезеленых. Для синезеленых водорослей наибольшие показатели биомассы отмечались в 2011 и 2014 гг., когда значительно возросла и общая концентрация фитопланктона в озере.

Характер динамики общей численности в большей мере обуславливался изменениями количества синезеленых и диатомовых водорослей.

Анализ динамики численности и биомассы фитопланктона в крупных озерах Вологодской области выявил увеличение среднегодовой концентрации водорослей в озерах Воже и Кубенское на фоне снижения величин средней биомассы. Для оз. Белое характерна обратная закономерность. Это обусловлено, прежде всего, соотношением в фитопланктоне водоемов диатомовых и синезеленых водорослей. Зависимость уровня развития водорослей от среднегодовой температуры прослеживается в озерах Белое и Воже: максимальные количественные показатели были отмечены в годы с наибольшими температурами.

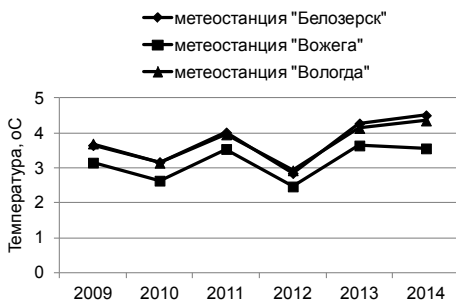


Рис. 4. Среднегодовые температуры воздуха 2009-2014 гг.

#### ЛИТЕРАТУРА

Веселова М.Ф., Дружинин Г.В. Природные условия, этапы освоения и история исследования // Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Ч. I. Гидрология и гидрохимия озера Белого. Л., 1981. С. 5-24.

Веселова М.Ф. Природные условия бассейна озер // Гидрология озер Воже и Лаче. Л., 1979. С. 3-18.

Поляков М.М., Поливанов В.С., Белый А.В. Опыт комплексной оценки современного экологического состояния бассейна Кубенского озера // Вопросы региональной геоэкологии. Вологда: ВоПИ, 1997. С. 134-143.

## КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ЗАПАДНОМ МАКРОСКЛОНЕ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

**А.В. Манов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

В настоящее время уделяется большое внимание изучению динамики лесных сообществ и их компонентов под влиянием изменения климата. В экстремальных условиях реакция лесных экосистем на климатические факторы выражена более четко. Однако метеорологическая ситуация, даже в пределах однородной климатической области, может быть весьма разнообразной. Так, Ю.В. Шалаумовой с соавт. (2010) во второй половине XX столетия установлен градиент повышения температуры воздуха и осадков в северо-восточном направлении в пределах Уральской горной системы. Поэтому можно ожидать, что древесные растения в разных географических точках Урала могут по-разному реагировать на изменения климата. На Приполярном Урале дендрохронологические исследования активно проводятся в лесных экосистемах восточного макросклона хребта. По результатам этих работ установлено, что основным фактором, ограничивающим рост и развитие лиственницы в условиях холодного и влажного климата, является, прежде всего, недостаток тепла в летние месяцы.

Настоящая работа направлена на выявление закономерностей климатически обусловленного колебания радиального прироста деревьев лиственницы, произрастающей на западном макросклоне Приполярного Урала.

Район исследования относится к территории Уральской горной страны в пределах Западно-Приполярноуральской природной провинции. Это наиболее высокая часть горной системы Урала. Климат района – холодный и влажный, с неустойчивой погодой, что обусловлено воздействием воздушных арктических масс, поступающих из Сибирского сектора Арктики.

Лиственница (р. *Larix Mill*) на Урале способна произрастать в пессимальных условиях, в подгольцовом и горно-лесном поясах растительности. Изученные нами лиственничники находятся на трех дендроклиматических участках на высотах 410-600 м над ур.м., имеющих названия располагающихся рядом географических объектов: оз. Водэты, Межгорные озера и хребет Япतिकнырд.

Статистические показатели качественной оценки полученного дендрохронологического материала приведены в таблице. В це-

## Статистические показатели обобщенных древесно-кольцевых хронологий

Хронология	N	r	SD	Skew	Sens	Ar1	EPS>0.85
Водэты	39	<u>0.72</u> 0.76	<u>0.61</u> 0.41	<u>0.82</u> 0.59	<u>0.39</u> 0.50	<u>0.68</u> 0	1804-2012
Яптикнурд	19	<u>0.73</u> 0.80	<u>0.55</u> 0.45	<u>0.73</u> 0.44	<u>0.44</u> 0.53	<u>0.52</u> -0.02	1848-2011
Межгорные озера	23	<u>0.68</u> 0.76	<u>0.50</u> 0.41	<u>0.60</u> 0.24	<u>0.41</u> 0.50	<u>0.49</u> -0.01	1833-2011
Генерализованная хронология	81	<u>0.64</u> 0.72	<u>0.56</u> 0.42	<u>0.74</u> 0.46	<u>0.41</u> 0.51	<u>0.59</u> -0.01	1804-2012

*Примечание.* N – число деревьев в хронологии; r – межсерийный коэффициент корреляции; SD – стандартное отклонение; Skew – асимметрия; Sens – коэффициент чувствительности; Ar1 – автокорреляция первого порядка; EPS – общий популяционный сигнал хронологии. В числителе представлены расчеты по стандартным, в знаменателе – остаточным древесно-кольцевым хронологиям.

лом, они указывают на достоверность построенных дендрохронологических рядов и на значительное влияние абиотических факторов на радиальный прирост лиственницы. Это позволило объединить древесно-кольцевые хронологии участков в генерализованную хронологию для верхней границы леса западной части Приполярного Урала.

Несмотря на разные типы условий местообитания лиственницы в трех точках отбора образцов, представленные на едином графике остаточные древесно-кольцевые хронологии показывают синхронную погодичную динамику радиального прироста ствольной древесины (рис. 1). Наглядно отмечаются схожие периоды аномального прироста годовичных колец, доказывающие наличие в хронологиях общего для всего района исследования климатического сигнала.

Для сопоставления древесно-кольцевых хронологий с погодными условиями в работе был использован архив инструментальных метеоданных с суточным ходом температуры воздуха и атмосферных осадков по метеостанции «Печора», ведущей непрерывные наблюдения с 1944 г.

Степень воздействия температуры воздуха и осадков за вегетационный период (май-сентябрь) на радиальный прирост деревьев лиственницы в условиях верхней границы леса представлена на рис. 2. У всех хронологий отмечается значимая положительная связь ширины годовичных колец с температурными условиями июня ( $r = 0.29-0.47$ ) и июля ( $r = 0.27-0.35$ ), в сентябре она становится отрицательной ( $r = -0.18...-0.23$ ). Майские и августовские температуры показывают самую низкую связь с приростом (рис. 2а).

В течение рассматриваемого календарного периода хронологии всех участков слабо соотносятся с количеством месячных осадков (рис. 26). Так, наиболее высокая отрицательная связь с осадками зафиксирована в мае ( $r = -0.06...-0.19$ ), положительная – в августе ( $r = 0.07-0.22$ ), в остальные месяцы она выражена слабо.

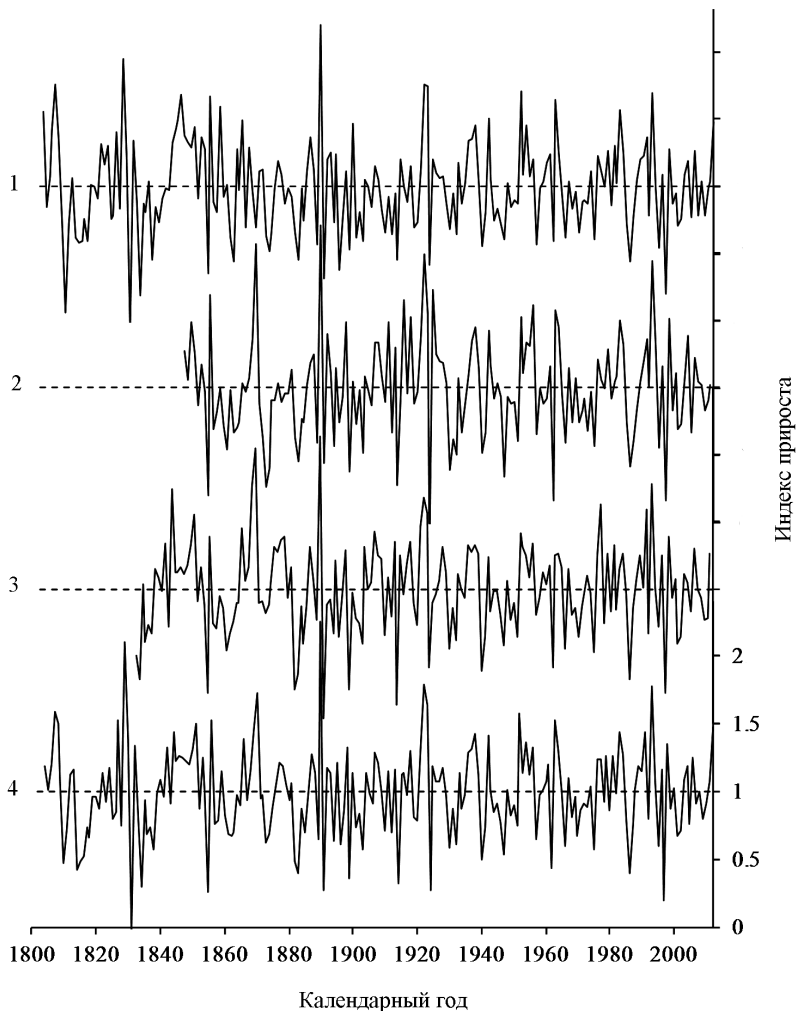


Рис. 1. Синхронная динамика индексированного радиального прироста лиственницы. 1 – «Водзты», 2 – «Яптикнырд», 3 – «Межгорные озера», 4 – генерализованная хронология.

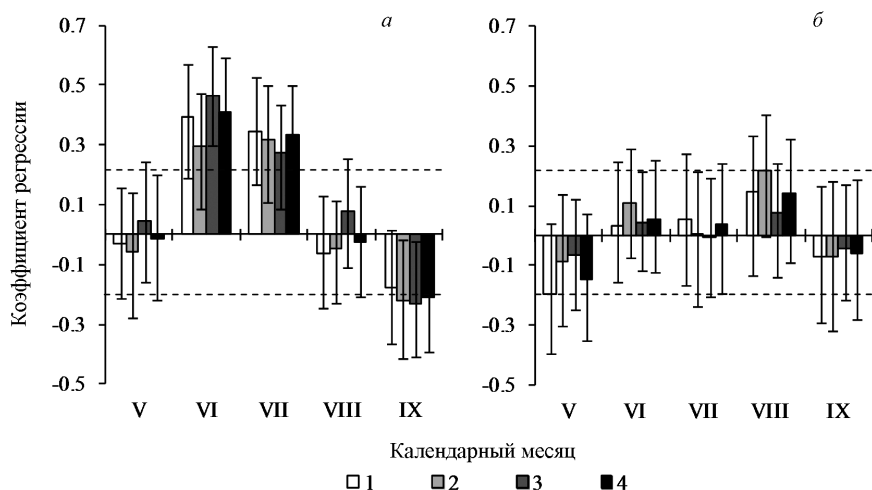


Рис. 2. Климатические функции отклика индексов прироста лиственницы (коэффициенты регрессии) на среднемесячные температуры воздуха (а) и суммы месячных осадков (б). 1 – «Водэты», 2 – «Яптикнырд», 3 – «Межгорные озера», 4 – генерализованная хронология. Пунктирные линии указывают на уровень значимости при  $p < 0.05$ , вертикальные – представляют собой 95%-ный доверительный интервал.

Ключевые интервалы климатического сигнала в ширине годовичных колец лиственницы с разных мест произрастания представлены на рис. 3. Выявлены периоды, имеющие статистически значимые положительные связи между средней многолетней температурой воздуха и остаточными древесно-кольцевыми хронологиями на участках: «Водэты» – с 26 мая по 15 июля, «Яптикнырд» – с 31 мая по 15 июля, «Межгорные озера» – с 16 мая по 20 июля (рис. 3а). Разные сроки начала активного реагирования радиального прироста лиственницы на температуру можно связать с экспозицией изучаемых участков. Так, реакция деревьев на тепло начинает раньше проявляется на «Межгорных озерах», где лиственница произрастает на хорошо прогреваемом солнцем юго-западном склоне хребта Западные Саледы. Позже всех она начинает проявляться на северном склоне хребта Яптикнырд, куда попадает рассеянный солнечный свет, что приводит к запаздыванию схода снежного покрова и, как следствие, сокращению вегетационного периода. Среднемноголетняя температура воздуха, переход через которую знаменуется положительной достоверной связью с радиальным приростом лиственницы, для участка «Водэты» составляет  $+8^{\circ}\text{C}$ , «Яптикнырд» –  $+10^{\circ}\text{C}$ , «Межгорные озера» –  $+5^{\circ}\text{C}$ . Не-

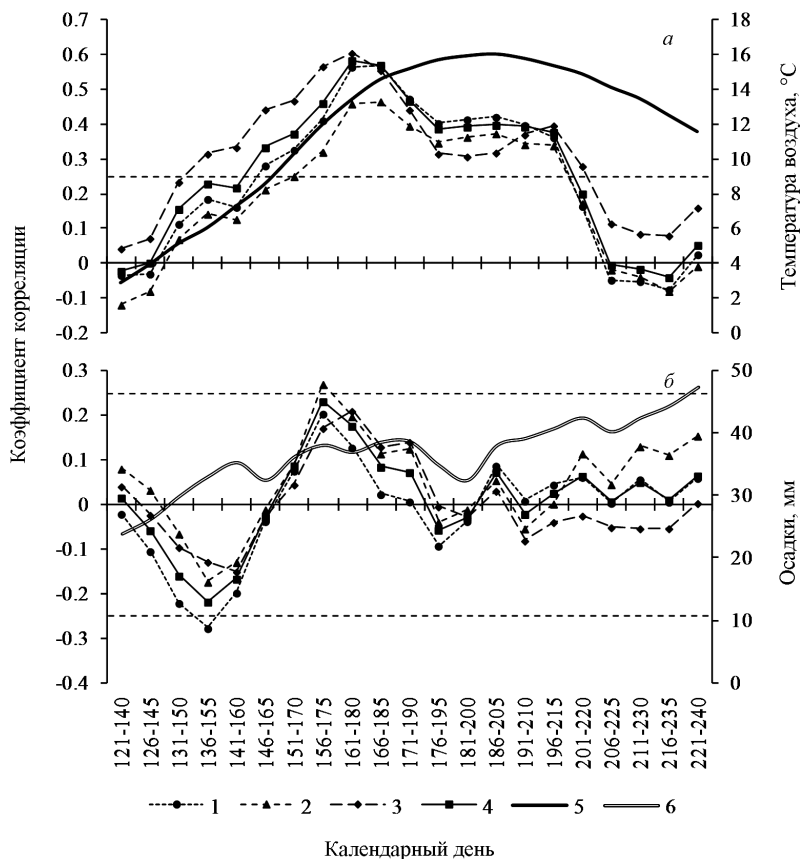


Рис. 3. Корреляция индексов прироста лиственницы со средней температурой воздуха (а) и суммой осадков (б) в «плавающей» окне шириной 20 дней. 1 – «Водэты», 2 – «Яптикнырд», 3 – «Межгорные озера», 4 – генерализованная хронология, 5 – среднемноголетние температуры воздуха, 6 – среднемноголетние осадки. Горизонтальные пунктирные линии указывают на уровень значимости при  $p < 0.05$ .

смотря на сдвинутые относительно друг друга сроки реагирования радиального прироста лиственницы на температурные условия окружающей среды в исследованных участках, во всех случаях лучший температурный сигнал приурочен ко второй декаде июня. В августе, при еще достаточной для роста лиственницы температуре воздуха, реакция ширины годичных колец на тепло не проявляется.



Значимая связь между среднегодовыми осадками вегетационного периода и хронологиями всех участков практически отсутствует (рис. 3б). При этом ширина годовых колец лиственницы с разных мест произрастания синхронно проявляет сигнал на количество выпавших осадков. Так, отрицательная реакция радиального прироста на осадки лучше всего выражена во второй половине мая, когда наблюдается избыточное увлажнение исследованной территории после схода снежного покрова, а положительная приурочена к периоду максимального воздействия температуры на прирост во второй декаде июня.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что ведущим климатическим фактором, определяющим темпы радиального прироста стволовой древесины лиственницы в пессимальных условиях верхней границы леса на западном макросклоне Приполярного Урала, является температура воздуха июня и июля. Это согласуется с опубликованными данными С.Г. Шиятова с соавт. (1992), характеризующими изменчивость радиального прироста лиственницы в высокогорьях на восточном макросклоне Приполярного Урала. Однако в западной провинции Приполярного Урала вклад июньской температуры в изменчивость радиального прироста выше июльской, в отличие от восточной провинции, где они примерно равнозначны. Реакция радиального прироста лиственницы на количество выпавших летом атмосферных осадков в пределах Приполярного Урала неоднозначная. Согласно С.Г. Шиятову с соавт. (1992), в восточной части возрастающее количество осадков в июне отрицательно влияет на прирост лиственницы, а в июле способствует развитию деревьев. Наши данные показывают обратную тенденцию, при этом связь между приростом и осадками в эти месяцы очень слабая.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Шалаумова Ю.В., Фомин В.В., Капранов Д.С.* Пространственно-временная динамика климата на Урале во второй половине XX века // *Метеорология и гидрология*, 2010. № 2. С. 44-54.

*Шиятов С.Г., Мазепина В.С., Фриттс Г.* Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев в высокогорьях Урала // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. Т. XIV. С. 125-134.

## ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ ВИДОВ В СИСТЕМЕ ЖИЗНЕННЫХ СТРАТЕГИЙ РАМЕНСКОГО-ГРАЙМА НА ОСНОВЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

**А.Б. Новаковский, Ю.А. Дубровский**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [novakovsky@ib.komisc.ru](mailto:novakovsky@ib.komisc.ru), [dubrovsky@ib.komisc.ru](mailto:dubrovsky@ib.komisc.ru)

Изучение динамики растительного покрова и прогнозирование его изменений под влиянием глобальных климатических факторов и локальных воздействий является достаточно актуальной задачей. Для изучения поведения растительных сообществ часто бывает целесообразно выделять функциональные типы растений, т.е. виды, сходным образом реагирующие на изменение условий среды. Одним из подобных обобщений стала концепция жизненных стратегий растений Раменского-Грайма – **CSR классификация** (Раменский, 1935; Grime, 1979), которая описывает особенности защитно-приспособительных механизмов, обеспечивающих функциональную пластичность и эффективное потребление ресурсов среды. Согласно этой концепции, выделяют три основных типа, различающихся по эффективности использования ресурсов среды и устойчивости к стрессу: конкуренты, рудералы и стресстолеранты.

Определение положения видов в CSR-системе – трудоемкая задача, требующая долговременных и дорогостоящих исследований физиологии, морфологии растений и их популяций. Поэтому необходима разработка подходов и методов для более простой оценки жизненных стратегий видов. Одной из наиболее разработанных моделей для определения жизненных стратегий является математическая модель Дж. Грайма (Hodgson et al., 1999).

Цель наших исследований – оценить работоспособность модели Дж. Грайма определения жизненных стратегий сосудистых растений в условиях севера и провести ее адаптацию.

Исследования проводили в условиях средней и северной тайги Республики Коми (окрестности г. Сыктывкара; бассейн верхнего течения р. Илыч) в период бутонизации-цветения (июль) у более 60 видов сосудистых растений, произрастающих в наиболее типичных местообитаниях. В анализ были включены виды разных жизненных стратегий (Grime, 1979) и эколого-ценотических групп (Дегтева, Новаковский, 2012).

Наряду с морфометрическими показателями, используемыми в модели: высота растений, удельная площадь листа (УПЛ), масса

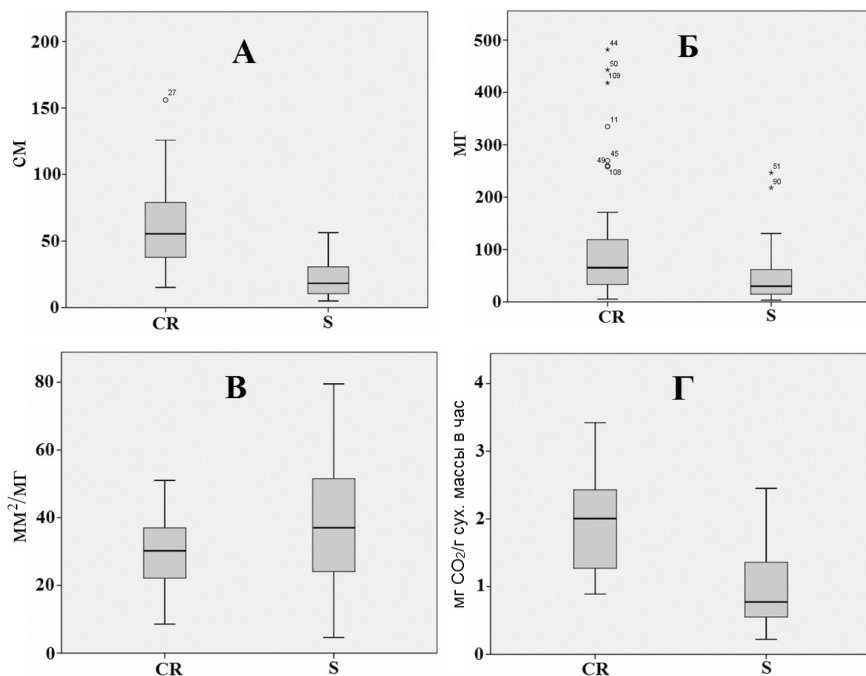
листа и процент обводненности, были проанализированы физиологические характеристики: фотосинтез, дыхание, содержание общего азота и углерода в листьях растений.

Высоту измеряли по вегетативным побегам, площадь листьев определяли по фотографии листовых пластинок, для масштаба использовали эталонный квадрат 5×5 см и линейку с ценой деления 1 мм. Фотоснимки анализировали при помощи специально разработанных программных средств (ImageJ, EasyTrace, ArcView). Сырую массу листьев определяли при помощи полевых весов с точностью взвешивания 0.01 г, сухую массу – на лабораторных весах с точностью измерений 0.001 г после сушки в течение 24 ч при температуре 80 °С. В сухой измельченной биомассе определяли содержание общего азота и углерода с помощью элементного CHNS-O анализатора EA-1110 (Италия). CO<sub>2</sub>-газообмен листьев изучали при помощи измерительных систем LI-7000 (LICOR, Inc, США) и LCPPro+ (ADC, Великобритания) на базе ИК-газоанализатора. Определение скорости видимого поглощения CO<sub>2</sub> проводили при 18-20 °С (зона температурного оптимума) и насыщающей ФАР (800-1200 мкмоль/м<sup>2</sup>с). Дыхание органов растений фиксировали при 20 °С по выделению CO<sub>2</sub> с помощью газометрической системы с инфракрасным газоанализатором Инфралит-4 (Германия). Все измерения проводились в 10-30-кратной повторности.

Проведенный сравнительный анализ морфофизиологических показателей выявил разделение видов растений на две группы: первая – с превалированием конкурентно-рудеральных свойств (CR-виды), вторая – с преобладанием стресс-толерантных свойств (S-виды). **CR-виды относят к быстрорастущим видам, которые характеризуются высокой скоростью роста и продуктивностью, а S-виды являются медленнорастущими, имеют низкую скорость роста и продуктивность (Маслова и др., 2010).**

Средняя высота CR-видов была в три раза больше, чем у S-видов (см. рисунок, А). Высота растений с CR-свойствами варьировала в широких пределах от 25-40 см для *Tussilago farfara* и *Taraxacum officinale* до 80-150 см у *Artemisia vulgaris* и *Chamerion angustifolium*. Высота растений с превалированием стресс-толерантных свойств колебалась от 7-10 (*Trientalis europea*, *Viola palustris*) до 20-40 см (*Dactylorhiza fuchsii*, *Gymnadenia conopsea*).

По сухой массе листьев наблюдается существенный разброс значений (коэффициент корреляции достигает 100%). Среди CR-растений встречаются виды как с низкой сухой массой, например: *Hypericum maculatum*, *Bromopsis inermis*, так и высокой – *Geranium sylvaticum*, *Filipendula ulmaria*. Сухая масса листа S-видов варьировала от 3 мг для *Antennaria dioica* до 175 мг (*Rubus*



Различия между конкурентно-рудеральной (CR) и стресс-толерантной (S) группами видов: А – по высоте, Б – сухой массе листьев, В – удельной площади листьев (УПЛ), Г – по скорости дыхания. Для CR-видов  $n = 37$ , для S-видов  $n = 31$ .

*chamaemorus*). В среднем наблюдается различие в два раза: 100 мг у CR-видов и 50 мг – у S-видов соответственно (см. рисунок, Б).

УПЛ является одним из наиболее информативных показателей для определения жизненных стратегий, который характеризует «затраты» растений на построение единицы площади листа. Анализ показал, что УПЛ видов растений с превалированием CR-свойств была ниже по сравнению с S-видами (см. рисунок, В). УПЛ для CR-видов варьировал от 15-25 мм<sup>2</sup>/мг для злаков (*Elytrigia repens*, *Bromopsis inermis*) до 35-50 мм<sup>2</sup>/мг – у *Calamagrostis purpurea* и *Geranium sylvaticum*. Наибольшие значения УПЛ у S-видов отмечены для теневыносливых растений лесной эколого-ценотической группы – до 60 мм<sup>2</sup>/мг (*Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*). S-виды открытых местообитаний (*Rubus chamaemorus*, *Pyrola rotundifolia*), относящихся к болотной и тундровой эколого-ценотической группе, имели невысокие значения УПЛ (около 20 мм<sup>2</sup>/мг). Следует отметить, что параметр УПЛ имеет го-

раздо более низкую вариабельность по сравнению с сухой массой и площадью листа, что делает его наиболее пригодным для задач моделирования.

Относительная скорость роста является интегральной характеристикой растений, которая существенно зависит от интенсивности физиологических процессов, в том числе скорости дыхания. Результаты наших исследований показали, что скорость дыхания СR-видов была в два раза выше по сравнению с S-видами (см. рисунок, Г). Наибольшие показатели отмечены для *Geranium sylvaticum*, *Crepis sibirica* – 3 мг CO<sub>2</sub>/г сухой массы ч. У S-видов это значение составляло около 1 мг. Наименьшая скорость дыхания отмечена для *Paris quadrifolia* – 0.3 мг CO<sub>2</sub>/г сухой массы ч.

Таким образом, сравнительное изучение растений с разным типом жизненной стратегии показало, что виды различаются по морфо- и физиологическим параметрам, что делает их пригодными для построения моделей.

Верификация исходной модели Дж. Грайма показала (см. таблицу), что для 50% видов наблюдается высокое сходство между эталоном и результатом модели, для 31% изученных видов – низкое сходство, для 19% отмечено сильное расхождение модели и эталона. Наибольшее несоответствие выявлено для S-видов растений лесной эколого-ценоотической группы (*Trientalis europaea*, *Oxalis acetosella*, *Viola palustris*). Эти виды произрастают в условиях сильного затенения и характеризуются высокими значениями УПЛ.

Таким образом, исходная модель показала относительно невысокую сходимость, особенно для теневыносливых видов, и не может использоваться для определения жизненных стратегий сосудистых растений в условиях севера, что обусловлено существенными различиями в климате, экологических и ценоотических особенностями исследованных территорий.

Исходя из вышесказанного, была проведена адаптация модели Дж. Грайма для условий бореальной зоны. Адаптация включала в себя выбор наиболее подходящих наборов параметров, построение новых коэффициентов линейной регрессии и оценку их статистической значимости. Для оси конкурентности наиболее значимыми параметрами оказались: высота растений, пространственного распределения и дыхательная активность. Для оси стресс-толерантности определяющими параметрами были высота, УПЛ и скорость дыхания. Параметры высоты и скорости дыхания имели обратную связь. Для оси рудеральности – это масса листьев, УПЛ, процент сухого вещества, пространственное распределение и скорость дыхания.

**Сравнение эталонных жизненных стратегий  
и полученных из исходной и адаптированной моделей**

Вид	1	Модель Дж. Грайма		Адаптированная модель	
		2	3	2	3
<i>Amoria repens</i>	CR/CSR	CR	1	SC/CSR	1
<i>Antennaria dioica</i>	SR/CSR	R/CR	2	S/CSR	1
<i>Artemisia vulgaris</i>	C/CR	CR	1	C/CSR	1
<i>Bromopsis inermis</i>	C	C	0	C/CR	1
<i>Calamagrostis purpurea</i>	C/SC	C/CR	1	C/SC	0
<i>Chrysosplenium alternifolium</i>	R/CSR	CR	1	S/CSR	2
<i>Filipendula ulmaria</i>	C/SC	C	1	C/SC	0
<i>Fragaria vesca</i>	S/CSR	C/SC	2	SC	1
<i>Geranium sylvaticum</i>	CSR	C/CR	2	C/CR	2
<i>Geum rivale</i>	S/CSR	CR	3	SC/CSR	1
<i>Hypericum maculatum</i>	CR/CSR	CR	1	SC	2
<i>Leucanthemum vulgare</i>	CR/CSR	CR	1	SR/CSR	1
<i>Melampyrum pratense</i>	R/SR	R/CR	1	S/CSR	2
<i>Omalotheca sylvatica</i>	SR/CSR	CR	2	SC/CSR	1
<i>Oxalis acetosella</i>	S/CS	CR	3	S/CSR	1
<i>Phalaroides arundinacea</i>	C	C/CSR	1	C	0
<i>Plantago media</i>	R/SR	CR	2	S/CSR	2
<i>Poa pratensis</i>	CSR	SC	2	C/SC	2
<i>Polemonium caeruleum</i>	CSR	CR	2	CR/CSR	1
<i>Prunella vulgaris</i>	CSR	CR	2	SC/CSR	1
<i>Pyrola rotundifolia</i>	S	C/SC	3	SC	2
<i>Ranunculus repens</i>	CR	CR	0	C/CR	1
<i>Rubus chamaemorus</i>	SC/CSR	SC	1	SC	1
<i>Rumex acetosella</i>	SR/CSR	R/CR	2	CSR	1
<i>Sanguisorba officinalis</i>	C/CSR	CR	1	SC/CSR	1
<i>Thalictrum minus</i>	S/CSR	CR	3	SC/CSR	1
<i>Trientalis europaea</i>	S/CSR	C/CR	3	S/CSR	0
<i>Trifolium pratense</i>	CR	CR	0	C/CR	1
<i>Tussilago farfara</i>	C/CR	CR	1	SR/CSR	2
<i>Valeriana wolgensis</i>	CSR	CR	2	C/CR	2
<i>Vicia sepium</i>	C/CSR	C	1	C/CR	1
<i>Viola palustris</i>	S/CS	CR	3	S/CSR	1

Примечание. 1 – исходная (эталонная) стратегия вида, 2 – стратегия, полученная по результатам работы модели, 3 – расстояние между моделью и эталоном.

Верификация адаптированной модели показала существенное увеличение точности определения жизненных стратегий видов в условиях севера России. Так, процент близко определенных видов повысился до 70%, количество видов, определенных с низкой точностью, сократилось до 30%, определенных полностью неверно – до 0.

Выражаем искреннюю признательность сотрудникам лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН д.б.н., с.н.с. С.П. Масловой и к.б.н., с.н.с. И.В. Далькэ за предоставленные материалы и помощь при подготовке данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ\_СЕВЕР № 13-04-98829 и Правительства Республики Коми.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Раменский Л.Г.* О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии // Сов. бот., 1935. № 4. С. 25-42.

*Дегтева С.В., Новаковский А.Б.* Эколого-ценотические группы сосудистых растений в фитоценозах ландшафтов бассейна верхней и средней Печоры. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 182 с.

*Маслова С.П., Табаленкова Г.Н., Головки Т.К.* Дыхание и содержание азота и углеводов у корневищных многолетних растений в связи с реализацией разных адаптивных стратегий // Физиология растений, 2010. Т. 57. № 5. С. 676-686.

*Hodgson J.G., Wilson P.J., Hunt R. et al.* Allocating C-S-R Plant Functional Types: A Soft Approach to a Hard Problem // Oikos, 1999. Т. 85. № 2. С. 282-294.

*Grime J.P.* Plant Strategies and Vegetation Processes / J. Wiley and Sons, 1979. 258 p.

### СТРАТИГРАФИЯ ЗАЛЕЖЕЙ МЕРЗЛОТНЫХ ТОРФЯНИКОВ КРАЙНЕСЕВЕРНОЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

**А.В. Пастухов, Н.Н. Гончарова, Д.А. Каверин**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [alpast@mail.ru](mailto:alpast@mail.ru)

В торфе законсервированы значительные запасы органического углерода, поэтому торфяной пул играет важную роль в биогеохимическом цикле углерода и процессах изменения климата (Borgmark, 2005).

Цель данного исследования – анализ развития двух мерзлотных торфяников, существующих за пределами распространения

современной границы криолитозоны, чтобы выявить зависимость между условиями торфообразования и свойствами торфа, уделив особое внимание его ботаническому составу.

Исследуемая территория площадью 4877 км<sup>2</sup> находится в подзоне крайнесеверной тайги и расположена между 65°20'–66°15' с.ш. и 59°20'–61°20' в.д. в междуречье Косью–Большой Кочмес–Лемва–Кожим, являющемся частью бассейна р. Уса. Большая часть представляет собой пологоувалистые моренные равнины Предуралья со сглаженными грядами-мусюрами высотой 50-60 м, сложенными песками и моренными суглинками. Почвообразующими породами почти повсеместно являются четвертичные отложения. Поверхность равнин сложена морскими и ледниковыми суглинками и песчаными отложениями.

Для изучения растительности были выполнены геоботанические описания (Шенников, 1964). Идентификацию почв проводили согласно Пояснительной записке (2011). Для понимания генезиса и условий формирования исследованных болот сделан анализ торфяной залежи. Определение ботанического состава и степени разложения торфа выполнено в лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ Н.В. Стойкиной.

В районе исследований широко распространены торфяные болота, что обусловлено благоприятными условиями торфонакопления в голоцене, присутствием водоупорных суглинистых отложений и многолетней мерзлоты. Мерзлота с мощностью мерзлых пород в пределах 0-25 м, температурой 0...–0.5 °С приурочена, главным образом, к крупнобугристым болотам, тогда как в болотах с относительно плоским мезорельефом она не обнаруживается.

Исследование криогенного строения верхнего слоя подстилающих торфяных многолетнемерзлых пород показало наличие массивных, линзовидных и слоистых криогенных текстур. Для верхней части многолетнемерзлых пород характерно постепенное повышение льдистости. Топи и мочажины – талые со сквозными таликами.

Район исследований охватывает равнинные и предгорные ландшафты, в каждом из которых был выбран ключевой участок.

**Предгорный.** Урочище Ниче-Кулицанюр, заболоченный водораздел рек Черная и Большая Инта. Крупнобугристая комплексная болотная система с кустарничково-лишайниковыми буграми и травяно-сфагновыми обводненными понижениями (топями, мочажинами, озерами). Основную часть бугра занимает кустарничково-лишайниковое сообщество. Его слагают карликовая береза (*Betula nana* L.), багульник (*Ledum palustre* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубика (*V. uliginosum* L.), вороника (*Empetrum*



*trum hermaphroditum* L.), морошка (*Rubus chamaemorus* L.), зеленые мхи (рода *Dicranum*, *Polytricum*) и лишайники (преимущественно представители р. *Cladina*). Оголенные торфяные пятна занимают до 3% площади. Сезонная протайка составляет 60 см.

Исследование торфяной залежи показало, что на начальной стадии развития на месте бугра было облесенное сосной (*Pinus sylvestris* L.) мезоэвтрофное травянистое сообщество с господством хвоща топяного (*Equisetum fluviatile* L.), осоки дернистой (*Carex caespitosa* L.), сабельника колотного (*Comarum palustre* L.), также отмечено участие ивовых кустарников (р. *Salix*) и вересковых кустарничков (сем. *Ericaceae*). На следующей стадии в сообществах все еще доминируют мезоэвтрофные травы, в них возрастает участие вахты (*Menyanthes trifoliata* L.). При этом появляются сфагновые и бриевые мхи, а также менее требовательные к питанию травы, например, осока топяная (*Carex limosa* L.) или пушица рыжеватая (*Eriophorum russeolum* Fries). Здесь, как и во всех остальных слоях залежи, древесные остатки отсутствуют. Это говорит о том, что большую часть времени болото было открытым. В последующем постепенно, по мере нарастания торфа, богатые питательными веществами грунтовые воды становятся менее доступными для растений, это приводит к смене типа растительности на более олиготрофный (стадии III-V, рис. 1). В торфяной залежи на глубине от 0 до 220 см обильны остатки осоки топяной, шейхцерии болотной (*Scheuchzeria palustris* L.), пушицы рыжеватой и сфагновых мхов. На рис. 1 отсутствует слой с остатками кустарничков и лишайников, так как в настоящее время бугор подвергается эрозии. Однако точное время формирования мерзлого бугра без радиоуглеродных датировок достоверно определить сложно.

**Равнинный.** Заболоченный водораздел рек Большая и Малая Инта. Крупнобугристая болотная система с бугристо-топяными и бугристо-озерковыми комплексами. На буграх распространены кустарничково-лишайниковые, в понижениях – травяно-сфагновые растительные сообщества. Вершину бугра занимает кустарничково-лишайниковое сообщество, в котором господствуют вересковые кустарнички: багульник (*Ledum palustre* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), голубика (*V. uliginosum* L.), вороника (*Empetrum hermaphroditum* L.), карликовая береза (*Betula nana* L.), морошка (*Rubus chamaemorus* L.), зеленые мхи, лишайники. Торфяные пятна занимают до 10% площади. Глубина сезонного протаивания – 50 см.

Исследованный торфяной бугор сложен преимущественно травяно-гипновыми, осоково-гипновыми и травяно-сфагновыми, иногда с примесью карликовой березки, торфами (рис. 2). На началь-

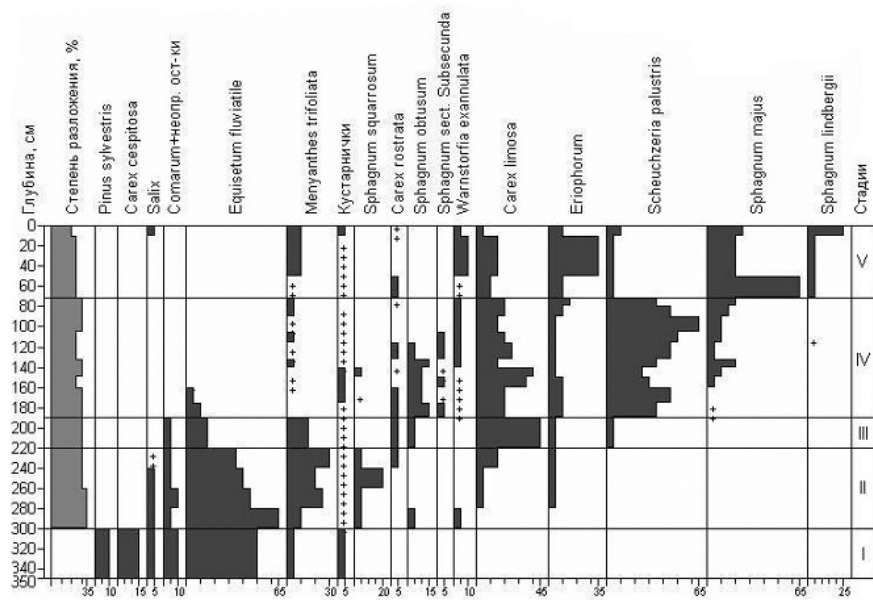


Рис. 1. Ботанический состав торфа предгорного крупнобугристого болота.

ной стадии развития болота на месте бугра было травяно-гипновое эвтрофное сообщество с господством гигрофильных видов (*Warnstorffia* sp., *Meesia* sp., *Menyanthes trifoliata* L. и др.). В последующем бриевые мхи на достаточно продолжительный период сменили сфагны (*Sphagnum obtusum* Warnst., *S. teres* (Schimp.) Angstr. и др.). Также в травяно-кустарничковом ярусе появились более мезотрофные кустарнички и кустарники (*Salix* sp., *Betula nana* L. и представители сем. *Ericaceae*). Затем снова возрастает участие травянистых растений и гипновых мхов. Близкие по составу травяно-гипновые сообщества и травяно-моховые ивняки в настоящее время приурочены к проточным топям вблизи болотных рек и ручьев. Сухой торф с господством кустарничков, что соответствует современной кустарничково-лишайниковой растительности, отмечен только в верхнем слое торфяной залежи. Его мощность менее 20 см, что говорит о смене, предположительно в конце суббореального периода (SB-3), климатических условий и наступившем похолодании. Вероятно, за этот период происходило мерзлотное пучение, и сформировался данный бугор.

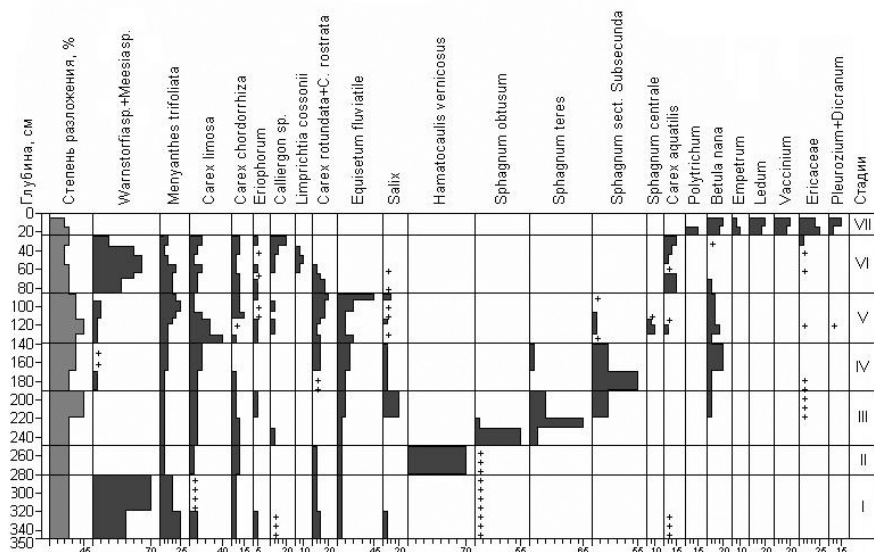


Рис. 2. Ботанический состав торфа равнинного крупнобугристого болота.

С целью выявления генезиса торфяников крайнесеверной тайги была детально изучена стратиграфия залежей. Несмотря на то, что в настоящее время морфологический облик торфяников сходен, их стратиграфические колонки указывают на различные пути развития болот предгорного и равнинного участков. В первом случае формирование болота происходило по схеме развития большинства таежных верховых болот: от эвтрофных облесенных и безлесных болотных сообществ через переходную стадию к переходному болоту и далее – к верховому. Смена стадий обусловлена изменением водно-минерального режима по мере накопления и нарастания торфяной массы. Второе болото развивалось в более-менее постоянных условиях водно-минерального режима. Значительное похолодание климата, начавшееся 2500 л.н., привело к формированию современного облика болот и нивелировало разницу условий водно-минерального режима различных болот. Таким образом, основные различия в структуре почвенного покрова бугристо-мочажинных болот крайнесеверной тайги определяются условиями их формирования – обводненностью и трофностью.

Сохранившиеся до настоящего времени на южном пределе криолитозоны остатки мерзлотных бугристых торфяников являются достаточно уникальными образованиями. К настоящему мо-

менту они практически прекратили свое развитие, торфонакопление замедлилось или совсем остановилось, идут процессы эрозии и разрушения торфяных бугров. Данное исследование дает лишь поверхностное представление об истории их развития и современном состоянии. Описанные реликтовые мерзлотные торфяники, несомненно, требуют дальнейшего изучения их стратиграфических профилей палинологическим и радиоуглеродным методами. Учитывая тенденции изменения климата и современные процессы разрушения мерзлотных бугров, относительная доля мерзлотных почв в будущем будет постепенно и медленно уменьшаться.

Работа выполнена за счет средств ПРООН ГЭФ 00059042 и РФФИ 14-05-31111мол\_а.

#### ЛИТЕРАТУРА

Пояснительная записка к листу Q-41 (Воркута) // Государственная почвенная карта России. Масштаб 1 : 1 000 000 / Отв. ред. В.Д. Тонконогов, С.В. Горячкин. Сыктывкар, 2011. 76 с.

*Шенников А.П.* Введение в геоботанику. Л.: ЛГУ, 1964. 447 с.

*Borgmark A.* Holocene climate variability and periodicities in south-central Sweden, as interpreted from peat humification analysis // *Holocene*, 2005. Vol. 15. № 3. P. 387-395. doi: 10.1191/0959683605hl816rp.

### СТРУКТУРА И ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКТОМИКОРИЗ ЕЛИ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

**Т.А. Сизоненко**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [tvor.83@mail.ru](mailto:tvor.83@mail.ru)

Микотрофность основных лесобразующих пород – один из важнейших показателей их благополучия. 8 тыс. видов высших растений и 7-10 тыс. видов грибов планеты образуют эктомикоризу, участвующую в круговороте биогенных элементов, оптимизации метаболизма растений, активизации минерального питания, устойчивости к засухе, засолению, тяжелым металлам, патогенам (Taylor, Alexander, 2005). Структурно эктомикориза представляет собой корень высшего растения, который покрывает грибной чехол и в коровую паренхиму которого по межклетникам проникают гифы гриба, образуя так называемую сеть Гартига. Облигатно микотрофными видом является ель сибирская – основная лесобразующая порода на европейском северо-востоке России, формирующая микоризу с более чем 150 видами микобионтов (Шубин, 2004).

Функциональная активность микоризных ассоциаций определяется состоянием микоризных чехлов, структура которых видоспецифична и подвергается возрастным изменениям. Преобразования в структуре и функциональном состоянии микоризных корней можно изучать методом флуоресценции после окрашивания живых микориз диацетатом флуоресцеина. Типы микориз различаются по степени флуоресценции сети Гартига, грибного чехла и стелы (Qian et al., 1998).

Цель данного исследования – характеристика структуры и флуоресцентной активности различных типов эктомикориз ели сибирской в условиях средней подзоны тайги.

Материал был собран в 2012-2013 гг. в ельнике чернично-сфагновом на территории заказника «Ляльский», расположенном в подзоне средней тайги (62°17' с.ш., 50°40' в.д.). Поперечные срезы эктомикориз толщиной 8-10 мкм готовили на вибрационном микротоме для мягких тканей и окрашивали диацетатом флуоресцеина (FDA, Sigma, 0.01 мг/мл в фосфатном буфере, pH 7.5) в течение 5 мин. в темноте (Qian et al., 1998). Срезы после окрашивания промывали три раза в фосфатном буфере и просматривали под микроскопом Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия), используя ртутную лампу HBO 100 W/2 и зеленый светофильтр. Жизненное состояние микоризных корней оценивали визуально по интенсивности окрашивания клеток грибных чехлов, сети Гартига, проводящих цилиндров и коровой паренхимы. Ярко-зеленый цвет характерен для активно функционирующих клеток, зеленый – средне-, желто-зеленый – низкоактивных, коричневый свидетельствует об их старении и отмирании. При описании типа грибного чехла, его структуры и плотности микориз использовали классификацию И.А. Селиванова (1981).

У ели сибирской в ельнике чернично-сфагновом за вегетационный сезон 2012 г. нами обнаружено семь подтипов грибных чехлов эумицетных хальмофаговых эктомикориз: А, В, С, Е – плектенхиматические, F, G – псевдопаренхиматические, RS – бесструктурные. Встречаемость подтипов грибных чехлов и их разнообразие характеризовались сезонной динамикой. В более засушливый сезон 2013 г. отмечали пять подтипов грибных чехлов. В начале обоих сезонов было зафиксировано наименьшее разнообразие грибных чехлов. Максимальной встречаемостью характеризовались псевдопаренхиматические грибные чехлы подтипа F (до 82%).

После окрашивания флуоресцеином диацетата анатомических срезов показано различное жизненное состояние у разных типов эктомикориз ели. Как правило, плектенхиматические чех-

лы окрашивались в зеленый или ярко-зеленый цвет, что указывает на их высокую активность. Псевдопаренхиматические чехлы являются наиболее зрелыми и развитыми, и для них также характерна довольно высокая жизненная активность. Бесструктурные чехлы указывают на завершающую стадию развития эктомикориз и характеризуются низкой активностью, поскольку у данного подтипа наблюдалось коричневое окрашивание коровой паренхимы и грибных чехлов.

Рассмотрена флуоресцентная активность различных частей эктомикориз. Сеть Гартига и грибной чехол были в основном сходными по окраске, в интенсивности окрашивания между ними прослеживалась высокая корреляция, поэтому нами использовался термин «грибной компонент» в отношении этих двух элементов, который имел наиболее яркую окраску в июле 2013 г. несмотря на довольно высокую температуру и низкую влажность лесной подстилки. Во все остальные сроки, кроме августа 2012 и мая 2013 гг., наблюдали в основном желто-зеленое окрашивание грибного компонента эктомикориз (см. таблицу). Вероятно, в августе 2012 г. были наиболее оптимальными условия влажности и температуры лесной подстилки для развития грибного чехла и сети Гартига, поскольку этот период выделялся зеленым окрашиванием этих элементов эктомикориз. В мае 2013 г. при низкой температуре лесной подстилки окрашивание сети Гартига также показало ее достаточно высокую активность. Встречаемость неактивного грибного компонента коричневого цвета была довольно низкой в оба года наблюдений.

Сеть Гартига и коровая паренхима схожи по интенсивности флуоресцентного окрашивания, однако зависимость между ними была, как правило, умеренной и не всегда достоверной. Связь флуоресцентной окраски между грибным компонентом и проводящим цилиндром неоднозначна как и зависимость в окрашивании между проводящим цилиндром и коровой паренхимой, однако в июне и сентябре она была достаточно высока и достоверна. Клетки коровой паренхимы в большинстве случаев окрашивались в зеленый или ярко-зеленый цвет в течение обоих сезонов. Встречалось небольшое количество микориз с утерянным тургором клеток коры, имеющих коричневый цвет, с мая по июль обоих сезонов. Ярко-зеленое или зеленое флуоресцентное окрашивание центрального цилиндра в эктомикоризах ели сохранялось в течение двух сезонов, что указывает на достаточно хорошее состояние растительного компонента, поскольку центральный цилиндр и его размер обычно связывают с активностью транспорта воды и минеральных элементов из почвы в растение (Wahl, Ryser, 2000). Лишь в ию-

**Сезонная динамика встречаемости элементов эктомикориз ели  
с разной интенсивностью флуоресценции, %**

Элементы микориз	Ярко-зеленый (++)	Зеленый (+)	Желто-зеленый (+/-)	Коричневый (-)
2012 г.				
28 мая				
Чехол	4.94	2.47	88.89	3.70
Сеть Гартига	2.47	6.17	91.36	0
Коровая паренхима	8.64	80.24	1.24	9.88
Проводящий цилиндр	43.21	56.79	0	0
20 июня				
Чехол	5.56	30.55	61.11	2.78
Сеть Гартига	2.78	18.06	76.38	2.78
Коровая паренхима	9.72	77.78	11.11	1.39
Проводящий цилиндр	13.89	86.11	0	0
19 июля				
Чехол	9.62	1.92	88.46	0
Сеть Гартига	9.62	1.92	88.46	0
Коровая паренхима	28.85	71.15	0	0
Проводящий цилиндр	3.85	96.15	0	0
22 августа				
Чехол	5.66	67.92	22.64	3.78
Сеть Гартига	11.32	49.06	32.07	7.55
Коровая паренхима	26.42	73.58	0	0
Проводящий цилиндр	3.77	96.23	0	0
16 октября				
Чехол	12.20	26.83	60.97	0
Сеть Гартига	12.20	26.83	60.97	0
Коровая паренхима	19.51	80.49	0	0
Проводящий цилиндр	80.49	19.51	0	0
2013 г.				
24 мая				
Чехол	20.54	37.50	28.57	13.39
Сеть Гартига	12.50	56.25	21.43	9.82
Коровая паренхима	28.57	71.43	0	0
Проводящий цилиндр	36.61	63.39	0	0
20 июня				
Чехол	36.36	10.91	39.09	13.64
Сеть Гартига	14.55	32.73	38.17	14.55
Коровая паренхима	35.45	62.73	0.91	0.91
Проводящий цилиндр	26.36	73.64	0	0
17 июля				
Чехол	54.72	18.87	18.87	7.54
Сеть Гартига	50.94	22.64	18.87	7.55
Коровая паренхима	83.02	15.09	0	1.89
Проводящий цилиндр	64.15	33.96	0	1.89
25 сентября				
Чехол	19.61	9.80	47.06	23.53
Сеть Гартига	17.65	11.76	47.06	23.53
Коровая паренхима	27.45	72.55	0	0
Проводящий цилиндр	25.49	74.51	0	0

ле 2013 г. в период наиболее низкой влажности лесной подстилки, наряду с большим количеством элементов эктомикориз ярко-зеленого цвета, было обнаружено несколько эктомикориз, проводящий цилиндр которых имел коричневую окраску.

Таким образом, нами обнаружено семь подтипов грибных чехлов в эктомикоризах ели сибирской в ельнике чернично-сфагновом средней тайги за два вегетационных сезона. При формировании хорошо развитых чехлов наблюдали меньшую долю танниновых клеток в корковой паренхиме. Обнаружена зависимость во флуоресцентном окрашивании между грибным и растительным компонентами, а также между сетью Гартига и грибным чехлом. Микоризы с различными подтипами чехлов отличались друг от друга по интенсивности флуоресцентной окраски.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Селиванов И.А.* Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.

*Шубин В.И.* Особенности организации макромицетов-симбиотрофов в лесных экосистемах // Грибные сообщества лесных экосистем. М.-Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. Т. 2. С. 272-286.

*Qian X.M., Kottke I., Oberwinkler F.* Influence of liming and acidification on the activity of the mycorrhizal communities in a *Picea abies* (L.) // Karst. stand. Plant Soil, 1998. Vol. 199. P. 99-109.

*Taylor A.F S., Alexander I.J.* The ectomycorrhizal symbiosis: life in the real world // Mycologist., 2005. № 19. P. 102-112.

*Wahl S., Ryser P.* Root tissue structure is linked to ecological strategies of grasses // New Phytologist., 2000. Vol. 148. P. 459-471.



**Секция 2**  
**ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА**  
**И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**  
**ЖИВОТНОГО МИРА**

**ЛОКАЛЬНАЯ ФАУНА ЧЕШУЕКРЫЛЫХ**  
**ГОРОДА ВОЛОГДА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ НАЧАЛА XX ВЕКА**

**Е.А. Бушуева, Г.И. Истомина**  
Вологодский государственный университет  
E-mail: *Lizaveta.bushueva@yandex.ru; istoma1992g@mail.ru*

На протяжении **XX в.** отмечался **значительный отток населения** из сельской местности в города. Эта тенденция усилилась в настоящее время, а площадь урбанизированных территорий существенно увеличилась. Экосистемы в пределах городов испытывают **сильный антропогенный пресс**, что влечет за собой изменение видового состава исходных природных сообществ. Поэтому изучение локальных фаун городов и их окрестностей в ретроспективе составляет большой научный интерес.

Цель нашего исследования – систематизация и анализ имеющихся данных по локальной фауне чешуекрылых окрестностей г. Вологды начала XX в.

Вологда – административный, культурный и научный центр Вологодской области, расположен на северо-западе европейской части России. Его территория за последнее 100-летие сильно изменилась. Так, в начале XX в. площадь города составляла 46 км<sup>2</sup>, в нем проживало 45 тыс. чел. К началу XXI в. площадь увеличилась до 116 км<sup>2</sup>, население возросло до 308 172 чел. К настоящему времени его состав вошли территории 20 окрестных деревень, а площадь города увеличилась в 2.5 раза (см. рисунок). Кроме того, население города за указанный период выросло более чем в 6.5 раз (официальный сайт администрации Вологды). Таким образом, антропогенная нагрузка на экосистемы данной территории усилилась.



Карта-схема г. Вологды (приблизительные границы города в начале XX в. обозначены линией).

Сведения о составе фауны чешуекрылых г. Вологда и ее окрестностей имеются в работе Л.К. Круликовского (1909), в которой содержится список чешуекрылых из 414 видов, зарегистрированных на территории города, а также железнодорожных станций Котлас и Опарино. Среди них 255 видов были собраны непосредственно в черте губернского центра и его ближайших окрестностях в разное время и разными лицами, преимущественно воспитанниками средних учебных заведений.

Другим источником сведений о чешуекрылых Вологды являются материалы фондовой коллекции Вологодского государственного музея-заповедника, собранные В.Н. Полиевктовым в 1932-1940 гг. Она насчитывает 267 экз. из 171 вида чешуекрылых, принадлежащих к 120 родам и 17 семействам.

На основании указанных источников составлен список видов локальной фауны чешуекрылых начала XX в. Он включает 338 видов, принадлежащих к 237 родам, 27 семействам. Поскольку современные сведения о разнообразии чешуекрылых г. Вологда отсутствуют, полученные списки были сопоставлены с современными данными о разнообразии чешуекрылых Вологодской области в целом.

К числу преобладающих по видовому богатству семейств чешуекрылых на территории города в начале XX в. относились *Noctuidae* (29% от общего числа видов), *Geometridae* (24), *Nymphalidae* (6), *Sphingidae* (5%). Эти же таксоны являются преобладающими в современной лепидоптерофауне Вологодской области.

Чешуекрылые фауны г. Вологды и его окрестностей в первой половине XX в.,  
не встречающиеся в пределах области в настоящее время

№	Семейство	Вид	Источник	Ареал	Биотоп
1	Geometridae	<i>Arpocera praeformata</i>	Л.К. Круликовский	В Средней и Южной Европе, европейской части России и на Кавказе	—
2	Geometridae	<i>Eurithecia lanceata</i>	Л.К. Круликовский	В Северной и Средней Европе, на севере и в средней полосе России, в Южной Сибири и Приамурье	Леса
3	Geometridae	<i>Eurithecia tenuiata</i>	Л.К. Круликовский	По всей Европе	—
4	Geometridae	<i>Eurithecia vulgata</i>	Л.К. Круликовский	По всей Европе	—
5	Geometridae	<i>Masaria brunneata</i>	Л.К. Круликовский	В Сибири, Японии, Северной и горной части Северной Америки и по всей Европе	—
6	Geometridae	<i>Pasiphila rectangularata</i>	Л.К. Круликовский	По всей Европе	Парки, сады
7	Geometridae	<i>Scopula terrate</i>	Л.К. Круликовский	Центральная, Южная Европа	Луга
8	Hesperiidae	<i>Purgus serratalae</i>	Л.К. Круликовский	Горных районах Европы	Луга, долины рек
9	Noctuidae	<i>Acronicta lutea</i>	В.Н. Полиевктов	Регионы РФ: Забайкальский, Нижне-Амурский, Преддальний, Прибайкальский, Приморский, Сахалинский, Средне-Амурский	Леса, луга
10	Noctuidae	<i>Ardania genistae</i>	В.Н. Полиевктов	Регионы РФ: Забайкальский	—
11	Noctuidae	<i>Autographa excelsa</i>	Л.К. Круликовский	На большей части России, в Северной и Средней Европе	Леса
12	Noctuidae	<i>Catocala dissimilis</i>	В.Н. Полиевктов	В умеренном и тёплом поясе Евразии и Северной Америки	Леса
13	Noctuidae	<i>Cirrhia fulvago</i>	В.Н. Полиевктов	Регионы РФ: Восточно-Кавказский, Западно-Кавказский	—
14	Noctuidae	<i>Hoplodrina octogenaria</i>	Л.К. Круликовский	Европа, Россия, Турция, Закавказье, Сибирь, Узбекистан, Кыргызстан, Алтай, Северная Монголия, Северная Корея, Северный Китай	—
15	Noctuidae	<i>Oligia latruncula</i>	Л.К. Круликовский	По всей Европе	Леса
16	Noctuidae	<i>Rhyacia simulans</i>	Л.К. Круликовский	Европа и Азия	Луга
17	Noctuidae	<i>Nyctea revayana</i>	Л.К. Круликовский	От Европы до Индии	Леса
18	Notodontidae	<i>Clostera anachoreta</i>	В.Н. Полиевктов	От Европы до Японии	Леса
19	Notodontidae	<i>Egmodonta ziczac</i>	В.Н. Полиевктов	По всей Европе	Леса
20	Springidae	<i>Daphnis nerii</i>	В.Н. Полиевктов	Мигрирующий вид, летающий в Восточной и Южной Европе	Луга
21	Springidae	<i>Hyles vesperfilio</i>	В.Н. Полиевктов	В Центральной Европе и на Балканском п-ове, Кавказ	—

Был проведен анализ видового состава. Установлено, что по современным данным 21 вид чешуекрылых не отмечается для Вологодской области (Белова и др., 2008) (см. таблицу). Из них восемь видов из фондовой коллекции ВГМЗ, 13 – из списка, составленного Л.К. Круликовским.

При анализе данного списка было выявлено четыре вида нехарактерных для европейской территории России (Каталог чешуекрылых..., 2008). Из них виды *Acronicta lutea*, *Ardania genistae*, *Cirrhia fulvago* из семейства Noctuidae **отмечаются в составе коллекции В.Н. Полиевктова**, вид *Pyrgus serratulae* из семейства Hesperiiidae указан в работе Л.К. Круликовского. Появление данных видов в списке, вероятнее всего, связано с неправильным определением. Еще 17 видов бабочек, не отмеченные в области в настоящее время, относятся к семействам Noctuidae, Geometridae, Nolidae, Notodontidae, Sphingidae, изучение которых на данной территории ведется слабо. Кроме того, значительная часть представителей этих семейств ведет скрытный образ жизни, что создает трудности в их обнаружении.

Таким образом, в ходе исследования получены сведения о 338 видах чешуекрылых локальной фауны г. Вологда и его окрестностей XX в., в настоящее время выявлен 21 вид чешуекрылых, не отмеченных для данной территории.

#### ЛИТЕРАТУРА

Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России / Под ред. С.Ю. Синева. СПб.-М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 424 с.

Круликовский Л.К. К сведениям о фауне чешуекрылых Вологодской губернии // Русское энтомологическое обозрение, 1909. № 1-2. С. 65-79.

Разнообразие насекомых Вологодской области / Под ред. Ю.Н. Беловой, А.А. Шабунова. Вологда: Центр оперативной полиграфии «Коперник», 2008. 368 с.

Официальный сайт администрации Вологды: <http://vologda-portal.ru>.

#### СОСТОЯНИЕ ДОННОЙ ФАУНЫ НЮВЧИМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.А. Васильева<sup>1</sup>, М.А. Батурина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [eka.wass@mail.ru](mailto:eka.wass@mail.ru), [batulina@ib.komisc.ru](mailto:batulina@ib.komisc.ru)

Одной из форм ведения рыбного хозяйства, в том числе и в Республике Коми, является садковое рыбоводство, главным образом, – производство товарной радужной форели. Однако эти рабо-

ты требуют проведения комплексных (гидрохимических и гидробиологических) наблюдений для оценки состояния водных экосистем при их эксплуатации (Савосин, 2009; Рыжков и др., 2011 и др.). Макрозообентос является одной из основных групп водных организмов – биологических индикаторов, используемых при оценке качества воды.

Цель нашей работы – определение количественных показателей развития сообщества зообентоса в малом водохранилище и особенностей его распределения по акватории водоема, выявление доминирующих групп донных беспозвоночных, а также оценка состояния макрозообентоса в условиях функционирования в водоеме форелевого хозяйства.

Нювчимское водохранилище (бассейн р. Сысола) образовано путем перекрытия плотиной р. Нювчим в месте слияния с р. Дендель. На водохранилище выращивают около 80 т в год (Государственный доклад..., 2014) радужной форели (*Parasalmo mykiss* Walbaum, 1792) и карпа (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758). Гидрологическая характеристика водоема: площадь водной поверхности – 2.9 км<sup>2</sup>, наибольшая длина – 3.4 км, наибольшая ширина – 0.5 км, максимальная глубина – 7.0 м, прозрачность – 0.3-2.0 м, рН 7.4-9.1, дно глинистое, песчаное.

Наблюдения за состоянием донной фауны водохранилища были проведены в июле 2013-2014 гг. Пробы зообентоса и воды для химического анализа отбирали по всей акватории водоема. Сбор и обработку проб зообентоса проводили согласно принятым в гидробиологии методам (Методика изучения..., 1975). Для оценки трофности водоемов использовали «шкалу трофности» (Китаев, 2007). Химиико-аналитические работы проведены в стационарных условиях по общепринятым методикам в аккредитованной лаборатории аналитической химии «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

За два года исследований в составе зообентоса установлено 17 систематических групп донных беспозвоночных (см. таблицу). В целом, состав групп не изменялся, но только в 2013 г. в пробах единично встречались личинки *Simuliida* и только в 2014 г. – личинки *Heleidae*. Средняя численность зообентоса в Нювчимском водохранилище за оба года составила  $12.2 \pm 4.6$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, при доминировании представителей мейобентоса *Cyclopoida*, биомасса –  $7.1 \pm 2.1$  г/м<sup>2</sup>, где преобладали *Mollusca* и личинки *Chironomidae*.

По акватории водоема установлено неравномерное распределение зообентоса. Так, максимальные показатели численности и биомассы донных беспозвоночных отмечены в заливах со сторо-

**Состав и количественные показатели развития (средняя численность (N) и биомасса (B) зообентоса Нювчимского водохранилища, 2013-2014 г.**

Группы	N, экз./м <sup>2</sup>	Доля от общей численности, %	B, мг/м <sup>2</sup>	Доля от общей биомассы, %
Hydrarzoa	184.2	1.5	56.0	0.8
Nematoda	300.8	2.5	3.7	0.1
Oligochaeta	1166.9	9.5	436.8	6.2
Hirudinea	6.8	0.1	195.9	2.8
Mollusca	1219.5	10.0	4069.8	<b>57.3</b>
Cladocera	1837.5	15.0	171.5	2.4
Harpacticoida	6.3	0.1	0.1	0.001
Cyclopoida	4568.3	<b>37.3</b>	42.8	0.6
Ostracoda	575.2	4.7	6.1	0.1
Hydracarina	207.7	1.7	116.3	1.6
Coleoptera, lv	2.2	0.02	4.8	0.1
Ephemeroptera, lv	139.4	1.1	132.3	1.9
Trichoptera, lv	4.6	0.04	7.1	0.1
Trichoptera, pp	4.1	0.03	15.5	0.2
Heleidae, lv	19.0	0.2	45.3	0.6
Simuliidae, lv	1.0	0.01	0.2	0.003
Chironomidae, lv	1944.3	15.9	1675.5	<b>23.6</b>
Chironomidae, pp	53.0	0.4	40.3	0.6
Diptera, lv, n/det	3.3	0.03	79.1	1.1
Всего	12.2±4.6 тыс. экз./м <sup>2</sup>		7.1±2.1 г/м <sup>2</sup>	

Примечание. Жирным шрифтом выделены преобладающие группы.

ны впадения рек Нювчим и Дендель: колебания за два года составили от 14.8 до 22.8 тыс. экз./м<sup>2</sup> и от 3.3 до 22.4 г/м<sup>2</sup> по численности и биомассе соответственно. Здесь же зарегистрировано наибольшее число таксономических групп беспозвоночных – 15. Напротив, за оба года наблюдений наименьшие показатели развития зообентоса отмечались в открытой части водоема: численность колебалась в пределах 3.3-4.1 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса – от 0.3 до 5.9 г/м<sup>2</sup>. На этом участке в пробах отмечено всего семь групп донных беспозвоночных.

Несмотря на сходство количественных показателей развития, в период исследований в заливах отличался состав доминирующих групп. В 2013 г. и в заливах, и в зоне садков по численности преобладал мейобентос, в составе которого наибольшая численность принадлежала бентосным рачкам. В макробентосе к доминирующим по численности группам относились моллюски и личинки хирономид, они же доминировали по биомассе. В 2014 г. по численности в составе макробентоса преобладали олигохеты и личинки *Chironomidae*, а в составе мейобентоса – *Ostracoda* и *Cladocera*.

*docera*. По биомассе также доминировал макробентос: моллюски и личинки хирономид.

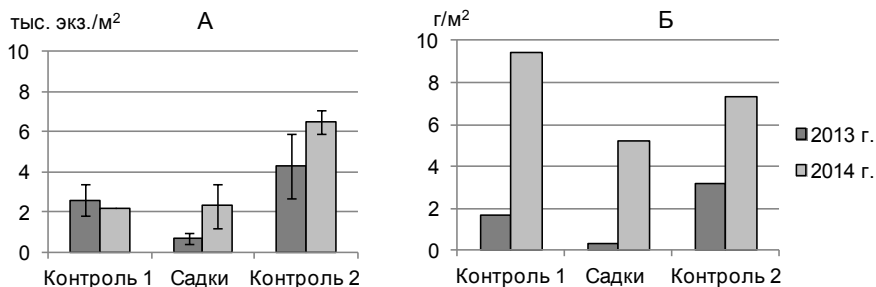
Нами наблюдались различия в составе и количественных показателях развития зообентоса в прибрежной зоне и середине водоема: побережье – средняя численность  $18.9 \pm 10.9$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса бентоса –  $5.1 \pm 2.5$  г/м<sup>2</sup>; середина водоема –  $44.3 \pm 35.5$  и  $2.6 \pm 2.3$  соответственно.

Высокие показатели численности зообентоса в открытой акватории на глубине 4-5 м на песчано-илистом грунте с детритом определялись массовым развитием бентосных ракообразных, их доля составляла 95% от общей численности. В прибрежьях с песчаным берегом и обильным водорослевым налетом более 58% общей численности бентоса приходилось на представителей макрозообентоса: личинок *Chironomidae*, *Ephemeroptera* и крупных моллюсков, а в зоне мелководья с обширными зарослями макрофитов (осоки и рдесты) преобладали (в сумме 84% от общей численности) представители мейобентоса: *Cladocera* и *Cyclopoida*, а также некрупные фитофильные олигохеты. По биомассе во всех трех зонах господствовали моллюски и местами ракообразные, в сумме составляя от 46 до 76% общей массы зообентоса.

В целом, по количественным показателям развития зообентоса, составу доминирующих групп и трофическому статусу (β-мезотрофный тип) Нювчимское водохранилище сравнимо с двумя другими водохранилищами, расположенными на территории Республики Коми (Батурина, Кононова, 2011).

Наряду с изучением динамики абсолютных показателей развития сообщества о влиянии садковых хозяйств на качество водной среды можно судить по соотношению между количеством компонента (химические параметры, количественные показатели развития планктона и макрозообентоса) в зоне садков и на контрольных станциях (>500 м от зоны садков). Если величина этого соотношения (коэффициента) близка к 1, то негативное влияние садков на качество вод отсутствует (Рыжков, 2012). Влияние садкового хозяйства на качественные и количественные показатели биоты Нювчимского водохранилища показано в данной работе на уровне макрозообентоса.

Колебания численности в зоне садков (см. рисунок) составляли  $0.7 \pm 0.3 - 2.3 \pm 1.1$  тыс. экз./м<sup>2</sup> и были заметно ниже таковых в контрольных точках К1 (со стороны р. Дендель) и К2 (р. Нювчим). Пределы колебаний биомассы (см. рисунок) в зоне садков составляли  $0.3 \pm 0.2 - 5.2 \pm 3.1$  г/м<sup>2</sup> и были сопоставимы с контрольными участками, особенно в 2014 г. Также в районе садков наблюдалось наименьшее число систематических групп – от 7 до 10 в раз-



Средняя численность (А) и биомасса (Б) макрозообентоса в зоне садков и на контрольных участках в Нювчимском водохранилище, июль 2013-2014 гг.

ные годы. На контрольных участках число групп колебалось от 11 до 15.

Таким образом, несмотря на то, что химические показатели качества воды в целом определяют состояние водоема как «благополучное», в период проводимых нами исследований по направлению от контрольных участков к зоне садков резко снижается количество систематических групп зообентоса вплоть до полного отсутствия донных беспозвоночных под садками, количественные показатели развития макрозообентоса на контрольных участках оказались выше в 2-2.5 раза, чем в зоне садков. Эти факты указывают на изменения, происходящие в донном сообществе, которые, вполне вероятно, могут быть вызваны влиянием действующего форелевого хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Батурина М.А., Кононова О.Н.* Особенности состава и структуры гидробионтов в водохранилищах Республики Коми на разных этапах становления // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2011. 216-218 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2013 г.» / Сост. Л.В. Архипова и др. Сыктывкар: ГБУ РК «ТФИ РК», 2014. 199 с.

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

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.

*Рыжков Л.П., Дзюбук И.М., Горохов А.В.* и др. Качество и охрана вод, экологические аспекты состояния водной среды и биоты при функционировании садковых форелевых хозяйств // Водные ресурсы, 2011. Т. 38(2). С. 239-247.

*Рыжков Л.П.* Патент № 2447435, Российская Федерация, С2 МПК G01N 33/18. Способ оценки влияния садковой аквакультуры на состо-



ание водной экосистемы / Л.П. Рыжков; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет»; 2010108018/05; Заяв. 04.03.2010; Опубл. 10.04.2012. Бюл. № 10.

*Савосин Е.С.* Состояние донной фауны заливов Онежского озера с товарным выращиванием радужной форели // Современные проблемы науки и образования, 2009. № 6. 22-24 с.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО И МОРФОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ *CANTHOCAMPTUS STAPHYLINUS* JURINE (HARPACTICOIDA, COPEPODA)

**Е.С. Кочанова**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

E-mail: [Ko4anova@mail.ru](mailto:Ko4anova@mail.ru)

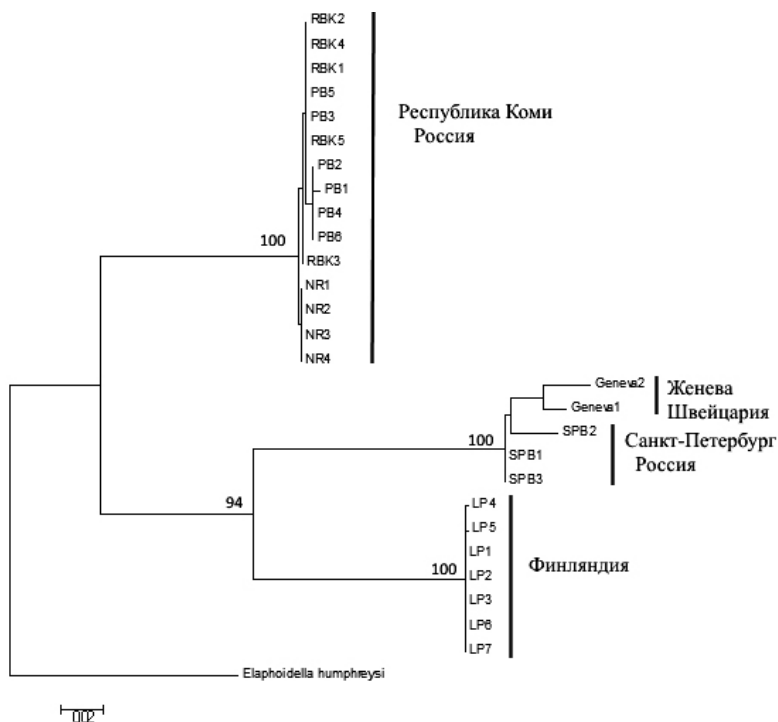
Стремительное развитие молекулярно-генетических методов исследований позволяет ученым-зоологам получать новые данные по систематике видов. Часто одних морфологических данных оказывается недостаточно для выявления скрытых видов, внутривидовой изменчивости и доказательства приобретенных адаптаций. Полученные и накопленные в базах данных нуклеотидные последовательности являются основой для изучения генетического разнообразия популяций и видов и филогеографического анализа фауны.

*Canthocamptus staphylinus* (Jurine, 1820) – широко распространенный в палеарктических пресных водах и экологически пластичный вид. Этот рачок обитает в водоемах различного типа: от весенних луж до крупных озер и рек (Фефилова, 2009). Биологам *C. staphylinus* интересен как один из трех видов гарпактицид и всех *Copepoda*, для которого установлено однополое размножение (Sarvala, 1979).

Цель данной работы – изучить морфологическое и генетическое разнообразие *C. staphylinus*.

В нашей работе учитывались совместно молекулярно-генетическая и морфометрическая изменчивости данного вида. Для морфометрических исследований использовали самцов и самок из семи популяций: оз. Женева (Швейцария); оз. Пааярви (Финляндия); оз. Вотсыярв (Эстония); Орловский пруд (Санкт-Петербург); пруд Ботанического сада СыктГУ и временного водоема в г. Сыктывкаре; а также Нювчимское водохранилище (Республика Коми). Учитывали 32 морфометрических промера и характеристи-

ки, из которых в дальнейшем для сравнения популяций были использованы шесть. Установлено, что количество шипов на анальной пластинке гарпактицид имело клинальную изменчивость и возрастало по направлению с востока на запад. Получено, что морфологическое разнообразие *C. staphylinus* проявлялось в достоверных межпопуляционных различиях следующих признаков: соотношение длины и ширины каудальных ветвей, длин шипов на пятой паре ног самок. Для исследований молекулярно-генетической изменчивости *C. staphylinus* использовались результаты секвенирования мтДНК (CO1). Полученные 22 нуклеотидные последовательности были депонированы в базу данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) под номерами **KP974713-KP974734**. Анализ построенных филогенетических деревьев на основе NJ-, ML- и UPGMA-методов выявил кластеры сходной топологии. Исследованные образцы распадаются на четыре основных клады с высокой степенью поддержки устойчивости ветвей (см. рисунок), ко-



Филогенетическое дерево *C. staphylinus* с предком *Elaphoidella humphreysi*, построенное методом максимального правдоподобия.

торые удалены друг от друга на довольно большое генетическое расстояние. Так, клада образцов из Республики Коми удалена от клады из Финляндии на 21%, а от Санкт-Петербургской и Жевневской – 25%. Сходная картина разделения гаплотипов и выявленных мутаций была получена в результате построения медианной сети.

Таким образом, наши исследования показали, что *C. staphylinus* имеет достаточно большую географическую изменчивость в морфологических признаках и генетической структуре.

Выражаем благодарность за помощь в выполнении молекулярно-генетических исследований Центру коллективного пользования Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

Фефилова Е.В. К биологии и экологии *Canthocamptus staphylinus* (Harpacticoida, Copepoda) // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. № 3 (137). С. 5-8.

Sarvala J. A Parthenogenetic life cycle in a population of *Canthocamptus staphylinus* (Copepoda, Harpacticoida) // Hydrobiologia, 1979. Vol. 62(2). P. 113-129.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>.

## К ЭКОЛОГИИ ЖУКОВ-ДРОВОСЕКОВ (COLEOPTERA, CERAMBUSIDAE) ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

А.М. Островский

Гомельский государственный медицинский университет

E-mail: [Arti301989@mail.ru](mailto:Arti301989@mail.ru)

Жуки-дровосеки, или усачи (Cerambycidae), – разнообразное, широко распространенное и в практическом отношении важное семейство жесткокрылых, насчитывающее в мировой фауне более 20 тыс. видов (Филимонов, Удалов, 2001). Из них на территории Беларуси зарегистрирован 151 вид (Александрович и др., 1996).

В лесных биогеоценозах усачи нередко играют первостепенную роль утилизаторов коры и древесины, вовлекая огромные массы органического вещества в цепи питания и поддерживая тем самым многообразие животных и растительных компонентов данных экосистем. Без знания состава и биологии видов этого семейства анализ различных биоценологических связей был бы очень неполным. Усачи имеют большое практическое значение, поскольку могут повреждать еще живые деревья, а также способны посе-

ляться на заготовленной древесине, нанося тем самым значительный ущерб лесному хозяйству (Татарина, Никитский, Долгин, 2007). В семействе жуков-усачей существует также группа видов, развивающихся за счет травянистых растений, представители которой способны повреждать полевые культуры (Данилевский, Мирошников, 1985). В связи с этим инвентаризация фауны, анализ географического распространения и биологических особенностей усачей, особенно малоисследованных регионов Беларуси, к числу которых, безусловно, относится юго-восточная часть республики, могут быть отнесены к актуальным задачам энтомологии.

Материалом для изучения жуков-усачей послужили собственные сборы, которые проводились в течение 1998-2014 гг. на территории Буда-Кошелевского (основные исследования), а также Гомельского и Речицкого районов Гомельской области в следующих биотопах:

1) широколиственный лес с преобладанием осины и березы в 3 км севернее г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского р-на;

2) плодовые сады в г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского р-на;

3) опушка леса и вырубki близ дер. Радеево Буда-Кошелевского р-на;

4) старый кленовый сквер в г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского р-на;

5) открытые цветущие пространства на возделываемых землях в г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского р-на;

6) живые изгороди и заросли кустарников на юго-восточной окраине г.п. Уваровичи Буда-Кошелевского р-на;

7) смешанный лес на южной окраине г. Гомеля;

8) хвойный лес в Речицком р-не Гомельской области;

9) бревенчатые дома и сельскохозяйственные постройки в г.п. Уваровичи;

10) Гомельский Центральный парк культуры и отдыха им. А.В. Луначарского.

Определение насекомых проводили с помощью Определителя насекомых европейской части СССР (Бей-Биенко, 1965). Для изучения морфологических особенностей жуков-усачей использовали бинокулярный микроскоп МБС-10 и ручные  $\times 7$  и  $\times 10$  лупы. Собранный материал хранится в коллекции автора.

При анализе собранного материала определены 33 вида жуков-усачей из 29 родов и шести подсемейств (см. таблицу).

Исходя из данных приведенной таблицы, следует, что довольно обычными и широко распространенными видами жуков-усачей являются *Prionus coriarius* L., *Stictoleptura rubra* L., *Leptura quadrifasciata* L., *Spondylis buprestoides* L., *Aromia moschata* L.,

**Эколого-фаунистический обзор жуков-дровосеков  
(Coleoptera, Cerambycidae) юго-восточной Беларуси**

Вид	Биотопы	Оценка численности
<b>Подсем. Prioninae Latreille, 1802</b>		
Род <i>Prionus</i> Geoffroy, 1762		
1) Дровосек-кожевник – <i>P. coriarius</i> (Linnaeus, 1758)	1, 3, 7	++++
<b>Подсем. Lepturinae Latreille, 1802</b>		
Род <i>Rhagium</i> Fabricius, 1775		
2) Рагий чернопятнистый – <i>Rh. mordax</i> (DeGeer, 1775)	1	+
3) Рагий рыжий – <i>Rh. sycophanta</i> (Schrank, 1781)	7	+
Род <i>Alosterna</i> Mulsant, 1863		
4) Усач бурый – <i>A. tabacicolor</i> (DeGeer, 1775)	6, 7	++
Род <i>Stictoleptura</i> Casey, 1924		
5) Лептура красная – <i>S. rubra</i> (Linnaeus, 1758)	1, 3, 7	+++
Род <i>Paracorymbia</i> Miroshnikov, 1998		
6) Лептура пятнистоусая – <i>P. maculicornis</i> (DeGeer, 1775)	1, 6	++
Род <i>Anastrangalia</i> Casey, 1924		
7) Анастрангалия кровавонадкрылая – <i>A. sanguinolenta</i> (Linnaeus, 1761)	3, 7	++
Род <i>Leptura</i> Linnaeus, 1758		
8) Странгалия четырехполосая – <i>L. quadrifasciata</i> Linnaeus, 1758	1, 4, 6	+++
Род <i>Strangalia</i> Serville, 1835		
9) Усач узкотелый – <i>S. attenuata</i> (Linnaeus, 1758)	1, 6	++
Род <i>Stenurella</i> Villiers, 1974		
10) Странгалия чернозадая – <i>S. melanura</i> (Linnaeus, 1758)	7	++
<b>Подсем. Aseminae J. Thomson, 1860</b>		
Род <i>Asemum</i> Eschscholtz, 1837		
11) Усач ребристый – <i>A. striatum</i> (Linnaeus, 1758)	1, 3	++
<b>Подсем. Spondyliinae Audinet-Serville, 1832</b>		
Род <i>Spondylis</i> Fabricius, 1775		
12) Усач короткоусый – <i>S. buprestoides</i> (Linnaeus, 1758)	7, 8	+++
<b>Подсем. Cerambycinae Latreille, 1802</b>		
Род <i>Aromia</i> Serville, 1833		
13) Усач мускусный – <i>A. moschata</i> (Linnaeus, 1758)	1, 4, 6	+++
Род <i>Molorchus</i> Fabricius, 1792		
14) Неполнокрыл малый – <i>M. minor</i> (Linnaeus, 1767)	9	+
Род <i>Hylotrupes</i> Serville, 1834		
15) Усач домовый – <i>H. bajulus</i> (Linnaeus, 1758)	9	++++
Род <i>Ropalopus</i> Mulsant, 1839		
16) Усач кленовый большой – <i>R. clavipes</i> (Fabricius, 1775)	2, 4	++++
Род <i>Callidium</i> Fabricius, 1775		
17) Усач плоский фиолетовый – <i>C. violaceum</i> (Linnaeus, 1758)	9	+++
Род <i>Plagionotus</i> Mulsant, 1842		
18) Усач поперечно-полосатый – <i>P. arcuatus</i> (Linnaeus, 1758)	3	+
Род <i>Chlorophorus</i> Chevrolat, 1863		
19) Усач Хербста – <i>Ch. herbstii</i> (Brahm, 1790)	2, 5, 6	+++
Род <i>Xylotrechus</i> Chevrolat, 1860		
20) Усач осиновый – <i>X. rusticus</i> (Linnaeus, 1758)	1, 3, 7	+++

## Окончание таблицы

Вид	Биотопы	Оценка численности
Род <i>Clytus</i> Laicharting, 1784 21) Клит многоядный – <i>C. arietis</i> (Linnaeus, 1758)	5, 6	++
<b>Подсем. <i>Lamiinae</i> Latreille, 1825</b>		
Род <i>Mesosa</i> Latreille, 1829 22) Усач долгоносикивидный глазчатый – <i>M. curculionoides</i> (Linnaeus, 1761)	7, 10	++
Род <i>Monochamus</i> Guerin, 1827 23) Усач бронзовый (черный) сосновый – <i>M. galloprovincialis</i> (A.G. Olivier, 1795) 24) Усач малый черный еловый – <i>M. sutor</i> (Linnaeus, 1758)	3, 7, 8 3, 7	+++ ++
Род <i>Lamia</i> Fabricius, 1775 25) Толстяк ивовый – <i>L. textor</i> (Linnaeus, 1758)	1	+
Род <i>Aegomorphus</i> Haldeman, 1847 26) Усач булавоногий – <i>Ae. clavipes</i> (Schrank, 1781)	7	+
Род <i>Acanthocinus</i> Dejean., 1826 27) Усач длинноусый серый – <i>A. aedilis</i> (Linnaeus, 1758) 28) Усач серый длинноусый малый – <i>A. griseus</i> (Fabricius, 1792)	7 1, 9	++ +++
Род <i>Tetrops</i> Stephens, 1831 29) Дровосек-крошка – <i>T. praeusta</i> (Linnaeus, 1758)	2	++
Род <i>Saperda</i> Fabricius, 1775 30) Скрипун большой осиновый – <i>S. carcharias</i> (Linnaeus, 1758)	4, 10	+++
Род <i>Agapanthia</i> Serville, 1835 31) Усач стеблевой обыкновенный – <i>A. villosoviridescens</i> (DeGeer, 1775) 32) Усач стеблевой синий – <i>A. violacea</i> (Fabricius, 1775)	5, 6 10	+++ +
Род <i>Phytoecia</i> Dejean, 1835 33) Усач травяной черноусый – <i>Ph. nigricornis</i> (Fabricius, 1781)	6	+

*Примечание.* Критерии для оценки относительной численности видов в экосистемах: + редкий вид; ++ малочисленный вид; +++ обычный вид; ++++ многочисленный вид.

*Hylotrupes bajulus* L., *Ropalopus clavipes* F., *Callidium violaceum* L., *Chlorophorus herbstii* Brahm, *Xylotrechus rusticus* L., *Monochamus galloprovincialis* Ol., *Acanthocinus griseus* F., *Saperda carcharias* L., *Agapanthia villosoviridescens* Deg. Остальные виды на территории региона немногочисленны или имеют локальное распространение, встречаясь только в видоспецифических биотопах.

В результате проведенных исследований в различных биогеоценозах юго-восточной Беларуси установлено обитание 33 видов жуков-усачей из 29 родов, относящихся к шести подсемействам – *Prioninae*, *Lepturinae*, *Aseminae*, *Spondylinae*, *Cerambycinae* и *Lamiinae*. Обычными и широко распространенными являются 14

видов жуков-усачей, остальные виды немногочисленны и относительно непостоянны в структуре лесных биогеоценозов юго-востока республики.

Необходимо также обратить внимание на тот факт, что полученные результаты исследования расширяют научные представления о распространении некоторых видов жуков-дровосеков на территории юго-восточной части Беларуси. В частности, в Каталоге жесткокрылых Беларуси (Александрович и др., 1996) данные о помках *Ropalopus clavipes* F., *Callidium violaceum* L., *Aegomorphus clavipes* Schrnk, *Agapanthia villosoviridescens* Deg., *A. violacea* F. и *Phytoecia nigricornis* F. на территории района исследований не приводятся.

#### ЛИТЕРАТУРА

Александрович О.Р., Лопатин И.К., Писаненко А.Д. и др. Каталог жесткокрылых (Coleoptera, Insecta) Беларуси. Минск: ФФИ РБ, 1996. 103 с.

Бей-Биенко Г.Я. Определитель насекомых европейской части СССР. В 5 т. Т. II. Жесткокрылые и веерокрылые. М.-Л.: Наука, 1965. 668 с.

Данилевский М.Л., Мирошников А.И. Жуки-дровосеки Кавказа (Coleoptera, Cerambycidae). Определитель. Краснодар, 1985. 419 с.

Татарина А.Ф., Никитский Н.Б., Долгин М.М. Усачи, или Дровосеки (Coleoptera, Cerambycidae). Фауна европейского северо-востока России. Усачи. СПб.: Наука, 2007. Т. VIII. Ч. 2. 301 с.

Филимонов Р.В., Удалов С.Г. Жуки-усачи Ленинградской области. Атлас-определитель. СПб., 2001. 80 с.

### ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И БИОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ КАРПА (*CYPRINUS CARPIO* LINNAEUS, 1758) В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПЕЧОРА

Р.Р. Рафиков

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: rafikov@ib.komisc.ru

Искусственное разведение карпа (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) в прудах на территории нашей страны имеет давнюю историю. Однако несмотря на это, его ареал разорван на азиатскую и европейскую части, где в пределах последней не включает водоемы и водотоки всего северо-востока. Тем не менее, в среднем течении р. Печора, а именно – водоеме-охладителе Печорской ГРЭС (65° с.ш., 58° в.д.), произошла успешная натурализация данного вида.

В процессе создания водохранилища в 1984 г. залиты два небольших озера и прилегающие заболоченные лесные участки, где предварительно были спилены деревья и намыт песок с примесью глины. Береговая линия водоема практически не изрезана, южный берег укреплен бетонными плитами. Площадь образовавшегося водоема составила около 600 га. Температура воды на водосбросе и малой акватории охладителя изменяется от 12-15 °С зимой и до 30-35 °С летом, а льдом покрывается лишь не более 30% площади. Превышение нормативов для рыбохозяйственных водоемов наблюдается для температуры до 30-35 °С летом, рН – до 9.1 и ионов меди – до 8 ПДК.

В качестве возможных путей интродукции карпа в данном водоеме можно предположить как непреднамеренное вселение, так и целенаправленное. С 1986 по 1998 г. акватория использовалась для садкового рыбоводства. В результате аварий и нарушений технологического режима на рыбоводном хозяйстве рыбная часть сообщества пополнилась бестером, радужной форелью, карпом и толстолобиком. (Бознак, Захаров, 2009). Также в 1990-х гг. существующая на тот период организация «КОМИРЫБПРОМ» зарыбляла данный водоем молодь карпа и пеляди.

В настоящее время карп является доминирующим видом промысловой части рыбного населения. Отловленные особи заметно различаются по характеру чешуйного покрова. Известно, что ранее здесь использовались различные (по развитию чешуи) породы карпа: чешуйчатый и зеркальный. Зеркальная форма данного вида встречается довольно редко. Также отмечались гибриды этих форм.

В зарослях прибрежной литорали (ячея сети 20 мм) разновозрастная молодь карпа составляет значительную часть уловов, тогда как на открытых участках (ячея сети 30-45 мм) другие виды рыб вовсе перестают встречаться (табл. 1).

Таблица 1

**Структура уловов рыб водоема-охладителя Печорской ГРЭС**  
(доля вида, %)

Вид рыб	Сетные уловы		Неводные уловы
	Участки облова литоральной зоны		
	Прибрежные	Открытой воды	
Уклейка <i>Alburnus alburnus</i> (L.)			61
Верховка <i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel)			18
Карп <i>Cyprinus carpio</i> L.	64	100	
Обыкновенный ерш <i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.)	36		18
Усатый голец <i>Barbatula barbatula</i> (L.)			4



На данный момент вид широко распространен в водохранилище, что свидетельствует об образовании устойчивой группировки, численность которой поддерживается за счет естественного воспроизводства. В период исследования (конец июня, температура верхнего слоя водной массы 22-25 °С) половозрелые особи концентрировались в середине и удаленной части водоема, что, вероятно, связано с нерестом, так как здесь расположена большая часть мелководий с мягкой подводной растительностью. Визуально отмечались скопления рыб вблизи зарослей высшей водной растительности. Гонады у отловленных экземпляров находились на четвертой и пятой стадиях.

Для анализа морфологических признаков было использовано по 30 экз. чешуйчатой формы карпа из акваторий, где расположен сброс теплых вод электростанции, а также максимально удаленной от него.

Пластические признаки в анализе не представлены, поскольку сравниваемые выборки рыб существенно различаются размерно-весовыми показателями. Из семи меристических признаков статистически значимые различия (по критерию Стьюдента) выявлены для количества лучей в грудном плавнике, жаберных тычинок и прободенных чешуй в боку тела. В качестве основной причины различий можно предположить неодинаковые температурные или гидрохимические условия водной среды различных акваторий водохранилища во время протекания раннего онтогенеза рыб.

Для оценки стабильности протекания раннего онтогенеза был проведен анализ флуктуирующей асимметрии парных морфологических структур исследуемых рыб на основании интегральных показателей – средней частоты (ЧАП/П) и величины (ВАП/П) асимметричного проявления (Захаров, 2000). В результате выяснилось, что при одинаковой частоте асимметричного проявления его величина у карпа из тепловодной части статистически значимо выше (табл. 2).

Скорость роста объединенной выборки рыб охладителя, рассчитанной по формуле прямой пропорциональности Э. Леа, примерно в два раза ниже по сравнению с карпом, выращиваемым в условиях рыбоводного хозяйства (см. рисунок).

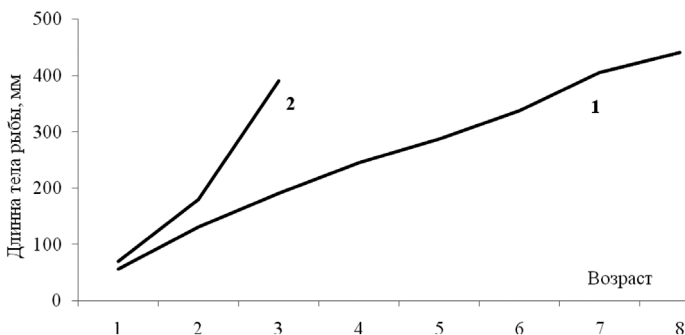
Водоем-охладитель расположен всего в 3 км от города, что делает его перспективным для организации спортивного рыболовства, где карп мог бы исполнять роль основного объекта. Поскольку он является ценным промысловым видом, популяция водоема-охладителя может использоваться для зарыбления Нювчимского и Кажимского водохранилищ на территории юга Республики Ю-

Таблица 2

**Значения меристических признаков и интегральных показателей  
флуктуирующей асимметрии карпа  
из разных частей водоема-охладителя Печорской ГРЭС**

Количество	Водоем-охладитель Печорской ГРЭС			
	Тепловодная часть		Холодноводная часть	
	Среднее	Ошибка	Среднее	Ошибка
Лучей в спинном плавнике	19.14	0.18	19.23	0.16
анальном плавнике	5.04	0.04	5.00	0.00
грудном плавнике	15.21	0.16	15.68	0.11
брюшном плавнике	8.00	0.05	8.00	0.00
Прободенных чешуй	36.39	0.28	37.48	0.22
Жаберных тычинок	22.18	0.28	25.13	0.30
Позвонков	36.00	0.12	36.26	0.12
ЧАП/П	0.36	0.17	0.33	0.15
ВАП/П	0.011	0.002	0.007	0.001

ми. Они характеризуются рыбным населением окунево-плотвичного типа со свободной нишей для ценных рыб-бентофагов (Рафиков, 2012), что обеспечит низкую конкуренцию за пищевой ресурс со стороны аборигенных представителей ихтиофауны.



Темп роста карпа водоема-охладителя Печорской ГРЭС (1) и подрощенного на рыбном хозяйстве (2) Нювчимского водохранилища.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Бознак Э.И., Захаров А.Б.* Рыбное население индустриального водоема в условиях многофакторного антропогенного воздействия // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. 2. Управление водными ресурсами речных водосборов / Водная экология: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2009. С. 220-224.

*Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И.* и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.

*Рафиков Р.Р.* Формирование рыбного населения искусственных водных объектов Республики Коми // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. XIX Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2012. С. 94-96.

## **ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РТУТИ В РАЗНЫХ ВИДАХ РЫБ КУБЕНСКОГО ОЗЕРА И ЕГО ПРИТОКОВ**

**А.А. Соколова, Н.Ю. Тропин**

Государственный НИИ озерного и речного рыбного хозяйства,  
Вологодская лаборатория

E-mail: [annso92@mail.ru](mailto:annso92@mail.ru), [nikolay-tropin1@yandex.ru](mailto:nikolay-tropin1@yandex.ru)

В настоящее время увеличивается загрязнение окружающей среды, которое в наибольшей степени отражается на водных экосистемах. Основные загрязнители водных объектов – тяжелые металлы, являющиеся наиболее опасными токсикантами (Моисеенко, 2006). К таковым относится и ртуть, преобразующаяся в водной среде в метильную форму. Она, в свою очередь, эффективно передается с одного трофического уровня на другой и способна аккумулироваться в гидробионтах. Наиболее интенсивно металл накапливается в органах и тканях рыб, особенно у хищных видов (Степанова, Ковов, 1997). Поступая в организм человека, токсикант депонируется и впоследствии вызывает серьезные функциональные нарушения. Поэтому работы, направленные на изучение содержания ртути в разных видах рыб, особенно крупных рыбопромысловых водоемов, представляют несомненный теоретический и практический интерес. К таким водным объектам относится Кубенское озеро, рыбные ресурсы которого круглогодично используются как в промышленном, так и в любительском рыболовстве. Так, в 2014 г., по данным официальной рыбопромысловой статистики, в водоеме промышленный лов рыбы составил около 167 т, а любительский – около 55 т. При этом в любительском лове преобладали окунь, щука и плотва, которых активно используют в пищу местные жители.

Кроме того, актуальность изучения ртутного загрязнения водных объектов бассейна озера обусловлена значительной площадью водосбора с разветвленной гидрографической сетью притоков. Наиболее крупными из них являются реки Кубена, Уфтюга и Большая Ельма. Известно, что содержание ртути в гидробионтах во многом определяется гидрологическими характеристиками. Как правило, более высокий уровень токсиканта регистрируется в озерных экосистемах по сравнению с водотоками, а также в устьевых участках рек. Поэтому для исследования закономерностей изменения

содержания ртути в разных видах рыб были выбраны водные объекты (Кубенское озеро, Токшинский залив Кубенского озера, нижнее течение и устьевая часть р. Уфтыги), отличающиеся по гидрологическим параметрам.

Цель настоящей работы – изучение содержания ртути в мышечной ткани разных видов рыб Кубенского озера и его притоков (р. Уфтыга).

Сбор ихтиологического материала проводился круглогодично в 2012-2014 гг. на озере, включая Токшинский залив, а также в нижнем течении и в устьевой части р. Уфтыги. Лов рыбы осуществлялся с использованием ставных сетей ячеей 40-80 мм, удочек и спиннингов. Всего было проанализировано 77 проб мышечной ткани рыб семи видов (окунь, щука, судак, лещ, плотва, густера, язь). Пойманная рыба подвергалась полному биологическому анализу по общепринятым методикам (Правдин, 1966). Содержание ртути в тканях рыб измерялось на ртутном анализаторе РА-915+ с приставкой ПИРО (Льюмэкс) атомно-абсорбционным методом холодного пара без предварительной пробоподготовки (нижний предел обнаружения ртути в образцах – 0.001 мг/кг) в Институте биологии внутренних вод РАН им. И.Д. Папанова.

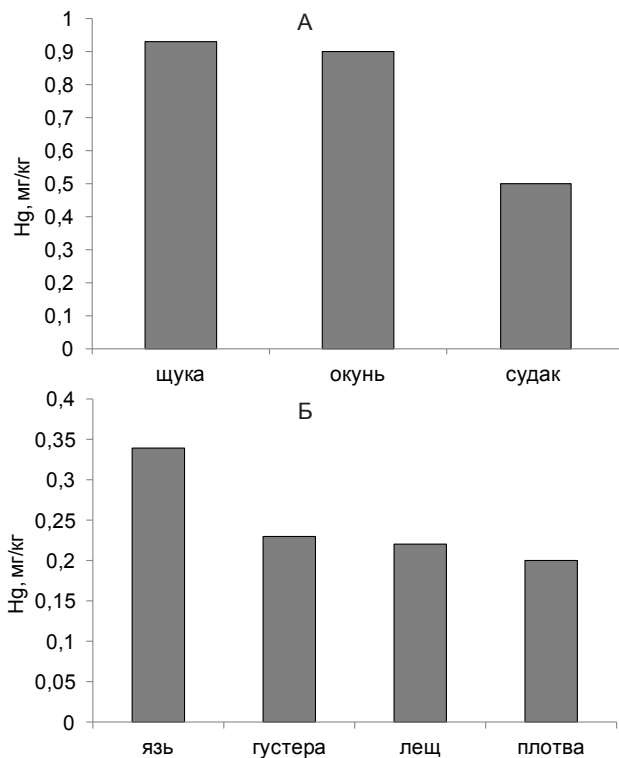
Особенности накопления ртути в тканях рыб водных объектов бассейна Кубенского озера определяются как природными, так и антропогенными факторами. Значительная площадь водосбора (14 400 км<sup>2</sup>) в сочетании с разветвленной гидрографической сетью способствуют поступлению в озеро большого количества аллохтонного вещества, в том числе и ртутьсодержащих соединений. Кроме того, в него впадает несколько десятков рек и ручьев, однако наибольшую часть водосбора дренируют реки Кубена, Уфтыга и Большая Ельма.

Озеро принадлежит бассейну Северной Двины, его длина составляет около 60 км, ширина – от 2.5 до 13 км. Средняя глубина водоема колеблется в пределах 2.5-2.9 м. Одной из отличительных гидрологических особенностей является существенное колебание уровня воды по сезону года (Болотова, Воробьев, 2007). Сочетание обширного водосбора с крупными притоками обеспечивают высокую водообменность в озере. Кубенское озеро испытывает значительные антропогенные нагрузки, связанные с сельскохозяйственным производством, населенными пунктами, речным транспортом, маломерным флотом, рыболовством и рекреацией.

Река Уфтыга относится к бассейну Кубенского озера; общая длина водотока составляет 117 км, а площадь бассейна – 1300 км<sup>2</sup>. Основным правобережным притоком является р. Ухтомица, левобережными – реки Содошка, Яхреньга и Шовеньга. По характеру

питания Уфтыюга относится к смешанному типу с преобладанием снегового типа питания. Водный режим реки типичен для равнинных водотоков таежной зоны: высокое половодье, низкая и обычно устойчивая летняя межень и почти полугодовой период мало-водной зимней межени (Соколова, 2014).

Исследование содержания ртути в мышцах разных видов рыб показало существенное различие в накоплении токсиканта видами, принадлежащими к разным трофическим уровням (см. рисунок). В мышечной ткани хищников (щука, окунь, судак) содержание ртути почти в три раза больше, чем в мирных видах рыб (язь, густера, лещ, плотва), что подтверждает растущее био-накопление ртути по трофической цепи. Среди хищных видов рыб наиболее высокие средние концентрации токсиканта отмечались у щуки (0.93 мг/кг), окуня (0.90) и судака (0.50 мг/кг), причем



Содержание ртути в хищных (А) и мирных (Б) видах рыб Кубенского озера и р. Уфтыюга в 2012-2014 гг.

у щуки и окуня среднее содержание ртути превышало ПДК (предельно-допустимую концентрацию) в 1.5 раза. Концентрация токсиканта в мирных видах рыб варьировала от 0.2 мг/кг у плотвы до 0.34 мг/кг – у язя. К тому же было отмечено, что у последнего средняя концентрация ртути незначительно превышала ПДК. Это может быть связано со спецификой питания вида преимущественно растительностью.

Сравнительное изучение накопления ртути на участках водных объектов с разной степенью проточности проводилось на примере наиболее многочисленного вида в уловах – окуне (Тропин, 2014). В условиях низкой проточности, характерной для озера, формируются благоприятные условия для интенсивного накопления ртути в гидробионтах. Это подтверждается высоким уровнем концентрации токсиканта в окуне Кубенского озера (1.1 мг/кг), что в 1.2 раза больше, чем из р. Уфтюга и в 1.8 раза выше установленного значения ПДК. В окуне Токшинского залива выявлено незначительное содержание ртути в мышечной ткани рыб (0.84 мг/кг). Вероятнее всего, это связано с относительной изоляцией залива от Кубенского озера. Однако для всех групп водных объектов концентрация токсиканта в рыбе превышала установленные значения ПДК. Это свидетельствует о высоких значениях ртутьсодержащих соединений на рассматриваемых участках.

Установление зависимости накопления ртути в рыбе от гидрологических характеристик водотока проводилось на примере окуня и язя р. Уфтюги. Отмечено, что в целом содержание токсиканта в изученных видах рыб закономерно увеличивается от нижнего течения к устьевой части реки. Так, если концентрация ртути в окуне и язе нижнего течения составляла соответственно 0.83 и 0.35 мг/кг, то в устьевом участке р. Уфтюги оно увеличилось до 1.51 мг/кг у окуня и до 0.48 – у язя. В устье водотока наблюдается интенсивное накопление речных наносов, поступающих с водосбора реки, и, как следствие, рост концентрации метилртути в донных грунтах. В конечном итоге, это приводит к повышению содержания ртути в мышечной ткани рыб. Кроме того, в устьевом участке реки могут встречаться виды рыб как непосредственно с водотока, так и с озера. Это усиливает дифференциацию изучаемых видов по содержанию ртути на разных участках р. Уфтюги.

Таким образом, в бассейне Кубенского озера создаются благоприятные условия для поступления ртути в водные объекты и ее последующего накопления в гидробионтах разного трофического уровня. В наибольшей степени аккумуляция токсиканта проявляется у рыб, в особенности у хищных видов. Это подтверждается проведенными исследованиями, которые показали высокий уро-

вень содержания ртути в мышцах окуня, щуки и судака по сравнению с мирными видами рыб (плотва, язь, густера и лещ). Кроме того, для большинства видов регистрировалось превышение ПДК по ртути. Помимо выявленных межвидовых особенностей накопления ртути установлена зависимость уровня ее концентрации от степени проточности водных объектов. Показано, что в оз. Кубенское наиболее высокое содержание ртути в мышцах рыб по сравнению с р. Уфтьгой и Токшинским заливом. Наибольшее содержание токсиканта в язе и окуне наблюдалось в устье р. Уфтьги по сравнению с нижним течением водотока.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Болотова Н.Л., Воробьев Г.А.* Кубенское озеро // Природа Вологодской области. Вологда: Издательский дом «Вологжанин», 2007. С. 137-140.

*Моисеенко Т.И.* Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.

*Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая пром-ть, 1966. 375 с.

*Соколова А.А.* Особенности рыбного населения реки Уфтьга // Материалы Международной научной конференции. В 3-х т. Вологда, 2014. Т. 2. С. 105-107.

*Степанова И.К., Комов В.Т.* Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области // Экология, 1997. № 4. С. 295-299.

*Тропин Н.Ю.* Накопление ртути в мышечной ткани окуня Кубенского озера // Материалы Международной научной конференции. В 3-х т. Вологда, 2014. Т. 2. С. 112-114.

## ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА ОЛЕНЬЕ (ОЛЕНИНО) ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЙ 2010-2014 гг.

**А.Ю. Тамуленис, Е.А. Жук, М.А. Мостовая**

Государственный НИИ озерного и речного рыбного хозяйства,  
Вологодская лаборатория

E-mail: [tamulyonis@yandex.ru](mailto:tamulyonis@yandex.ru), [hydrobiolog10@mail.ru](mailto:hydrobiolog10@mail.ru)

Антропогенное воздействие на экосистемы водных объектов с каждым годом усиливается. Для сохранения биоразнообразия экосистем водоемов и их функционирования необходимы гидробиологические исследования частично или совсем не тронутых водоемов для обеспечения в будущем возможности восстанавливать нарушенные в результате антропогенного воздействия водные объекты с учетом сложности взаимодействия всех компонентов экосистем.

Озеро Оленье (Оленино) – водоем, не испытывающий значительного антропогенного воздействия.

Цель исследования – дать характеристику оз. Оленье по результатам исследований, выполненным в 2010-2014 гг.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: определить основные параметры условий среды обитания в озере (дать оценку озера по гидрохимическим показателям и оценить уровень трофности водоема); оценить состояние биоты и запасы речных раков.

Для гидробиологической характеристики озера в период исследований были использованы следующие показатели водного объекта: абиотические – характер берегов, форма котловины, площадь, глубина, прозрачность, проточность, характер грунтов, pH, содержание кислорода, температура воды, а также биотические – состав и обилие зоопланктона, макрозообентоса, речных раков, водной растительности.

При исследовании водной растительности и флоры использованы общепринятые методические руководства (Катанская, 1956; Белавская, Распопов, 1975), при описании видового состава макрочитов – отечественные и зарубежные определители. За период исследования заложено 15 площадок.

Пробы зоопланктона и макрозообентоса на оз. Оленьем были отобраны в осенние (сентябрь) 2010 и 2011 гг. и летние (август) периоды 2012-2014 гг. По зоопланктону отобрано 12 проб: две в 2010 г., по три – 2011, 2013 и 2014 гг., одна – 2012 г.; по макрозообентосу – 15: две – в 2010 г., по три – 2011, 2013 и 2014 гг., четыре – в 2012 г. Пробы зоопланктона и макрозообентоса отбирались в центральной части водоема и у берегов.

Глубины на станциях изменялись от 1.2 до 7 м, преобладали глубины – 4-5 м. Пробы зоопланктона на мелководных станциях отбирались методом зачерпывания 100 л воды с последующей фильтрацией данного объема через сито № 64. На остальных станциях (с глубиной более 2 м) пробы взяты количественной планктонной сеткой Джеди (входное отверстие диаметром 18 см, сито № 64) тотально (от дна до поверхности). Пробы фиксировались 2%-ным раствором формалина. Камеральная обработка материалов осуществлялась по стандартной методике (Методические рекомендации..., 1984).

Пробы макрозообентоса отбирали дночерпателем Петерсена (модифицированная модель) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>, на каждой станции по две пробы. Отмывка от грунта проводилась сразу после взятия пробы с использованием сита из капронового газа № 23. Отмытые пробы фиксировали 4%-ным формалином (Методические рекомендации..., 1983).



Отлов раков производился пассивным способом. На каждом озере выставлялось около 20 раколовов в среднем на 10 ч экспозиции в ночное время. Всего выполнено 110 постановок раколовов за весь период исследования. В 2010 г. поймано, измерено и взвешено 15 раков, в 2011 г. – 167, 2012 г. – 78, 2013 г. – 46, 2014 г. – 23. Для постановки раколовов выбирались характерные для обитания раков места: коряжник, камни, граница тростниковых зарослей и т.д.

Запасы раков оценивались по уловистости орудий лова и полезной площади, заселяемой раками. Для определения запасов учитывались закономерности, которым подчиняются изменения репродуктивного потенциала популяций, их возрастного и полового составов, численности отдельных поколений, периодичности линек, скорости роста и естественной смертности, а также динамика факторов среды (Мицкевич, 2006.).

Озеро Оленье расположено в Приозерском р-не Ленинградской области, в северной части Карельского перешейка. Его площадь – 62 га, протяженность – 1.6 км, ширина в среднем – 0.4 км. В северной части примерно в 200 м севернее от него находится оз. Дробное, сообщающееся с ним протокой.

Высота над уровнем моря составляет 14.9 м. Длина береговой линии – около 6 км. Озеро вытянуто в направлении с северо-запада на юго-восток. Максимальная глубина – 12 м, средняя – 4 м. Тип озера по характеру водообмена – сточный.

В северо-западной и юго-восточной частях озера, вокруг острова, рельеф дна сглаженный, представлен песчано-илистыми отложениями. Дно в районе западного и восточного берегов сложено преимущественно песчано-глинистыми отложениями с вкраплениями камней известнякового происхождения. Литоральная зона простирается до глубин 4.0 м на расстояние от уреза воды 100-150 м. Донные отложения на мелководных участках характеризуются грубым детритом. Центральная часть озера представляет собой котловину, заполненную в северо-западной части серыми илами, в юго-восточной – черными. Мощность илов – не менее 2-3 м.

Температура воды в период обследований была в пределах 13.5-21.4 °С по всей толще воды до дна. Содержание кислорода сравнительно высокое – не менее 75.5%, рН по озеру варьирует от 7.20 (в литоральной зоне, в районе впадения протоки) до 7.72 (в центральной части).

Значительная роль болотного водосбора озера обуславливает высокую степень гумификации – цвет воды коричневый. Вода – слабоминерализованная, сумма ионов летом составляет  $35.2 \pm 10.6$  мг/л. По гидрохимическим показателям оно относится к полигумозным гидрокарбонатно-кальциевым водоемам.

**Макрофиты.** Околоводная растительность (гелофиты) представлена *Carex sp.*, *Comarum palustre* L., *Phragmites australis* Cav., надводная (нейстофиты) – *Nuphaea alba* L., *Potamogeton gramineus* L., *Sparganium emersum* Rehm., погруженная (гидатофиты) – *Elodea canadensis* Michx., *Myriophyllum spicatum* L., *Potamogeton perfoliatus* L. Проективное покрытие озера – около 1%.

Согласно А.П. Садчикову (2005) и Б.В. Виноградову (1964), по набору видов высших водных растений, оз. Оленье может быть отнесено к  $\beta$ -мезосапробному типу.

**Зоопланктон.** Всего за период исследования зоопланктона отмечено 43 вида: 19 – коловраток, 18 – кладоцер и шесть – копепод. Во все годы исследования повсеместно встречались коловратка *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850 и молодь копепод группы Cyclopoida. На большинстве станции в пробах отмечена молодь родов *Bosmina*, *Ceriodaphnia*, *Diaphanosoma*, *Daphnia*, *Chydorus* (кладоцеры) и молодь копепод (Cyclopoida и Calanoida).

В 2013 г. в пробах присутствовал *Holopedium gibberum* Zaddach, 1855, характерный для водоемов с кислой средой. Но его доля в общей численности и биомассе была меньше 1%. Также в 2013 г. в планктоне озера единично встречались хаборусы.

В 2012 и 2014 гг. в зоопланктоне обнаружен вид-вселенец – коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rous.), первоначально известная в водоемах Северной Америки. Ее роль в сообществе значительно меньше, чем широко распространенного в северных широтах вида *Kellicottia longispina* (Kellicott), который присутствовал на всех станциях в 2010-2013 гг. и преобладал как по численности, так и биомассе.

Численность зоопланктона изменялась от 6.98 до 689.11 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Его основу создавали колониальная коловратка *Conochilus unicornis* Rousselet, 1892, молодь копепод группы Cyclopoida, крупная хищная коловратка *Asplanchna priodonta* и кладоцера *Bosmina (E.) coregoni* Baird, 1857.

Биомасса зоопланктона варьировала от 0.041 до 4.279 г/м<sup>3</sup>. Доминирующими по биомассе видами были коловратка *Asplanchna priodonta*, кладоцера *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Muller) и молодь копепод группы Cyclopoida.

Средние показатели численности и биомассы по озеру за период исследований составили 129.60 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 1.124 г/м<sup>3</sup> соответственно. Учитывая средние показатели биомассы по общепринятой классификации кормности водных объектов (Пидгайко и др., 1968), оз. Оленье можно охарактеризовать как средnekормный водоем.

Всего за период 2010-2014 гг. в зоопланктоне озера отмечено 10 видов – индикаторов сапробности. Сапробность изменялась по годам от 1.27 (2011 г.) до 1.95 (2014 г.), в среднем составляя 1.59, что позволяет отнести его к  $\beta$ -мезосапробным водоемам.

**Зообентос.** За весь период исследования в озере обнаружено 11 видов зообентоса. Доминирующими видами в течение пяти лет были *Chironomus plumosus* L., *Procladius ferrugineus* Kiefler, *Chaoborus flavicans* Meigen.

В период исследований 2010-2014 гг. значения численности макрозообентоса варьировали в пределах 138-1660 экз./м<sup>2</sup>, а биомассы – 0.24-22.8 г/м<sup>2</sup>. Максимальные значения численности отмечены в 2010 г. (1660 экз./м<sup>2</sup>), биомассы – 2013 г. (22.8 г/м<sup>2</sup>). Минимальные значения зообентоса и по численности, и по биомассе отмечены в 2012 г. По развитию кормовой базы для рыб-бентофагов озеро может быть отнесено к средnekормным водоемам (Пидгайко и др., 1968). Для более корректного расчета сапробности обнаруженного в водоеме количества видов зообентоса (менее 15) недостаточно (Макрушин, 1974). Однако большинство видов, представленных в озере, являются индикаторами  $\beta$ -мезосапробных вод.

**Речные раки.** Озеро Олень – одно из немногих в Ленинградской области, в котором обитает два представителя отряда *Decapoda*: *Astacus astacus* L. и *Pontastacus (A.) leptodactylus* Esch. Соотношение популяции широкопалого к популяции длиннопалого рака из года в год менялось. В 2010 г. доля широкопалого рака в общем улове составляла 73%, в 2011 г. – 72, 2012 г. – 92, 2013 г. – 65, 2014 г. – 31%.

Длиннопалый рак преимущественно заселяет мелководную северо-западную часть озера, в районе впадения протоки, и восточный берег, где глубины достигают 1 м, а дно заилено грубодетритным илом; широкопалый занимает полностью весь западный берег, всю литоральную зону юго-восточной части озера, каменистую литораль вокруг острова.

Из двух видов раков широкопалый более стенобионтный, требовательный к условиям среды, а следовательно, более уязвимый. Для его обитания пригодны только олигосапробные водоемы, в то время как длинопалый может жить и в  $\beta$ -мезосапробных. Водоемы, в которых совместно обитают оба указанных вида, в том числе оз. Олень, занимают промежуточное положение по основным показателям. Смешанная популяция встречается на стыке, в экотонной зоне, между мелководной частью на северо-западе озера и западным берегом в районе небольшой заводи.

Согласно полученным результатам, уловистость орудий лова – 0.504 экз., промысловая плотность – 2-3 экз./м<sup>2</sup>, средняя масса широкопалых раков в уловах – 40 г, длиннопалых – 30 г, полезная площадь водоема – 45.8 га, промысловые запасы в водоеме – около 10 тыс. шт. Ракохозяйственный тип озера – высокопродуктивный.

Итак, по гидрохимическим показателям оз. Оленье относится к полигуменным гидрокарбонатно-кальциевым водоемам. По гидробиологическим показателям оно может быть отнесено к пограничному типу между олигосапробным и β-мезосапробным. По развитию кормовой базы для рыб и раков (зоопланктон и бентос) относится к средnekормному водоему, по условиям обитания – к пригодному для обитания раков. Грунты литоральной зоны озера – песчаные, глинистые, с наличием грубого детрита, что наилучшим образом подходит при строительстве нор.

Насыщение кислородом достаточно высокое (не менее 75.5%) и не может лимитировать существование раков.

Активная реакция изменяется от 7.20 до 7.72, значения укладываются в допустимые пределы и являются оптимальными для развития популяции раков обоих видов.

Oриентировочно, общие запасы раков в обследованном озере в настоящее время составляют 10 тыс. экз., или 300 кг, плотность – 2-3 экз./м<sup>2</sup>, что позволяет отнести его к высокопродуктивному типу.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Белавская А.П., Распопов И.М.* Основные задачи изучения продукции макрофитов // Круговорот веществ и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975. С. 99-101.

*Виноградов Б.В.* Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М.: Наука. 1964. 328с.

*Катанская В.М.* Методика исследования высшей водной растительности // Жизнь пресных вод СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 4. Ч. 1. С. 160-182.

*Макрушин А.В.* Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 60 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция / Л.В. Михайлова и др. Л., 1983. 33 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Ю.А. Барулина. Л., 1984. 33 с.

Раководство и раководство на водоемах европейской части России (справочник) / Ред. О.И. Мицкевич. СПб., 2006. 207 с.

*Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И.* и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов северо-запада СССР // Изв. ГосНИОРХ, 1968. Т. 67. С. 205-228.

*Садчиков А.П., Кудряшов М.А.* Гидробиотаника: прибрежно-водная растительность: Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ОЦЕНКЕ ТЕМПОВ РОСТА РЫБ

**М.В. Чурова<sup>1</sup>, А.М. Александрова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского НЦ РАН

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет

E-mail: [тчурова@yandex.ru](mailto:тчурова@yandex.ru), [nastyalexandrova@mail.ru](mailto:nastyalexandrova@mail.ru)

Важным аспектом в оценке общего состояния популяции рыб и каждой особи в отдельности является процесс роста. Он представляет собой сложный многофакторный процесс, определяющийся взаимодействием организма с абиотическими и биотическими факторами среды в процессе онтогенеза. В отличие от млекопитающих, рыбы растут в течение всей жизни. При этом особи одной когорты могут значительно отличаться размерами в зависимости от соотношения генетической и негенетической составляющих процесса их роста и влияния различных факторов среды. Изменение в темпах роста рыб служит важным показателем в оценке влияния различных факторов (в том числе антропогенных) на состояние водных экосистем (Дгебуадзе, 2001). Однако оценка темпов роста с использованием линейно-весовых показателей требует довольно большого периода времени для установления факта их изменения. Поэтому потенциальными маркерами темпов роста рыб могут быть данные биохимического статуса. Изменения на биохимическом уровне происходят задолго до их проявления на физиологическом и популяционном.

Основным метаболическим фактором, определяющим функциональную активность клеток различных органов и, соответственно, процессы роста и развития рыб, является уровень энергетического обмена. Достаточный уровень образования АТФ определяет активный рост и развитие организма рыб, особенно в период раннего онтогенеза, когда требуются большие энергетические затраты на синтез структурных и запасных соединений. Об уровне энергетического обмена можно судить по значению активности ключевых ферментов путей аэробного и анаэробного синте-

за АТФ. Так, об уровне аэробного обмена можно судить по активности фермента цитохромоксидазы (ЦО, ключевой фермент дыхательной цепи митохондрий), а анаэробного обмена – лактатдегидрогеназы (ЛДГ, фермент гликолиза). Согласно нашим исследованиям и данным литературы, изменения в активности этих ферментов отражают изменения уровня энергетического обмена и состояния рыб в целом при влиянии загрязнения окружающей среды, изменения температуры, варьировании качества и количества пищи, паразитарной инвазии. Кроме того, ранее показана взаимосвязь этих показателей с размерно-весовыми характеристиками рыб. Так, была установлена положительная взаимосвязь между массой тела и активностью цитохром с оксидазы и лактатдегидрогеназы в мышцах особей одновозрастных групп рыб естественных популяций (ряпушка, лосось, сиг) и для искусственно выращиваемой форели (оз. Онежское) в летний нагульный период в первые годы жизни (Чурова и др., 2010, 2011). Полученные данные предполагают возможность использования этих показателей и в оценке темпов роста рыб.

Белые мышцы рыб составляют значительную часть тела (около 60% веса) и, таким образом, во многом определяют особенности метаболизма всего организма и отражают темпы роста рыб (Overturn, Hardy, 2001). В связи с этим белок мышц, главным образом миозин, составляющий около 50% всех мышечных белков, является главным кандидатом для исследования процесса роста рыб.

Цель данной работы – исследование взаимосвязи активности ЦО и ЛДГ и уровня экспрессии гена тяжелой цепи миозина (*MyHC*) с темпами роста искусственно выращиваемой форели (*Parasalmo mykiss* Walb). Радужная форель является наиболее удобным модельным объектом для таких исследований, поскольку в условиях искусственного выращивания снижается вероятность действия случайных факторов на отдельных особей и легче отследить изменение средней массы выборки.

В течение полутора месяцев (с июля по август) каждые 10 дней проводили наблюдения за темпами роста форели, производили отбор проб для биохимического анализа и определяли заданные показатели. Также пробы взяли в конце августа и октябре. В этот период форель была отсортирована и рассажена в садки в соответствии с размерами: мелкие и крупные. Для всех отобранных особей были рассчитаны абсолютные и относительные темпы роста, которые оценивали по следующим формулам: абсолютный темп роста (г/сут.) – прирост массы за данный промежуток времени –  $(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$ ; относительный темп роста (% массы/сутки) – прирост массы относительно начальной –  $(W_2 - W_1) / W_1 / (t_2 -$

$t_1) \cdot 100$ , где  $W_1$  – начальная масса,  $W_2$  – конечный вес рыб,  $(t_2 - t_1)$  – количество суток между измерениями.

Определение активности ферментов в мышцах рыб проводили спектрофотометрически по стандартным методикам. Уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина определяли методом ПЦР в режиме реального времени.

Согласно результатам анализа, установлена положительная взаимосвязь исследуемых показателей в мышцах с темпами роста форели. Причем для активности ЦО и ЛДГ значение коэффициента корреляции был выше с абсолютными темпами роста ( $r = 0.73$  и  $0.84$ ,  $p < 0.5$  соответственно), а для уровня экспрессии гена *MyHC* – с относительными ( $r = 0.79$ ). При сравнении крупных и мелких сеголеток после рассадки в разные садки установлено, что у быстрорастущих особей активность ЦО, ЛДГ и уровень экспрессии гена *MyHC* выше (в 1.2, 1.5 и 2 раза соответственно,  $p < 0.05$ ), чем у медленнорастущих. Однако в октябре различий между исследуемыми показателями не наблюдалось, что не противоречило характеру изменения относительных темпов роста в осенний период (их снижению и отсутствию различий между крупными и мелкими).

Наличие взаимосвязи темпов роста с активностью ЦО объясняется участием этого фермента в аэробном синтезе АТФ. Как известно, интенсивно идущие процессы синтеза структурных, функциональных и запасных соединений в мышцах должны быть обеспечены необходимым количеством энергии, что требует высокого уровня аэробного синтеза АТФ. Повышение активности ЛДГ в белых мышцах у более крупных и быстрорастущих особей, видимо, связано с необходимостью поддержания высокого уровня образования АТФ для обеспечения физической активности. Взаимосвязь активности ЛДГ с темпами роста свидетельствует о наличии положительной взаимосвязи между высоким уровнем анаэробного энергетического обмена в скелетных мышцах и скоростью прироста мышечной ткани. Это объясняется тем, что при высокой физической активности особей, характеризующейся быстрыми сокращениями белых мышц, в энергообеспечении которых главную роль играет анаэробный метаболизм, значительно усиливается синтез сократительных белков в мышце и увеличивается объем мышечной массы. Установленная положительная корреляция уровня экспрессии гена тяжелой цепи миозина *MyHC* с темпами роста сеголеток форели указывает на высокие темпы прироста мышечной массы у быстрорастущих особей.

Но следует обратить внимание, что динамика изменения данных показателей соответствовала изменению абсолютных и отно-

сительных темпов роста в летний период; в осенний период на значение активности ферментов влияла температура окружающей среды. В целом, осенью уровень метаболических процессов и темпов роста изменялся в связи с температурными условиями и снижением интенсивности кормления, поэтому использование данных показателей для оценки темпов роста будет правильным в летний нагульный период, период активного питания и роста.

На основании результатов исследования можно сделать выводы о возможности применения этих показателей в качестве индикаторов роста и состояния рыб и в дальнейшем для разработки метода оценки темпов роста рыб по биохимическим и молекулярно-генетическим показателям.

Исследования выполнены с использованием Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ МК-3025.2014.4 и НШ-1410.2014.4, и из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № 0221-2014-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Дгебуадзе Ю.Ю.* Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука, 2001. 276 с.

*Чурова М.В., Мещерякова О.В., Немова Н.Н., Шатуновский М.И.* Соотношение роста и некоторых биохимических показателей рыб на примере микижи *Parasalmo mykiss* Walb. // Известия РАН. Сер. Биол., 2010. № 3. С. 289-299.

*Чурова М.В., Мещерякова О.В., Немова Н.Н.* Взаимосвязь активности ферментов энергетического обмена с темпами роста и размерами рыб // Ученые записки ПетрГУ, 2011. № 4. С. 31-37.

*Overturf K., Hardy R.* Myosin expression levels in trout muscle: a new method of monitoring specific growth rates for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on varied planes of nutrition // Aquat. Res., 2001. Vol. 32. P. 315-322.



**Секция 3**  
**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ**  
**И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ**  
**ЭКОСИСТЕМ**

**ВЛИЯНИЕ РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**  
**НА СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

**Н.Н. Бондаренко, О.С. Кубик,**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: *BondNikropolNik@mail.ru*

В результате функционирования зональной растительности и микробно-фаунистического комплекса в таежных биогеоценозах образуется значительное количество низкомолекулярных органических веществ. Сплошнолесосечные рубки еловых лесов и последующее формирование на вырубках мелколиственных насаждений обуславливают изменение качественного и количественного состава поступающего на поверхность почвы органического вещества (Дымов и др., 2012), а также состава почвенной микробиоты, участвующей в трансформации растительного опада (Богородская, Шишкин, 2014; Виноградова и др., 2014).

Цель данной работы – изучение состава и количества низкомолекулярных органических веществ, образующихся в подзолистых суглинистых почвах в процессе естественного лесовосстановления после сплошнолесосечных рубок еловых лесов.

Объекты исследования расположены на территории Республики Коми (Усть-Куломский р-н), в подзоне средней тайги: почвы коренного ельника черничного (участок ПП1) и разновозрастных производных березняков, сформировавшихся после рубок главного пользования, проведенных в зимний период 2001-2002 (ПП2) и 1969-1970 гг. (ПП 3). Подробное описание ключевых участков и их почвенно-растительного покрова дано в работах (Путеводитель..., 2007; Дымов и др., 2012). Почвенный покров участков представлен типичными подзолистыми текстурно-дифференцированными

почвами, сформированными на крупнопылеватых покровных суглинках.

Водорастворимые органические соединения (ВОС) определяли в образцах лесных подстилок, содержащих максимальное количество органических веществ в подзолистых почвах (Атлас почв..., 2010). Общее содержание углерода органических соединений водных вытяжек из почв определяли методом высокотемпературного каталитического окисления на анализаторе общего углерода ТОС VCPH (ГОСТ ГОСТ Р 52991-2008; Шамрикова и др., 2011). Соотношение почва:вода – 1:25, время экспозиции суспензии – 15 мин. Массовую концентрацию низкомолекулярных органических веществ оценивали методом газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС) (Шамрикова и др., 2011, 2013), относительная погрешность измерения составляет  $+\delta < 3\%$ .

Как показали проведенные исследования, подзолистые почвы целинных, ненарушенных таежных экосистем и сформировавшихся на вырубках мелколиственных насаждений существенно отличаются по содержанию в них водорастворимых органических веществ (см. таблицу). Максимальной концентрацией всех групп идентифицированных соединений отличаются горизонты лесной подстилки контрольного участка (ПП 1). В почвах вырубок их содержание снижено в 1.4-4.5 раза. Минимальное содержание ВОС отмечено в почве мелколиственного молодняка, сформировавшегося на вырубке 2001-2002 гг. (ПП 2). По мере восстановления древесного яруса происходит возрастание содержания водорастворимых органических веществ в почвах (ПП 3), но их концентрация не достигает уровня, характерного почвам природных ненарушенных экосистем (см. таблицу).

**Содержание водорастворимых органических веществ  
в лесных подстилках почв коренного ельника чернично-зеленомошного  
(ПП 1) и разновозрастных производных березняков,  
сформировавшихся на вырубках 2001-2002 (ПП 2) и 1969-1970 (ПП 3) гг.**

Группа соединений	Ключевой участок					
	ПП 1		ПП 2		ПП 3	
	I	II	I	II	I	II
Низкомолекулярные органические кислоты	178.6	65.5	54.4	19.8	96.0	35.0
Спирты	210.5	82.4	46.3	18.1	61.6	24.1
Сахара	371.5	150.4	193.7	78.0	270.3	109.1
Всего	760.6	298.3	294.4	116.0	427.9	168.3

*Примечание.* I – массовая концентрация вещества, мг/кг; II – содержание углерода органических веществ, мг/кг.

Наиболее чувствительными к изменению экологических условий компонентами водорастворимых органических веществ являются низкомолекулярные органические кислоты и спирты. Их содержание на первых этапах самовосстановительной сукцессии растительного покрова на вырубках (ПП 2) снижается в 3.3-4.5 раза по сравнению с контрольным участком (ПП 1), например, концентрация сахаров в почвах вырубок снижается в меньшей степени – в 1.9 раза.

На вырубках меняется не только общее содержание водорастворимых компонентов, но и соотношение индивидуальных низкомолекулярных соединений в составе водных вытяжек. В почвах вырубок отмечено снижение доли оксипропановой (в 1.2-2.2 раза), оксиуксусной (1.3) и оксибутановой (2.0-2.2) кислот, при относительном возрастании доли триоксипропановой (в 2.8-3.0 раза) и пентаоксигексановой (1.5) кислот. Из 10 идентифицированных моно- и дисахаридов в лесных подстилках почвы молодой вырубки выявлено только пять сахаров. Содержание таких компонентов, как манноза, D-ксилопираноза, D-фруктоза, галактопираноза, D-тураноза снижено до следовых количеств. По мере восстановления древостоя и функционирования почвенного биотического комплекса состав моно- и дисахаридов приближается к таковому в почве контрольного участка.

Таким образом, сплошнолесосечные рубки еловых лесов, формирующихся в подзоне средней тайги на типичных подзолистых почвах суглинистого гранулометрического состава, обуславливают изменение содержания и состава низкомолекулярных органических веществ в почвах. Наиболее чувствительными компонентами водорастворимых органических соединений являются низкомолекулярные органические кислоты и спирты. Уменьшение их содержания и изменение состава наиболее ярко отражают изменение экологических условий разложения органического вещества на вырубках. В целом, восстановление древостоя через смену пород приводит к снижению запасов органического вещества в органогенных горизонтах почв, формирующихся в средневозрастных березово-осиновых лесах, изменению их кислотности (снижению актуальной кислотности) и уменьшению, по сравнению с почвами коренных еловых лесов, продуцирования водорастворимых органических соединений.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Программы Президиума РАН № 12-П-4-1065 «Взаимосвязь структурно-функциональной и пространственно-временной организации почвенной биоты с динамическими аспектами изменения подзолистых почв и почвенного органи-

ческого вещества в процессе естественного восстановления таежных экосистем европейского Северо-Востока после рубок главного пользования».

#### ЛИТЕРАТУРА

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

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

*Богородская А. В., Шишикин А. С.* Микробиологическая оценка состояния почв вырубок темнохвойных лесов на юге Енисейского края // Лесоведение, 2014. № 4. С. 67-75.

Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги) / М.В. Рубцов, А.А. Дерюгина. Сыктывкар, 2007. 84 с.

ГОСТ Р 52991-2008. Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода. М.: Изд-во Стандартиформ, 2009. 12 с.

*Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В.* и др. Качественный анализ водных вытяжек из подзолистых почв Республики Коми на содержание органических соединений хромато-масс-спектроскопическим методом // Вода: химия и экология, 2011. № 11. С. 58-63.

*Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В.* и др. Водорастворимые низкомолекулярные органические кислоты в автоморфных суглинистых почвах тундры и тайги // Почвоведение, 2013. № 6. С. 691-697.

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

## МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТУНДРОВЫХ БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ

**Р.С. Василевич**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Микроэлементный состав стратифицированных горизонтов торфяных почв представляет интерес для изучения геохимического фона атмосферного аэрозоля в различные временные периоды (Веретенникова, 2013). Считается, что слабое выщелачивание атмосферными осадками неорганических компонентов обуславливает их высокую сохранность в торфяных горизонтах (Бобров и др., 2011). Несмотря на вышесказанное, ряд авторов указывает на неравномерности накопления (нередко аномальные) многих элементов по глубине, связанные с миграционными и депозиционными

особенностями элементов, ботаническим составом торфа, гидрологическими характеристиками болотных массивов и минералогическим составом материнской породы. Такой подход во многих случаях бывает оправдан. Однако большинство авторов, как правило, пренебрегают тем влиянием на эти процессы, которое оказывают высокомолекулярные органические соединения. Последние десятилетия ознаменовались значительной трансформацией почвенного покрова Севера под действием усиливающегося пресса антропогенной деятельности. Отсутствие средних концентраций тяжелых металлов (ТМ) и закономерностей их накопления в торфяных отложениях Республики Коми делает практически неосуществимым оценку техногенного воздействия на данные объекты.

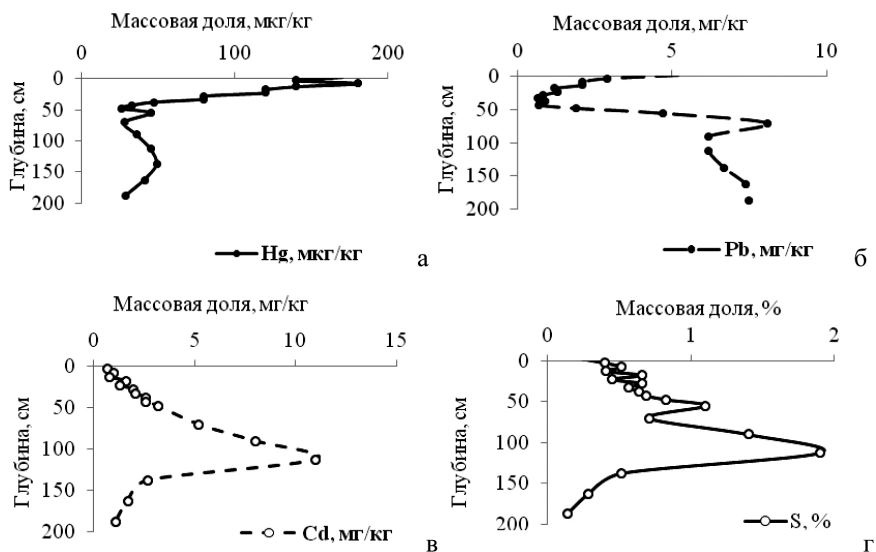
Район исследования расположен в северной лесотундре (бассейн р. Сейда), в Воркутинском р-не Республики Коми, с распространением массивно-островной многолетней мерзлоты. Исследования проведены в пределах бугристо-мочажинного комплекса на сухоторфяных мерзлотных почвах бугров (разрез 2014-1) и почвах оголенных торфяных пятен (разрез 2014-2). Послойный отбор проб проведен до глубины 2 м. Верхняя граница многолетней мерзлоты находится на глубине 50 см. Лишайниковый покров на вершинах бугров часто бывает нарушен – обнажается черный торф под влиянием ветровой и морозной корразии. По данным радиоуглеродного датирования, начальный этап (200 см) торфонакопления относится к раннему атлантическому субпериоду 7160 л.н. Для большей части своего существования (до 2200-3000 кал л.н.), торфонакопление происходило в условиях низинного болота при отсутствии вечной мерзлоты с преобладанием осоковой растительности и коричневых мхов, а также с присутствием древесной растительности (особенно березы). До глубины 30-50 см в торфянике преобладают мхи (Routh et al., 2014). До верхней границы многолетней мерзлоты образцы торфа кислые с рН 3.5-3.9, и торфонакопление происходит по верховому типу. Содержание как обменных, так и валовых форм кальция и магния низкое, что определяет слабую обеспеченность растений элементами минерального питания. Химический состав низинного торфа более разнообразный. Для данных образцов характерна высокая доля обменных кальция и магния, определяющая большие значения рН, увеличивающиеся в нижней части массива до 5.5, высокое содержание валового железа и алюминия (до 3%) и кальция (до 1%). Алюминий в торфах аккумулируется в виде нерастворимых алюмогумусовых соединений, железо – в составе гидроксокомплексов с гумусовым веществом (ГВ). Высокая доля этих элементов обусловлена, вероятно, влиянием глинистых отложений материнской

породы с повышенной карбонатностью и минералов железа, возможно, сидеритов. Накоплению этих элементов способствует то, что исследуемый торф представлен преимущественно растительностью семейства осоковых, хорошо накапливающих эти элементы. В составе низинного торфа отмечается также большое содержание стронция, обладающего высоким сродством к кальцию. Соединения кальция оказывают существенное влияние на процессы болотного почвообразования. Обеспеченность торфа кальцием способствует более глубокой гумификации органического вещества и закреплению ГВ на минеральной матрице. В составе гумусовых кислот (КГ) преобладают кислоты с максимальным содержанием до 28% в верхнем слое и на границе многолетней мерзлоты (40-60 см). Оценка содержания функциональных групп и молекулярных фрагментов ГК свидетельствует о существенном различии их молекулярного состава при переходе от верхних слоев торфа к нижним и характеризуется уменьшением относительной доли парафиновых групп (от 46.6 до 30.4%) и увеличением доли ароматических фрагментов молекул (от 16.1 до 27.4%) в составе ГК. Большая гумифицируемость гуминовых и фульвокислот (ФК) нижних слоев торфа связана как с процессом естественного отбора термодинамически устойчивых молекул, так и характером растительности в периоды голоцена, а также минеральным составом торфа. Карбоксильные группы – основные фрагменты ГВ, связывающие минеральные компоненты в растворимые и нерастворимые комплексные соединения, гетерополярные соли. Содержание карбоксильных групп ГК низкое (6.1-8.5%), относительное количество COOH групп ФК увеличивается вниз по профилю.

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 оттаивающему горизонту, отражая степень аэрогенного загрязнения за длительный временной период, и связан с прижизненным накоплением растениями и гумусовыми веществами Hg, Cd, Pb, Cu. Значения суммарного кларка  $\Sigma K_i$  для ТМ уменьшается вниз по профилю до глубины 25-30 см с 7.9 до 5.4. Центральный уровень соответствует границе многолетней мерзлоты со значениями  $\Sigma K_i$  10.3-18.5. Нижний уровень приходится на глубину 60-120 см и связан с аномальным превышением кларка для Cd и Zn, а также максимальной концентрацией Pb, Ni, Co, Mn.

Среди наиболее типичных халькофильных элементов, присутствующих в верхних торфяных горизонтах, наиболее токсичные из них Hg, Pb и Cd в большинстве своем имеют антропо-

генное происхождение. Характер накопления для этих элементов различен. Для Hg и Pb в **верхней части профиля отмечается регрессивно-аккумулятивный тип накопления**. Более 70% валового накопления ртути приходится на сезонно-оттаивающий слой (СТС). Необходимо отметить, что, согласно данным литературы, более 80% ртути поступило в атмосферу за последние 200-300 лет, что должно соответствовать верхнему торфяному слою мощностью 3-4 см. Из вышесказанного следует, что образующиеся на месте осаждения соединения ртути мигрируют вниз по профилю. Ветвь распределения кадмия имеет регрессивно-элювиальный характер, свинца – аккумулятивно-элювиально-иллювиальный. Отличие в накоплении этих элементов в СТС обусловлено действием двух типов геохимических барьеров – сорбционного и криогенного, связанного с действием многолетней мерзлоты (см. рисунок). Из-за низкой доли минеральных компонентов в составе верхового торфа действие сорбционного барьера связано с образованием гуматов и фульватов ТМ. Характер накопления и миграции определяется устойчивостью гуматов ТМ, константы устойчивости располагаются в следующий ряд: (pH = 3)  $Hg \gg Fe^{3+} > Pb > Cu > Ni > Cd, Zn$ . Вследствие малого содержания основных комплексообразующих центров молекул ГК верхних слоев торфа: салицилатных, пиро-



Распределение валовой ртути (а), свинца (б), кадмия (в), серы (г) по слоям почвы оголенных торфяных пятен.

катехиновых, фталевых групп, они обладают низким химическим сродством к ТМ. В условиях повышенной кислотности ТМ обладают высокой подвижностью, мигрируя до границы СТС. ФК и низкомолекулярные органические кислоты, такие как оксипропановая, пропановая, оксиэтановая, а также яблочная, в большом количестве содержащиеся в СТС (Кубик и др., 2014), обладают высокой мобилизующей способностью, повышая растворимость соединений ТМ.

Нижняя граница СТС, по классификации А.И. Перельмана, может быть названа щелочным барьером вследствие резкого скачкообразного увеличения рН. В этих условиях происходит осаждение из растворов многих минералов, относящихся к карбонатам, гидроксидам и т.д. СТС также характеризуется наибольшим выходом ГК. Образование гетерополярных солей гумусовых кислот с катионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  может вызвать формирование мостиков между гумусовыми кислотами и глинистыми минералами. Взаимодействие ГВ с минеральными компонентами приводит к образованию комплексно-гетерополярных солей и сорбционных алюмо- и железистых комплексов, являющихся мощнейшим геохимическим барьером к ТМ. Его максимальное действие проявляется для торфяных слоев на глубине 60-120 см и связано с сорбцией (хемосорбция, физическая сорбция) элементов, проявляющих высокое сродство к железу V ( $r = 0.91-0.96$ ), Cr ( $r = 0.86-0.90$ ), Mn ( $r = 0.93-0.98$ ), Ni ( $r = 0.86-0.90$ ), Co ( $r = 0.82-0.93$ ) и других ТМ Zn ( $r = 0.91-0.92$ ), Cd ( $r = 0.74-0.81$ ) и сорбцией на алюмогумусовых комплексах V ( $r = 0.99$ ), Cr ( $r = 0.99$ ), Mn ( $r = 0.79-0.84$ ) Ni ( $r = 0.64-0.79$ ), Co ( $r = 0.80$ ), Zn ( $r = 0.78-0.81$ ), Pb ( $r = 0.70-0.91$ ). Обнаруженные аномальные концентрации Cd и Zn в центральной части торфяной толщи, сформированной в период голоценового оптимума, не могут быть объяснены фракционированием химических элементов атмосферы в ранние периоды. Аналогичные аномалии получены для Zn и Cu для Выдринского болота Южно-Прибайкалья, что связывали с восходящим потоком термальных вод (Бобров и др., 2011). В нашем случае обнаружена тесная связь концентраций этих элементов с валовым содержанием серы ( $r(\text{Cd}) = 0.92$ ,  $r(\text{Zn}) = 0.65$ ,  $n = 33$ ,  $r_{5\%} = 0.34$ ) (см. рисунок). При разложении органического вещества или под действием сульфатредуцирующих бактерий в анаэробных условиях такие металлы, как кадмий и цинк, будут образовывать сульфиды. Очевидно, что аномальный микроэлементный состав исследуемого торфа определяется совокупностью факторов, среди которых состав грунтовых вод на ранних этапах формирования торфяной залежи, подстилающие породы, отражающие литогеохимические особенности тер-



ритории. Ключевым, требующим дальнейшего изучения аспектом следует считать состав растительности, слагающей торфяную толщу. Поскольку торфообразование является аккумулятивным процессом, то перемещение элементов питания в нарастающей торфяной залежи на раннем этапе развития осуществляется вверх биогенным путем (Веретенникова, 2013). Результаты факторного анализа данных (более 40 показателей) подтверждают ранее полученные выводы и демонстрируют взаимосвязь большинства компонентов с рН, содержанием карбоксильных групп ФК, параметрами зольности, содержанием макрокомпонентов (Fe, Al, Ca, Mg). Отдельный фактор в факторе образуют Hg, массовая доля углерода и степень конденсированности ГК (по данным элементного состава), что еще раз подтверждает ее взаимосвязь с ГК торфа.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ МОЛ\_А\_2014 № 14-04-31303.

#### ЛИТЕРАТУРА

Бобров В.А., Богуш А.А., Леонова Г.А. и др. Аномальные проявления концентраций цинка и меди в торфянике верхового болота Южного Прибайкалья // ДАН, 2011. Т. 439. № 6. С. 784-788.

Веретенникова Е.Э. Содержание и распределение химических элементов в торфах южнотаежной подзоны Западной Сибири // География и природные ресурсы, 2013. № 2. С. 89-95.

Кубик О.С., Каверин Д.А., Пастухов А.В., Кызьюрова Е.В. Водорастворимые органические соединения в комплексе торфяных мерзлотных почв северо-востока Большеземельской тундры // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XXI Всерос. молодеж. науч. конф., посвящ. 70-летию А.И. Таскаева. Сыктывкар, 2014. С. 194-198.

### МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВОКРУГ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ТУНДРОВОЙ ЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

М.И. Василевич, Р.С. Василевич  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: mvasilevich@ib.komisc.ru

Промышленные центры в полярных и приполярных областях служат социально-экономической основой для существования человека, но они оказывают мощное негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения. Воркутинская агломерация, расположенная на территории востока Большеземельской тундры, яркий пример тому, где высока роль аэрогенного загрязнения от

эмиссий угледобывающих предприятий, ТЭС, транспорта и других промышленных объектов, что обуславливает большие объемы выбросов (Гецен, 1994).

Надежным индикатором аэротехногенного воздействия в северных регионах является загрязненность снежного покрова. Снег выступает эффективным накопителем поллютантов, которые аккумулируются и сохраняются в нем в неизменном состоянии в течение зимы. По его химическому составу можно установить площадное распределение и количественные характеристики веществ, выпадающих зимой из атмосферы (Баглаева, 2012).

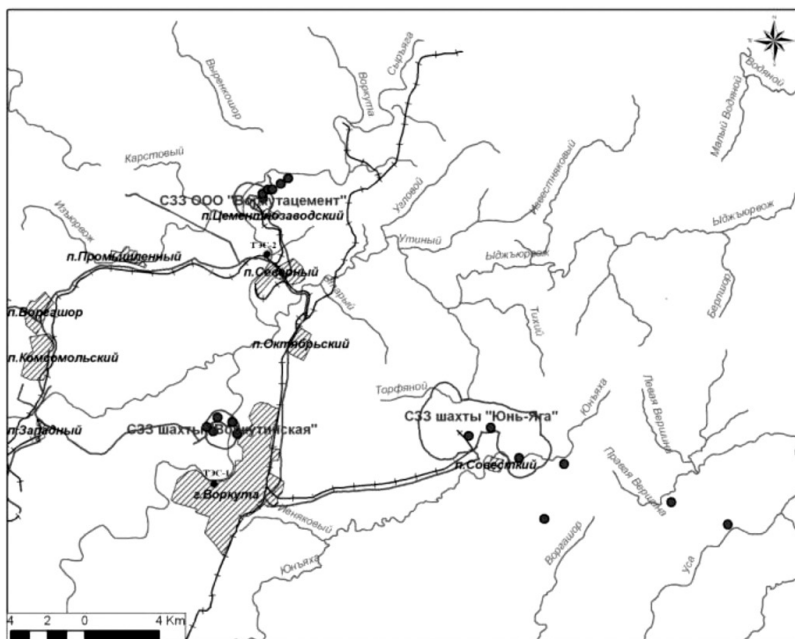
В настоящее время проведено множество исследований, направленных на определение зон влияния источников антропогенного загрязнения окружающей среды и ареалов накопления поллютантов в снежном покрове как путем натурных исследований, так и моделирования ареалов загрязнения с помощью геоинформационных систем и анализа данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Использование ДДЗ для выделения ареалов загрязнений, наблюдаемых вокруг промышленных объектов, чаще всего основано на анализе взаимосвязи процессов снеготаяния и распределением осадочных взвешенных частиц (Василевич, 2009; Kokhanovsky, 2013).

Цель работы – разработка и оценка действенности метода выделения зон аэротехногенного загрязнения вокруг промышленных предприятий при комплексном использовании данных дистанционного зондирования и количественного химического анализа (КХА) снежного покрова, а также расчет поступления загрязняющих веществ с зимними атмосферными осадками на территорию Воркутинской агломерации.

Отбор проб снега проводили в третьей декаде марта на открытых визуально ровных площадках вокруг шахт «Юнь-Яга», «Воркутинская» и цементного завода, а также на фоновых территориях. Химический анализ компонентов проводили как в фильтрате талой воды (растворимые формы элементов), так и на фильтре (малорастворимые формы), поскольку на данной территории большая часть поллютантов содержится в снеге в виде взвешенных частиц, составляя более 60% от общего модуля поступления. Для разработки методики применяли параметры валового содержания компонентов в снеге (см. рисунок).

В работе использовали зимние безоблачные снимки спутников Landsat 7, Landsat 8. Путем пробных построений оценочных растров были определены компоненты, для которых возможно применение данного метода – рН, электропроводность, суммарное содержание макрокомпонентов, кальция и магния, гидрокарбонат-

ионы, общий органический углерод и углерод, пересчитанный со значений химического потребления кислорода (ХПК). Среди микрокомпонентов выявлена хорошая корреляция спектральных величин с ванадием, алюминием, марганцем, никелем, медью, хромом и серой. Для построения оценочных растров снимали значения каналов для каждого изображения в точках отбора проб снега и с помощью принципов многомерной линейной регрессии рассчитывали коэффициенты для уравнения связи спектральных величин и химических показателей содержания поллютантов в снеге. Далее с помощью программы Erdas Imagine 9.0 применяли модель расчета оценочного растра со значением показателя в каждом пикселе. Был проведен подбор вариантов использования разных наборов дистанционной информации. Установлено, что наибольшая точность построения оценочных растров достигается при использовании набора из шести каналов снимка (каналы 2-7). Для наглядности рассчитаны средние значения погрешности в точках растров оценок и сравнены с погрешностями аналитических методик определения компонентов. Для водородного показателя погрешность построения растров оценки в обоих вариантах меньше,



Карта-схема территории исследования с точками отбора проб.

чем погрешность по методике КХА. Близкие величины погрешности отмечены для удельной электропроводности, содержания углерода, пересчитанного с ХПК, суммарного содержания макрокомпонентов. Высокая точность оценки получена для тяжелых металлов.

Построены карта-схемы распределения загрязняющих компонентов в снеге Воркутинской агломерации, на которые были нанесены территории предположительного размещения санитарно-защитных зон (СЗЗ), согласно СанПиН. Для данных предприятий, относящихся ко 2 классу опасности, она составляет 500 м. Проведен расчет поступления выбранных компонентов на территории условных СЗЗ. Расчеты показали, что на территории СЗЗ предприятий среднее значение поступления макрокомпонентов составило за 5 мес.  $2.9 \text{ г/м}^2$ , что примерно в шесть раз выше, чем на фоновых территориях. Повышенное поступление компонентов загрязнения отмечается также за пределами СЗЗ предприятий, что связано как с переносом поллютантов, так и дополнительным влиянием эмиссии с территорий населенных пунктов, что связано с автотранспортом, эксплуатацией ТЭС-1 и ТЭС-2, работающих на угле.

Для выявления механизмов поступления поллютантов и факторов химического состава снежного покрова применены факторный и корреляционный анализы. Также в работе оценивали направленность перемещения выбросов от предприятий, проводили расчет траекторий переноса воздушных масс от источников эмиссии с помощью программы HYSPLIT (сайт <http://www.arl.noss.gov>). Для расчета использовались следующие показатели: время движения воздушных масс – 24 ч; высота над уровнем земли в точке расчета – 100 и 500 м. Полученные траектории ранжировались с точки зрения направления переноса воздушных масс от источников эмиссии. В зимний период они смещаются в основном на северо-восток, северо-запад и запад, составляя общую долю от поступающих воздушных масс более 50%. Вследствие географического расположения предприятий и характера атмосферных переносов за период формирования снежного покрова территории шахты «Воркутинская» и цементного завода подвержены влиянию выбросов ТЭС-1 и ТЭС-2 в большей степени, чем территория шахты «Юнь-Яга», из-за достаточного удаления. Наибольшее потенциальное воздействие выбросов может отмечаться на территории пос. Цементнозаводский, где наблюдается максимальное перекрытие доминирующих переносов от источников.

Таким образом, в работе показана возможность использования ДДЗ для оценки ареалов загрязнения и расчета поступления ве-

цеств на промышленные и прилегающие к промышленным территории тундровой зоны. Разработанный метод может быть использован как метод интерполяции, основанный на комплексном использовании дистанционных данных и данных КХА. Выработаны оптимальные условия для построения оценочных растров. Этот способ оценки загрязнения территории по спектральным характеристикам снежного покрова хорошо применим для тундровой зоны, где высота снега и отсутствие маскирующего влияния растительности дают достаточно точные результаты, сопоставимые с полученными химико-аналитическими исследованиями. На основе разработанного метода были построены карта-схемы распределения загрязняющих компонентов в снеге и рассчитаны модули поступления веществ на исследуемую территорию. Раскрыты механизмы поступления поллютантов и факторы формирования химического состава снежного покрова Воркутинской агломерации. Расчет траекторий переноса воздушных масс показал доминирующие направления переноса поллютантов от источников эмиссии. В зимний период воздушные массы смещаются в основном на северо-восток, северо-запад и запад, составляя общую долю более 50%. Установлено, что территории шахт «Воркутинская» и цементного завода, как и территория города, помимо собственной эмиссии подвержены влиянию выбросов ТЭС-1 и ТЭС-2.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта УрО РАН №14-4-ИП-9.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Баглаева Е.М., Сергеев А.П., Медведев А.И.* Пространственная структура техногенного загрязнения снежного покрова промышленного города и его окрестностей растворимыми и нерастворимыми формами металлов // *Геоэкология*, 2012. № 4. С. 326-335.

*Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Габов Д.Н.* Органическое вещество снежного покрова в зоне влияния выбросов целлюлозно-бумажного предприятия // *Водные ресурсы*, 2009. № 2. С. 182-188.

*Гецен М.В., Стенина А.С., Хохлова Л.Г.* и др. Состояние природной среды Большеземельской тундры на территории Воркутинского промышленного района // *Народное хозяйство Республики Коми*, 1994. Т. 3. № 1. С. 68-76.

*Kokhanovsky A.* Spectral reflectance of solar light from dirty snow: a simple theoretical model and its validation // *Cryosphere*, 2013. № 7. P. 1325-1331.

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ КРУПНЫХ ФРАКЦИЙ  
МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА  
В СИСТЕМЕ СЕЗОННО-ТАЛЫЙ СЛОЙ–МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ**

**Е.В. Жангуров, А.А. Дымов, Д.А. Каверин, Ю.А. Дубровский**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар  
E-mail: zhan.e@mail.ru

В горных ландшафтных условиях значительное влияние на формирование почв и почвенного покрова оказывают процессы криогенеза, результаты и действия которых выражены в виде специфического криогенного микрорельефа, криотурбаций и тиксотропии в почвенных горизонтах, надмерзлотной верховодки и оглеения, криогенного ожелезнения и специфического оструктурирования минеральной массы, образования ледяных шпиров и различных криогенных текстур. В мерзлотных почвах в результате циклических процессов промерзания – оттаивания и частых фазовых переходов (вода ↔ лед) физическая дезинтеграция горных пород, в основном их морозное выветривание, как превалирующий процесс трансформации способствует сохранению в почвообразующей породе слабозатронутых химическим выветриванием первичных минералов. Поэтому в верхней части сезонно-талого слоя (надмерзлотная часть почвенного профиля) и непосредственно в зоне контакта многолетнемерзлых (льдистых) пород (ММП) вследствие температурных колебаний идут интенсивные процессы криогенного преобразования минерального вещества. В что же время литературные данные по минералогическому составу крупных фракций мерзлотных почв европейского северо-востока России фрагментарны и единичны (Зверева, Игнатенко, 1983), что определяет актуальность подобных исследований для диагностики процессов внутрипочвенного криогенного выветривания, почвообразования и сопоставления полученных результатов с аналогичными почвами холодных гумидных областей других физико-географических регионов.

Цель данной работы – исследование особенностей внутрипрофильного распределения минералов крупных фракций (1.0-0.25 и 0.25-0.1 мм) в мерзлотных глееземах Приполярного Урала в системе «сезонно-талый слой–многолетнемерзлые породы».

Район исследований относится к зоне распространения массивно- и редкоостровных многолетнемерзлых льдистых пород, которые широко распространены в условиях слабодренированных пологих склонов предгорных равнин различных хребтов с абсолютными высотами 350-450 м. Объектами исследований были

выбраны два опорных разреза, заложенные в горно-тундровых ландшафтах хребта Малды-нырд (разрез 25-С – глеезем иллювиально-ожеженный мерзлотный; разрез 7-2009 – торфяно-глеезем мерзлотный). Полевые работы включали заложение, описание почвенных профилей с последующим отбором проб почвенных горизонтов, а также ручное бурение с отбором льдистых кернов с шагом 10 см до глубины 70-85 см. Минералогический состав крупно- (1.0-0.25 мм) и среднеспесчаной (0.25-0.1 мм) фракций определяли оптическим иммерсионным методом с помощью поляризационного микроскопа с предварительным разделением в бромформе (удельная масса 2.9 г/см<sup>3</sup>) на легкие и тяжелые минералы. Классификация и диагностика почв дана согласно «Полевому определителю почв России» (2008).

В исследуемых мерзлотных глееземах мощность сезонно-талого слоя (СТС) варьирует в широких пределах (35-50 см) и во многом зависит от мощности органогенных горизонтов, представленных торфянистой или торфяной подстилкой. В результате сезонных и суточных колебаний температуры 0 °С, сильноокислой реакции среды (рН сол. 3.7-3.8) и частой смены окислительно-восстановительного режима надмерзлотная часть профиля (СТС) исследуемых глееземов является зоной активного почвенного криогенеза, где происходят интенсивные процессы криогенного внутрипочвенного выветривания первичных минералов. В зависимости от мощности СТС и глубины подстилания ММП нами рассмотрены два морфогенетических типа почв, охарактеризованных ниже.

Разрез 25-С. Нижняя часть пологого склона юго-восточной экспозиции хребта Малды-нырд, абс. высота – 350 м. Кустарничково-лишайниковая тундра. Профиль почвы: O(0-5 см)–Gf(20-40 см)–BG(40-60 см)–Cg<sub>1</sub>(60-70 см)–ММП. Под маломощной слаборазложившейся оторфованной подстилкой (4-5 см) формируется серия минеральных глеевых горизонтов различной интенсивности и окраски. Как правило, в верхней части профиля глеевый горизонт G имеет яркую голубую (часто сизовато-коричневую) окраску с буровато-охристой тонкой каймой, срединные глееватые горизонты BG–Cg – сизовато-коричневую с ржавыми пятнами до 1-2 см и небольшими линзами чистого льда. В почвенном профиле в течение всего года сохраняется многолетняя мерзлота. Кровля ММП залегает на глубине 60-70 см и служит водупором, поэтому профиль почвы сильно увлажнен и является тиксотропным (Жангуров и др., 2013). Согласно «Полевому определителю почв России» (2008), почвы диагностируются как глееземы иллювиально-ожеженные мерзлотные в отделе глеевых почв.

Результаты определения минералогического состава крупно- и среднеспесчаной фракций выявили следующие характерные особенности. В составе минералов фракций крупного (1.0-0.25 мм) и среднего (0.25-0.1 мм) песка наблюдается обычное для мелкозема ледниковых отложений доминирование легких по удельному весу минералов (кварца и полевых шпатов). Кварц представлен прозрачными и полупрозрачными зернами с угловатыми и остроугольными обломками, крупные зерна иногда с шероховатой корродированной поверхностью. Полевые шпаты содержатся в виде неправильных угловатых зерен с четкой видимой спайностью и представлены олигоклазом. Они серицитизированы и довольно интенсивно выветриваются, их поверхность часто корродирована и покрыта пленками. Наблюдается тенденция к увеличению содержания полевых шпатов в среднеспесчаной фракции (0.25-0.1 мм) вниз по профилю (в том числе в верхней части ММП), что объясняется дроблением в процессе криогенного выветривания зерен этих минералов в более крупных фракциях. Содержание слюд, представленных мусковитом, как в сезонно-талом слое, так и в пределах многолетнемерзлых пород, незначительно.

В минералогическом составе тяжелой фракции доминируют гематит, лейкоксен, лимонит, эпидот, составляющие 75-90% от общей суммы всех минералов (см. таблицу), при явном преобладании гематита (55-70%). В верхней части СТС зоной наиболее активного внутрипочвенного выветривания минералов тяжелой фракции являются глеевые горизонты BGcf-BG, где скапливаются кислые продукты почвообразования и нередко имеют место колебания температуры около 0 °С. Частая смена окислительно-восстановительных условий в надмерзлотной толще глеевых горизонтов определяет усиление подвижности (гидро)оксидов железа и специфические особенности в распределении рудных и железистых минералов. Происходит интенсивное разрушение практически всех минералов, за исключением сростков гематита и слюды (см. таблицу). К группе устойчивых минералов в сезонно-талом слое и многолетнемерзлых породах относятся акцессорные минералы (рутил, турмалин, циркон), однако их содержание очень низкое. В СТС, где процессы криогенного выветривания наиболее активизированы, происходит значительное разрушение анатаза, сфена, апатита и магнетита и их остаточное накопление в слое ММП, слабозатронутых процессами выветривания и почвообразования. В нижних горизонтах ММП слабые изменения, которым подвергаются минералы, выражаются в корродированности поверхности зерен и редких железистых пленках.



**Минералогический состав тяжелой фракции (размер частиц 0.25-0.1 мм), % от числа зерен**

Гори-зонт	Глубина, см	Минералы тяжелой фракции																				
		Гематит	Слюда + гематит	Лейкоксен	Лимонит	Эпидот	Рутил	Ильменит	Мусковит	Хлоритид	Турмалин	Циркон	Анатаз	Амфибол	Сфен	Альмандин	Апатит	Магнетит	Пироксен	Листен		
Разрез 25-С. Глеезем иллювиально-ожелезненный мерзлотный криотурбированный																						
BGcf	5-20	–	100 зн.	зн.	зн.	зн.	–	–	–	–	зн.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	ед.	–
BG	5-20	–	100 зн.	зн.	–	–	–	ед.	ед.	ед.	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BCg@	20-40	60	–	10	20	–	–	зн.	10	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BC	40-60	65	–	10	10	5	5	5	зн.	ед.	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
BC <sub>л</sub>	60-70	55	–	10	10	10	–	15	зн.	ед.	зн.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Керн1 <sub>л</sub>	70-80	55	–	15	15	10	–	5	–	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	ед.
Керн2 <sub>л</sub>	80-90	60	–	10	–	10	5	5	–	ед.	зн.	зн.	зн.	зн.	ед.	ед.	ед.	зн.	зн.	–	–	–
Керн3 <sub>л</sub>	90-100	72	–	5	10	10	3	–	–	ед.	ед.	зн.	зн.	зн.	–	–	–	–	–	–	ед.	–
Керн4 <sub>л</sub>	100-120	67	–	3	15	10	зн.	5	–	ед.	зн.	ед.	зн.	зн.	–	–	–	–	–	–	зн.	ед.
Разрез 7-09. Торфяно-глеезем мерзлотный																						
BG	20-35	55	10	20	3	2	зн.	10	–	ед.	зн.	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	ед.	–
BG	35-45	55	20	10	5	зн.	зн.	10	–	ед.	зн.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Керн1 <sub>л</sub>	45-55	55	20	20	5	–	зн.	зн.	–	ед.	зн.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Керн2 <sub>л</sub>	55-65	60	20	20	–	зн.	ед.	зн.	–	ед.	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Керн3 <sub>л</sub>	65-75	75	15	10	зн.	–	зн.	зн.	–	ед.	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Керн4 <sub>л</sub>	75-85	75	–	20	5	зн.	зн.	зн.	–	ед.	ед.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: зн. – знаки; ед. – единично встречается; прочерк – отсутствует.

Разрез 7-2009. Верхняя часть склона (крутизна 2-3°) восточной экспозиции хребта Малды-нырд, абс. высота – 460 м. Кустарничково-сфагновая тундра. В микрорельефе отчетливо выражен криогенно-пятнистый характер поверхности: пятна вымораживания с размерами до 1 м лишены растительности, сложены с поверхности каменистым материалом, занимают 10-20% от общей поверхности. Профиль почвы: очес (0-5 см)–Т (5-12)–Th (12-20)–BG (20-35)–G<sub>1</sub> (35-45 см)–ММП. Подстилающие многолетнемерзлые горизонты обнаруживаются на глубине 35-40 см. Почва: торфяно-глезем перегнойно-торфяный мерзлотный.

Минералогический состав легкой фракции исследуемого разреза представлен полевошпатово-слюдисто-кварцевой ассоциацией минералов, кварц – водяно-прозрачными и полупрозрачными угловатыми, редко – хорошо окатанными зернами. Содержание кварца в крупно- и среднепесчаной фракциях в пределах СТС и в горизонтах ММП слабодифференцировано и составляет 80-90%. Полевые шпаты, представленные олигоклазом, в крупнопесчаной фракции в результате криогенного внутрпочвенного выветривания интенсивно разрушаются и накапливаются в среднепесчаной фракции.

В наибольшем количестве в тяжелой фракции содержатся в порядке убывания следующие минералы: гематит, сростки гематита и слюды, лейкоксен, ильменит, лимонит (см. таблицу). Устойчивые к процессам выветривания акцессорные минералы (турмалин, рутил, сфен, циркон) имеют низкое содержание и, по видимому, отражают исходную литологическую неоднородность четвертичных отложений.

Авторы выражают благодарность Н.Х. Хачатурян (Горно-геологическая лаборатория, г. Сыктывкар) за помощь в определении минералогического состава.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 12-П-4-1018 и научного проекта молодых ученых и аспирантов УРО РАН № 14-4-НП-20.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Жангуров Е.В., Дымов А.А., Каверин Д.А., Дубровский Ю.А.* Морфогенетические типы профилей мерзлотных почв Приполярного Урала (бассейн среднего течения реки Кожым) // Молодежь и наука на Севере: Матер. II Всерос. (XVII) молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2013. С. 41-42.

*Зверева Т.С., Игнатенко И.В.* Внутрпочвенное выветривание минералов в тундре и лесотундре. М.: Наука, 1983. 232 с.

Полевой определитель почв России / К.Т. Острикова. М., 2008. 182 с.

## **САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧИСТЫХ СОСНЯКОВ НА СЛЕДУЮЩИЙ ПОСЛЕ ПОЖАРА ГОД В СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЕ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

**М.Н. Ковалев**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: *kotax@bk.ru*

Лесные пожары – один из основных факторов ослабления лесов на территории Республики Коми. Выбор необходимых лесохозяйственных мероприятий для таких участков обуславливается, прежде всего, санитарным состоянием древостоя, поврежденного огнем. В связи с этим для практической деятельности важной задачей является получение информации о последующих изменениях их жизненного состояния в ближайшее время после пожара (Шубин, 2013). Степень этих изменений определяется характеристикой насаждения и пожара. Преобладание среди пройденных пожарами лесов средней подзоны тайги республики чистых по составу сосновых насаждений (8-10 ед. сосны в составе) определяет актуальность темы (Ковалев, 2014). В данной работе выполнен комплексный анализ санитарного состояния чистых сосняков на следующий после пожара год.

Исследование проведено в июле 2014 г. в Усть-Куломском р-не Республики Коми. В 2013 г. пожаром был пройден лесной массив, преимущественно представленный сосняками лишайниковыми. Общая площадь насаждений, поврежденных огнем, составила около 400 га. При натурном обследовании гарей заложено пять пробных площадей размером 0.25 га. Все деревья на них нумеровали. На высоте 1.3 м измеряли диаметр ствола с точностью до 1 см. У особей с крайними и средними значениями диаметров измеряли высоту и брали керны на высоте корневой шейки. Устанавливали категорию санитарного состояния: 1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – свежий сухостой, 6 – старый сухостой (Руководство..., 2007). Ветровальные и буреломные деревья учитывали отдельно и относили к следующим категориям: 7 – свежий ветровал, 8 – старый ветровал, 9 – свежий бурелом, 10 – старый бурелом. Для каждого дерева выполняли описание признаков ослабления и повреждения: усыхание ветвей различной степени, ожоги (корневых лап, корневой шейки, ствола, кроны), наличие плодовых тел грибов, заселенность насекомыми-вредителями, сухобочины и подсушины, морозобойные трещины и другие признаки ослабления. Общее количество деревьев сосны обыкновенной на пя-

ти пробных площадях – 1207 шт. Высоту нагара по стволу определяли с использованием вешки и делили на три группы: до 0.5 м, от 0.5 до 1.5, более 1.5 м. Средневзвешенная категория состояния насаждений на опытных участках рассчитывалась по формуле:

$$\text{Кср.} = (P1 \cdot K1 + P2 \cdot K2 + P3 \cdot K3 + P4 \cdot K4 + P5 \cdot K5)/100, \quad (1)$$

где Кср. – средневзвешенная величина состояния породы, P1-5 – доля каждой категории состояния в процентах, K1-5 – индекс категории состояния дерева (1 – здоровое, 2 – ослабленное, 3 – сильно ослабленное, 4 – усыхающее, 5 – свежий и старый сухостой, ветровал, бурелом).

Для получения характеристики вариативности распределения деревьев по категориям состояния на опытных участках рассчитывался коэффициент изменчивости согласно формуле:

$$C = \frac{\delta}{M} 100, \quad (2)$$

где C – коэффициент изменчивости,  $\delta$  – среднее квадратичное отклонение, M – среднее значение категории состояния.

К послепожарному отпаду относили деревья категорий состояния: усыхающее, свежий сухостой, свежий ветровал, свежий бурелом.

Таксационная характеристика, средневзвешенная категория состояния древостоев и доля деревьев с максимальным нагаром на пробных площадях представлены в табл. 1.

### Результаты и их обсуждение

По санитарному состоянию насаждения на опытных участках характеризовались как погибшее, ослабленное, сильно ослабленное, усыхающее и здоровое на пробных площадях № 9-13 соответственно. На обследованных опытных участках преобладали деревья с высотой нагара более 1.5 м, за исключением пробной площади № 13, где высота нагара достигала 0.5 м.

Одним из факторов, регулирующих величину послепожарного отмирания деревьев, является диаметр (Фуряев, 2008). Зависимость доли отпада от толщины деревьев показана на рис. 1

Доля отпада деревьев сосны достоверно уменьшается с увеличением диаметра и подтверждается коэффициентом корреляции  $R = -0.93$  ( $R_{0.01} = 0.87$ ) при расчете данных до 28 см (рис. 1).

Диагностирование силы огня, воздействовавшей на дерево, после пожара определяется высотой нагара по стволу (Войнов,

Таблица 1

**Характеристика сосновых насаждений на опытных участках**

№ пробной площади	Характеристика древостоев элементов леса				Характеристика ярусов				Характеристика насаждения		Средне-взвешенная категория состояния	Коэффициент изменчивости КС, %	Доля деревьев с нагаром более 1.5 м, %	
	D, см	H, м	A, лет	Густота, шт./га	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Запас, м <sup>3</sup> /га	H, м	Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	Полнота относительная	Запас, м <sup>3</sup> /га				Кл. бонитета
9	15.1	15.3	100	816	17.56	136	15.3	17.56	0.6	136	5	Лиш.	4.99	100
10	16.8	16.3	100	1116	28.32	246	16.3	28.32	0.9	246	4	Бр.	2.15	54.3
11	20.2	18.7	90	752	26.32	234	18.7	26.32	0.7	234	3	Бр.	2.63	69.1
12	18.6	13.9	90	460	16.16	119	13.9	16.16	0.6	119	5	Лиш.	4.18	16.8
13	14.7	14.0	100	1416	27.48	197	14.0	27.48	0.9	197	5	Дм.	1.45	93.5

*Примечание.* На всех пробных площадях преобладающая порода – сосна, насаждения чистые по составу, простые (одноярусные) по форме; КС – категория состояния; Элемент леса – С, состав – 10С, класс возраста – 5.

1976). Взаимосвязь между долей отпада и видом повреждения показана на рис. 2.

Установлено, что с ростом высоты нагара по стволу доля отпада значительно увеличивается только в случае повреждения огнем по всей окружности ствола (рис. 2). Подробные данные о распределении отпада по ступеням толщины в зависимости от вида повреждения огнем представлены в табл. 2.

При всех видах повреждения сохраняется тенденция к большей доле не выживших деревьев при меньших ступенях толщины.

Ослабленность деревьев приводит к потере ими устойчивости и созданию наиболее благоприятных условий для развития насекомых, питающихся тканями такого растения. При определенных условиях в послепожарных насаждениях могут возникать вспышки массового размножения стволовых вредителей (Мозолевская, 2006). Зависимость доли деревьев с признаками повреждения стволовыми вредителями от вида повреждения огнем приведена на рис. 3.

Наиболее выраженная поврежденность деревьев стволовыми вредителями наблюдается при высоте нагара более 1.5 м по всей окружности ствола. В целом, признаки повреждения стволовыми вредителями имели 11.1% деревьев от их общего количества и 14.1% – от запаса. Поврежденность деревьев вредителями на опытных участках не равномерна и изменяется от 3.3 до 48.6%.

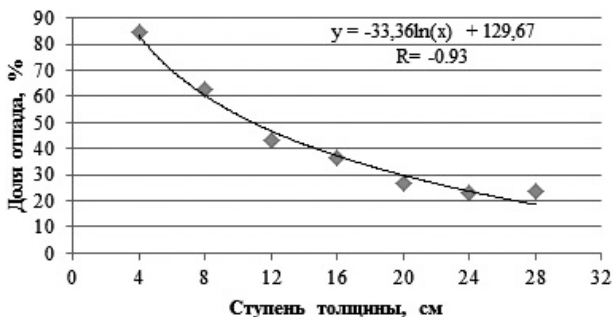


Рис. 1. Зависимость доли отпада от диаметра.

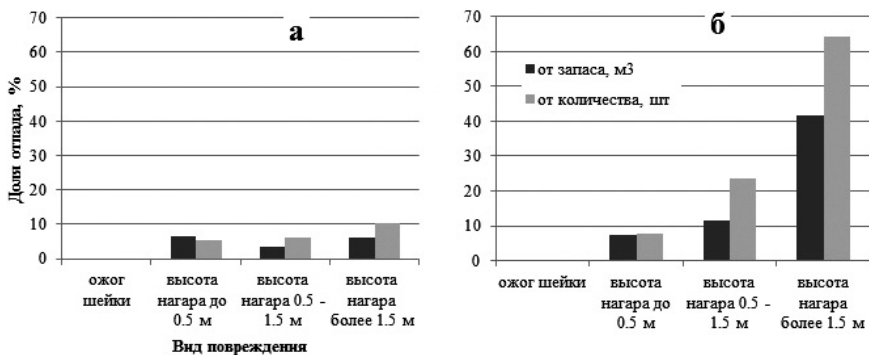


Рис. 2. Изменение доли отпада деревьев сосны в зависимости от вида повреждения: а – при ожоге менее половины окружности ствола, б – при ожоге более половины окружности ствола.

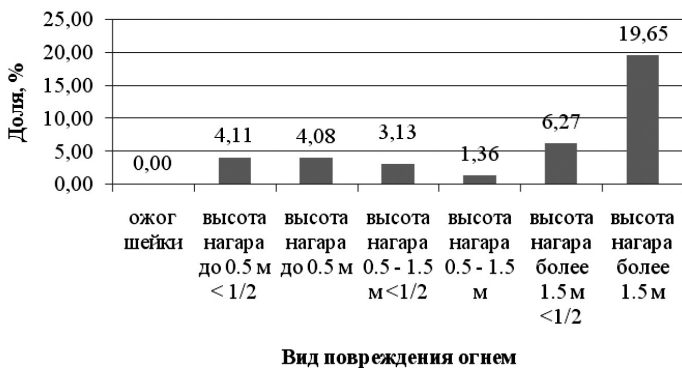


Рис. 3. Доля деревьев с признаками повреждения стволовыми вредителями.

Таблица 2

## Доля отпада по ступеням толщины в зависимости от вида повреждения огнем

D, см	Ожог шейки		Высота нагара до 0.5 м <1/2*		Высота нагара до 0.5 м		Высота нагара 0.5-1.5 м <1/2		Высота нагара 0.5-1.5 м		Высота нагара более 1.5 м <1/2		Высота нагара более 1.5 м		
	от M, м³	от N, шт.	от M, м³	от N, шт.	от M, м³	от N, шт.	от M, м³	от N, шт.	от M, м³	от N, шт.	от M, м³	от N, шт.	от M, м³	от N, шт.	
4	0	0	0	69.68	57.14	100	100	0	0	100	100	0	0	100	100
8	0	0	7.69	7.69	4.36	4.44	0	0	55.86	54.55	0	0	95.03	95.26	
12	0	0	5	5	6.29	5.71	0	0	35.08	33.33	40	40	77.17	78.57	
16	0	0	5.63	5	9.68	9.09	15.92	15.38	6.09	5.88	0	0	61.97	64.23	
20	0	0	0	5.64	5.88	0	0	19.11	18.18	10	10	38.64	40.29		
24	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	29.91	31.51	
28	0	0	0	26.52	25	0	0	0	0	0	0	0	28.19	31.25	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.11	61.90	
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.53	27.27	
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.21	20	

\* «&lt;1/2» – ожог менее половины окружности ствола, в остальных случаях – более половины.

Итак, уменьшение доли отпада деревьев сосны с увеличением диаметра достоверно и подтверждается коэффициентом корреляции  $R = -0.93$ ;  $R_{0.01} = 0.87$ . С возрастанием высоты нагара по стволу доля отпада значительно увеличивается только в случае повреждения огнем по всей окружности ствола и изменяется от 7.39 до 41.77%. Доля деревьев с признаками повреждения стволовыми вредителями составляет 14.1% от общего количества деревьев, из них 80% – это деревья группы отпада.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Войнов Г.С., Софронов М.А.* Прогнозирование отпада в древостое после низовых пожаров // Современные исследования типологии и пирологии леса. Архангельск: АИЛиЛХ, 1976. С. 115-121.

*Гусев И.И.* Моделирование экосистем: Учебное пособие. Архангельск, 2002. 112 с.

*Ковалев М.Н.* Санитарное состояние сосновых древостоев после пожаров: методы исследования и результаты // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XXI Всерос. молодеж. науч. конф., посвящ. 70-летию А.И. Таскаева. Сыктывкар, 2014. С. 40-45.

*Мозолевская Е.Г., Семенкова И.Г., Беднова О.В.* Лесозащита: Учебник. М.: Издательский дом «Лесная промышленность», 2006. 368 с.

Руководство по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга: Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 29.12.2007 № 523 «Об утверждении методических документов».

*Фуряев В.В., Фуряева Е.А.* Пирозкологические свойства сосны обыкновенной в средней Сибири // Хвойные бореальной зоны, 2008. Т. XXV. № 1-2. С. 103-109.

*Шубин Д.А., Залесов С.В.* Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края // Аграрный вестник Урала, 2013. № 5 (111). С. 39-41.

### ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО МИКРОБОЦЕНОЗА ПРИ ПОСТАГРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**В.А. Ковалева**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kovaleva@ib.komisc.ru

После прекращения хозяйственной деятельности начинается процесс самовосстановления. При этом в почве меняются ход и темпы физических, химических и биологических процессов, которые не столь отчетливо проявляются как изменения растительного сообщества, однако весьма значимы (Агроэкологическое состояние..., 2008; Hooker et al., 2003). На Крайнем Севере постагроген-



ная трансформация экосистем имеет свою специфику, определяемую природно-климатическими условиями.

Территория исследования расположена в Воркутинском р-не Республики Коми и относится к подзоне южных кустарничковых тундр. Характерной чертой напочвенного и почвенного покровов является микрокомплексность, обусловленная микрорельефом криогенного происхождения. Особенностью строения почв стало резкое разделение на маломощный органогенный слой, в котором сосредоточена основная масса корней растений и микроорганизмов, и минеральный глеево-тиксотропный (Котелина и др., 1998).

Северные районы Республики Коми не относятся к регионам традиционного земледелия, но после проведения исследований по сельскохозяйственному освоению материковой тундры в конце 50-х гг. XX в. под руководством научного сотрудника Института биологии Коми НЦ УрО РАН И.С. Хантимера был разработан и внедрен в производство заполярных совхозов метод «залужения». Его суть заключается в создании сеяных лугов со специально подобранными местными видами многолетних трав с учетом природно-климатических условий (Хантимер, 1974).

Исследования проводили на многолетнем сеянном лугу, созданном в 1958 г. Обработка почвы велась без предварительного уничтожения растительного покрова, при этом часть растительных остатков заделывалась в массу тиксотропного минерального слоя. Именно на базе глеево-тиксотропного горизонта сформировалась культурная почва под влиянием агрофактора – внесение органического и минеральных удобрений и посева смеси многолетних трав: лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*) и мятлика лугового (*Poa pratensis*).

Многолетний сеяный луг – это стационарный участок, на котором более 15 лет ведутся наблюдения за процессом самовосстановления многолетней агроэкосистемы в тундровой зоне. Исследования состава и структуры фитоценоза, проведенные в последние годы, показали, что травянистое сообщество в целом сохраняется без существенных изменений облика с прежним основным комплексом эдификаторов. Сеяные виды занимают около трети площади луга и преобладают по обилию. Однако постепенно происходят изменения в составе травостоя, которые проявляются в увеличении его мозаичности – появление синузий внедрившихся злаков (щучка дернистая, вейник незамечаемый) и разнотравных синузий (хвощ полевой, одуванчик короткорогий, горец живородящий, тысячелистник обыкновенный).

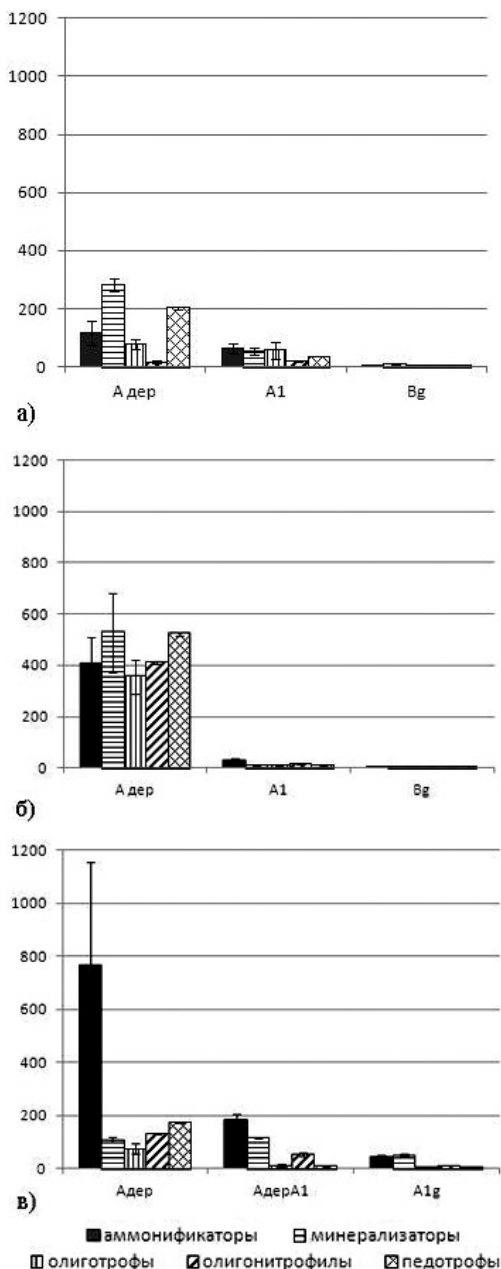
Отбор почвенных образцов для микробиологического анализа проводили в 2010, 2011 и 2014 гг. и осуществляли с учетом

стерильности из верхних горизонтов почвы. Количество микроорганизмов в почве определяли методом посева почвенной суспензии на ряд твердых питательных сред: аммонификаторов на среде МПА, минерализаторов азота на среде КАА, олиготрофов на среде ГА, олигонитрофилов на среде Эшби, микромицетов на среде Чапека (Методы почвенной микробиологии..., 1991). Видовую идентификацию выделенных штаммов проводили по определителям в соответствии с базой данных (<http://www.indexfungarum.org>). Для характеристики структуры комплексов грибов, выявления доминирующих, частых, редких и случайных видов использовали показатель частоты встречаемости (Кураков, 2001).

Изучение структуры почвенного микробоценоза в 2010 г. на основе оценки содержания и соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов показало, что основная численность микроорганизмов сосредоточена в дерновом горизонте почвы луга и резко снижается с глубиной (рис. 1).

Аналогичное распределение численности эколого-трофических групп характерно и для следующих годов исследования. Колебания общей численности микроорганизмов, возможно, связаны с погодными условиями конкретного года. В 2011 г. жаркая и засушливая погода в начале лета сменилась теплой с дождями во второй половине лета, что, возможно, повлияло на рост численности микроорганизмов в сравнении с другими годами. В связи с неустойчивой погодой летом 2010 г. (засушливая погода сменялась продолжительными дождями); затяжной весной и дождливым прохладным летом 2014 г. численность эколого-трофических групп микроорганизмов была ниже, чем в 2011 г.

При этом в 2010 и 2011 гг. коэффициент минерализации (соотношение численности микроорганизмов аммонификаторов и минерализаторов азота) выше единицы, что свидетельствует об активном процессе разложения поступающего органического вещества. Высокая численность микроорганизмов-педотрофов, усваивающие наиболее мобильные водорастворимые фракции гумуса на ранних этапах его деструкции, является показателем активных процессов минерализации. Можно говорить о высокой скорости преобразования поступающего на поверхность почвы и в почву органического вещества. А в 2014 г. коэффициент минерализации был меньше единицы, что свидетельствует о замедленном процессе преобразования органического вещества в почве. Однако численность эколого-трофических групп зависит от многих факторов, в том числе и от погодных условий, но при этом отражает общую направленность биологических процессов в почве, поэтому можно предположить, что минерализация растительных остатков и нако-



пление гумуса идет достаточно активно.

Для определения направления трансформации органического вещества в почве необходимо иметь данные относительно численности и видового состава грибных сообществ, так как именно грибы играют основную роль в деструкции растительных остатков в наземных экосистемах. Почвенным микромицетам характерно то же вертикальное распределение в почве, что и бактериям. Наибольшей численностью и видовым богатством характеризуется освоенный слой почвы (рис. 2).

Несмотря на уменьшение численности почвенных грибов в 2014 г., число видов во все даты исследования варьировало незначительно. В 2010 г. из почвы выделено всего 25 видов из 11 родов, включая две формы стерильного мицелия. В таксономическом отношении преобладают аскомицеты, они представлены 17 видами из восьми родов: *Aspergillus*,

Рис. 1. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов (млн. КОЕ/г а.с.п.): а – 2010 г., б – 2011 г., в – 2014 г.

*Fusarium*, *Geomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Chaetomium*, светло- и темноокрашенный *Mycelia sterilia*. Наиболее богатым по числу видов является род *Trichoderma*, представленный семью видами. Зигомицеты представлены родами *Mortierella*, *Mucor* и *Umbelopsis*, комплекс почвенных микромицетов – видами-доминантами *Geomyces pannorum* и *Mycelia sterilia* светлоокрашенный (частота встречаемости >60%). К частым видам (частота встре-

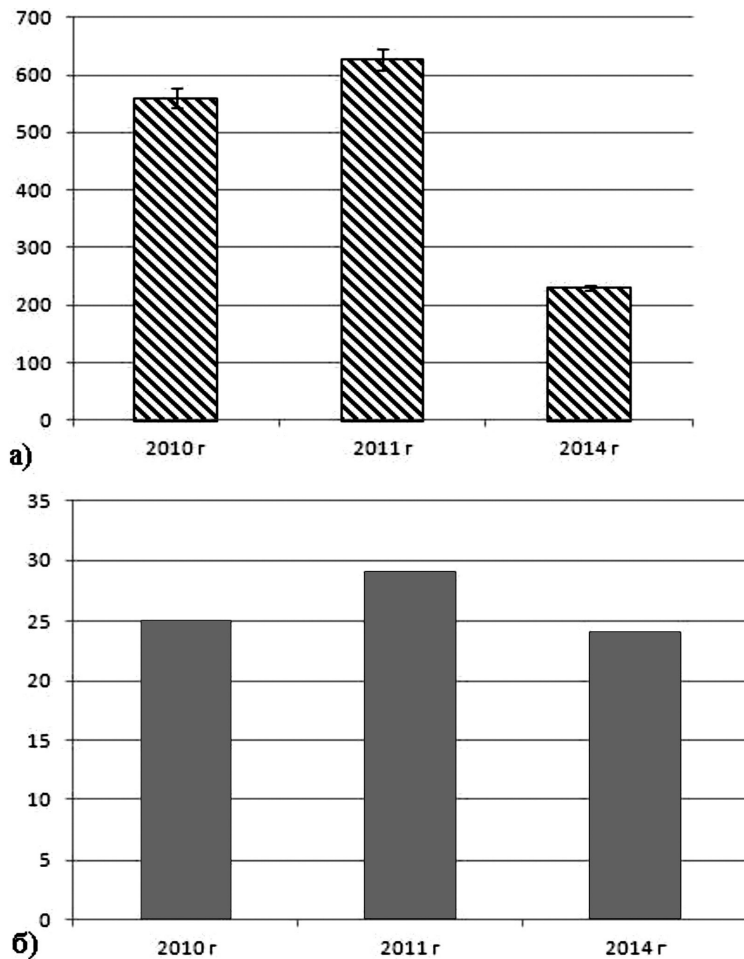


Рис. 2. Количественная характеристика комплекса почвенных микромицетов: а – численность грибов (тыс.КОЕ/г а.с.п.), б – количество видов.

чаемости 30-60%) относятся *Fusarium oxysporum*, *Mucor hiemalis* и *Mycelia sterilia* темноокрашенный. *Geomyces pannorum*, *Mucor hiemalis*, светло- и темноокрашенный *Mycelia sterilia* – типичные представители тундровых почв, выделение из почвы вида *Fusarium oxysporum* связано с влиянием травянистой агроэкосистемы.

В 2011 г. выделено 29 видов из 13 родов, включая светлоокрашенный стерильный мицелий. Среди анаморфных аскомицетов обнаружено девять родов, из них роды *Acremonium*, *Cladosporium* и *Paecilomyces* не были выделены ранее. В этот год отбора проб обнаружена только одна светлоокрашенная форма стерильного мицелия. Из зигомицет наибольшее число видов принадлежит родам *Mucor* и *Mortierella* – представлен тремя видами, а род *Umbelopsis* только одним – *Umbelopsis ramanniana*. Типичными видами, выявленными с частотой встречаемости более 60%, являются *Geomyces pannorum* и *Mycelia sterilia* светлоокрашенный, с частотой встречаемости 30-60% – *Mucor globosum*, *Mucor hiemalis*, *Cladosporium herbarum* и *Fusarium oxysporum*.

В 2014 г. из верхних горизонтов почвы постагрогенной экосистемы выделено всего 24 вида грибов из 14 родов, включая светло- и темноокрашенную формы стерильного мицелия. Большинство выделенных видов относится к группе несовершенных грибов, однако изменился таксономический состав. Данные виды относятся к девяти родам: *Aspergillus*, *Geomyces*, *Cephalosporium*, *Chrysosporium*, *Spicaria*, *Penicillium*, *Trichoderma* и светло- и темноокрашенный *Mycelia sterilia*. При этом все рода представлены одним-тремя видами. Доминантами в комплексе типичных видов являются *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor hiemalis* и *Mycelia sterilia* светлоокрашенный. К частым видам относятся *Geomyces pannorum*, *Umbelopsis isabellina*, *Aspergillus ochraceus*, *Trichoderma sp.* и *Mycelia sterilia* темноокрашенный.

По обилию в почве всех дат отбора доминировали виды родов *Mucor* и *Trichoderma*, что свидетельствует о высоком содержании органических веществ в исследуемой почве, где идет их накопление и разложение.

Исследования видового состава показали, что среди доминантов и часто встречающихся видов в комплексе микромицетов выделены как типичные тундровые виды *Geomyces pannorum*, *Mycelia sterilia*, так и виды, характерные для более южных почв, – *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus ochraceus*, выделение которых в почве тундровой зоны связано с влиянием агрорежима. Сходство видового состава (коэффициент Жаккара) для 2010 и 2011 гг. составило 89%, 2010 и 2014 гг. – 92, 2011 и 2014 гг. – 82%. Высо-

кие показатели сходства видового состава почвенных грибов показывает сохранение постоянства видового состава.

Таким образом, результаты изучения структуры и состава почвенного микробоценоза показали, что в существующих условиях микробное сообщество почвы продолжает стабильно функционировать. Состав и структура сообщества микромицетов почвы зависят от почвенных условий, определяемых типом растительного сообщества. Так как коренной смены растительного сообщества не происходит, то почва остается морфологически неизменной в рамках сохраняющейся луговой экосистемы. Однако в растительном сообществе в почве и почвенном микробоценозе идет накопление изменений, которые, достигнув критической величины, приведут к смене типа экосистемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / Под ред. Г.А. Романенко // Материалы Всероссийской научной конференции. М., 2008. 405 с.

*Котелина Н.С., Арчегова И.Б., Романов Г.Г., Турубанова Л.П.* Особенности природопользования и перспективы природовосстановления на Крайнем Севере России. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 147 с.

*Кураков А.В.* Методы определения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем: Учебно-методическое пособие. М.: Макс Пресс, 2001. 92 с.

Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М., МГУ. 1991. 304 с.

*Хантимер И.С.* Сельскохозяйственное освоение тундры. Л.: Наука, 1974. 227 с.

*Hooker T.D., Compton J.E.* Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment // *Ecol. Appl.*, 2003. Vol. 13. № 2. P. 299-313.

## НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

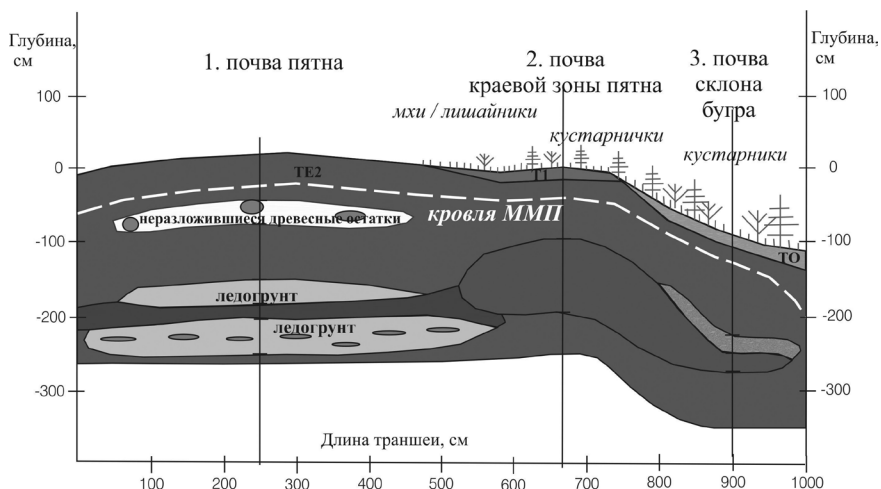
**О.С. Кубик, А.В. Пастухов**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [kubik-olesia@yandex.ru](mailto:kubik-olesia@yandex.ru)

Торфяные мерзлотные почвы широко распространены на территории европейского Северо-Востока: на слабодренированных водораздельных террасах и озерно-аллювиальных комплексах юга Большеземельской тундры занимают до 10% площади (Каверин,

Пастухов, 2013). Ландшафтные условия определяют мозаичность почвенного покрова многолетнемерзлых болот и особенности сочетаний типов мерзлотных и немерзлотных торфяных почв. На вершинах торфяных бугров часто формируются эродированные участки, лишенные торфяного покрова – оголенные торфяные пятна (Marushak et al., 2011). В последние десятилетия почвенный покров Субарктики подвержен влиянию возрастающих антропогенных нагрузок и процессов, связанных с климатическим потеплением. Для комплексной оценки экологической устойчивости бугристых торфяников необходимы детальные исследования состава органических соединений торфяных почв и подстилающих многолетнемерзлых пород.

Цель данной работы – изучение содержания водорастворимых органических соединений (ВОС) в комплексе торфяных мерзлотных почв южной тундры европейского Северо-Востока.

Исследования почв проведены в пределах бугристо-мочажинного комплекса (67°03'53" с.ш.; 62°55'22" в.д., 100 м над ур.м.) площадью 0.6 км<sup>2</sup>, находящегося в древней озерной котловине. В комплексе выделено три профиля (см. рисунок), которые, находясь на небольшом расстоянии друг от друга, имеют различное происхождение, строение и свойства. Разрез I – поверхностно-криогенная почва пятна, II – торфяная почва краевой зоны пятна, разрез III – торфяная почва под кустарничковой тундрой. В каждом разрезе изучали образцы сезонно-талых слоев (СТС) и не оттаивающие в летний период многолетнемерзлотные породы (ММП): 0-10 (СТС-1), 10-30 (СТС-2), 105-130 (ММП-1), 200-240 см (ММП-2). Названия почв даны в соответствии с классификацией и диагностикой почв России (2004). Химический анализ объектов выполняли в аккредитованной лаборатории «Экоаналит», отделах почвоведения и Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Водные вытяжки готовили при соотношении почва:вода, равном 1:25. Общее содержание углерода органических соединений водных вытяжек из почв ( $\rho$ (СВОС) определяли методом высокотемпературного каталитического окисления на анализаторе общего углерода ТОС VCPH (ГОСТ Р 52991-2008) по методике измерений М-02-2405-09. Значения  $pH_{\text{вод}}$  измеряли потенциометрически (ГОСТ 26423-85), погрешность методики – 0.1 ед. pH. Количественный анализ низкомолекулярных водорастворимых органических соединений (НВОС) провели методом ГХ/МС, относительная погрешность измерения составляет  $\pm \delta < 15\%$ . Подготовку образцов к исследованию осуществили следующим образом: адсорбировали соединения на колонке, состоящей из силикагеля с привитыми гексадецильными группами, затем элюиро-



Морфологическое строение почвенно-геокриологического комплекса (по оси абсцисс и ординат – расстояние, м): I – почва торфяного пятна, II – почва краевой зоны пятна, III – почва на периферии торфяного бугра.

вали этиловым спиртом и переводили в триметилсилильные производные.

Массовая концентрация углерода органических соединений в вытяжках почв составляет 40-190 мг/дм<sup>3</sup> (см. таблицу). Общей закономерностью является снижение содержания данного показателя вниз по профилю, поскольку ВОС в большей степени присутствуют на ранних стадиях разложения опада и растительных остатков, которые затем вовлекаются в процессы минерализации и гумификации. На глубине более 2 м (ММП-2) во всех почвах массовая концентрация углерода ВОС значимо повышается в среднем в 1.3 раза и составляет 68-72 мг/дм<sup>3</sup>, что связано с более ранней «консервацией» данной толщи относительно других.

Детектировано 11 алифатических кислот, более половины из них – оксикислоты, три спирта и девять углеводов. Закономерности изменения содержания органических соединений анализировали в пространстве (образцы, принадлежащие разным почвам, но отобранные на одинаковых глубинах), а также в профилях (в зависимости от возраста органического субстрата).

Во всех профилях почв независимо от глубины от 50-90% от общей суммы идентифицированных соединений приходится на углеводы. Это связано с тем, что в растительном мире среди органических соединений углеводы распространены наиболее



**Характеристика водных вытяжек из почв**

Показатели	Почва											
	Торфяная почва пятна						Торфяная почва краевой зоны пятна					
	Разрез № I						Разрез № II					
	СТС-1	СТС-2	ММП-1	ММП-2	СТС-1	СТС-2	СТС-1	СТС-2	ММП-1	ММП-2	СТС-1	СТС-2
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	0-10	20-30	105-122	201-214	0-10	20-30	4.25	4.36	106-120	220-240	0-10	10-20
	4.36	4.78	5.20	5.46	4.25	4.36	4.25	4.36	5.30	4.94	3.94	4.12
Кислоты	0.4	0.2	0.2	0.1	5.9	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	20.3	3.3
$\rho$ , мг/дм <sup>3</sup>	0.9	0.0	0.2	0.1	1.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	8.4	1.3
Спирты	4.1	0.5	0.7	0.9	9.6	1.1	0.4	0.8	0.4	0.8	50.0	5.8
Углеводы	80	44	40	68	160	76	100	68	100	68	188	172
$C_{\text{BOC}}$	0.2	0.1	0.1	0.1	2.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	8.7	1.3
$C_{\text{HMOK}}$	0.4	0.0	0.1	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	3.3	0.5
$C_{\text{HMOС}}$	1.7	0.2	0.3	0.3	3.9	0.5	0.1	0.3	0.1	0.3	20.1	2.3
$C_{\text{HMOУ}}$	0.2	0.2	0.2	0.1	1.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1	4.6	0.8
$\omega$ , %	0.5	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	1.8	0.3
$C_{\text{HMOK}}$	2.1	0.5	0.7	0.5	2.4	0.6	0.3	0.5	0.3	0.5	10.7	1.4
$C_{\text{HMOС}}$												
$C_{\text{HMOУ}}$												

*Примечание.* Относительная погрешность результатов анализа  $\rho$  не превышает + $\delta$ <15%. СТС – сезонно-талый слой, ММП – многолетнемерзлотная порода;  $C_{\text{BOC}}$  – общий углерод органических соединений,  $C_{\text{HMOK}}$  – углерод низкомолекулярных органических кислот,  $C_{\text{HMOС}}$  – углерод низкомолекулярных органических спиртов,  $C_{\text{HMOУ}}$  – углерод низкомолекулярных органических углеводов;  $\rho(\omega)$  – массовая концентрация (доля).

широко, поскольку оболочка клеток состоит преимущественно из полисахарида целлюлозы, кроме того, в клубнях, корнях и семенах эти соединения откладываются в виде запаса. Кислоты в значительном количестве содержатся в клетках животных и особенно растений, образуются в процессе минерализации опада. На их долю в первом разрезе в среднем приходится около 15, во втором и третьем – около 30%. Лидер по содержанию среди кислот – оксипропановая кислота ( $pK_a = 3.86$ ), ее доля составляет 30-50% от общего содержания кислот, а также пропановая ( $pK_a = 4.87$ , 10-20%) и оксиэтановая кислоты ( $pK_a = 3.8$ ,  $\approx 10\%$ ). Общим для всех разрезов является и то, что в верхних горизонтах в заметных количествах присутствует яблочная кислота ( $pK_{a1} = 3.46$ ,  $pK_{a2} = 5.1$ , до 10%), а в нижних – оксимасляная ( $pK_a = 3.83$ , 10-20%). Содержание многоатомных спиртов не превышает 20%. Идентифицированные глицерин и рибитол также широко распространены в природе – в высших растениях, ягодах, грибах, твердой древесине и др. Глицерин, являясь одним из продуктов распада жиров, накапливается в тканях живых организмов.

Для всех профилей можно выделить ряд общих закономерностей. Максимальное разнообразие и содержание всех групп соединений присуще поверхностному слою, с глубиной – резко снижаются. В третьем разрезе общее содержание определенных соединений в подповерхностном слое в 15 раз выше по сравнению глубинными слоями (см. таблицу). Это, вероятно, связано с повышением в данном направлении увлажненности торфяных почв, о чем свидетельствует возрастание участия сфагновых мхов в растительном покрове.

Рассмотрим закономерности изменения содержания разных групп органических соединений, образующихся на одинаковых глубинах. Для них свойственна схожая динамика. В сезонно-талых слоях повышение поверхностного увлажнения способствует росту содержания этих соединений: спиртов и углеводов в 9-12 раз, органических кислот – 45 в поверхностном и 15 раз – в подповерхностном слоях, поскольку водорастворимые органические соединения образуются на первых стадиях разложения органических остатков. Кроме того, первый профиль – пятно, на котором отсутствует растительность, т.е. свежий опад. В многолетнемерзлотных породах, содержащих остатки с возрастом нескольких тысяч лет, колебания концентраций на одинаковых глубинах несущественны.

Массовые концентрации углерода водорастворимых органических соединений почв в поверхностном слое равны 0.3-32.0 мг/дм<sup>3</sup>, что составляет 0.4-17.0% от общего углерода водных вытя-

жек. Значение данного показателя вниз по профилю, независимо от глубины, снижается более чем на порядок.

Таким образом, различия в генезисе торфяных отложений оказывают существенное влияние на состав и содержание водорастворимых органических соединений комплекса торфяных мерзлотных почв южной тундры на уровне как почвенного профиля, так и ландшафта. Пространственная вариабельность содержания ВОС сезонно-талых слоев почв участка зависит от особенностей микрорельефа, формирующегося в условиях криогенеза и определяющего дифференциацию степени увлажнения почв и состава растительности. Многолетнемерзлотная толща в пределах участка в отношении данных показателей однородна.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-05-31111 «Многолетнемерзлые торфяники Большеземельской тундры: экологическое состояние почвенно-мерзлотного комплекса при климатическом потеплении в XXI веке».

#### ЛИТЕРАТУРА

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

ГОСТ Р 52991-2008. Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода. М.: Стандартинформ, 2009. 12 с.

*Каверин Д.А., Пастухов А.В.* Генетическая характеристика мерзлотных оголенных пятен на плоскобугристых торфяниках Большеземельской тундры // Изв. Самарского НЦ РАН, 2013. Т. 15. № 3. С. 55-62.

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

*Marushchak M.E., Pitkamaki A., Koponen H. et al.* Hot spots for nitrous oxide emissions found in different types of permafrost peatlands // *Global Change Biology*, 2011. Vol. 17. P. 2601-2614.

## ЛЕСОВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС В СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ ЛИШАЙНИКОВОМ ПОСЛЕ ВЕТРОВАЛА

**И.Н. Кутявин**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [kutjavin-ivan@rambler.ru](mailto:kutjavin-ivan@rambler.ru)

Под воздействием глобального изменения климата в последнее время увеличилось количество катастрофических явлений, которые носят как естественный (природный), так и антропогенный

характер. К наиболее распространенным природным катаклизмам, характерным для бореальной зоны, можно отнести крупные лесные пожары и ветровалы. В зависимости от масштабности этих двух явлений происходит частичное или полное разрушение такого сложного структурного элемента экосистемы, как древостой. Это несет за собой не только катастрофические последствия, но и вносит в лесной биогеоценоз новые структурные образования, которые впоследствии заполняются особями ранее отсутствующими или находящимися в угнетенном состоянии (Последствия катастрофического..., 2010). Для получения региональных моделей смены лесных сообществ в ходе восстановительной сукцессии необходимо изучение динамических процессов развития и состояния основных экосистем, пройденных ветровалами. Следует отметить, что ход восстановления и дальнейшая динамика развития сосняков, пострадавших в результате ветровала Северного Приуралья (Республика Коми), не изучены.

Цель работы – оценить лесовозобновительный процесс в сосняке лишайниковом, развитом на месте ветровала.

Для оценки эффективности лесовозобновления после ветровала послужили данные двух постоянных пробных площадей (ППП), заложенных в сосняке лишайниковом на территории Якшинского участкового лесничества Комсомольского лесничества Республики Коми. ППП 1 представлена фоновым участком сосняка лишайникового не затронутого ветровалом, ППП 2 была заложена непосредственно на участке сосняка этого же типа, пройденного ветровалом. На каждой ППП проведены лесотаксационные измерения по ОСТ 59-69-83. Учет подроста, развитого под пологом сосняка и на редине, образовавшейся в результате ветровала, проводили по методике А.В. Побединского (1966). Учитывались количество особей, высота, состояние (здоровый, сомнительный, усыхающий, сухой). Для оценки возрастной структуры древостоя, расположенного на фоновом участке, отбирались керны в количестве 100 шт. Биометрические показатели деревьев подроста определяли путем отбора 30-40 модельных деревьев разной категории высот. У каждого спиленного дерева измерялся годичный прирост в высоту. Возраст и ширину годичных колец стволов подроста находили с использованием полуавтоматического прибора LINTAB V и программы Tsap-Win™ Professional 0.55.

Исследуемый сосняк лишайниковый был пройден ветровалом в 2004 г. По характеру, степени интенсивности и разрушительного воздействия он носил локальный характер. Скорость ветра таких ветровалов достигает  $20-24 \text{ м с}^{-1}$ , они, как правило, способствуют формированию мозаичной структуры древостоев корен-

ных сосняков (Последствия катастрофического..., 2010). Краткая лесоводственно-таксационная характеристика исследуемых сосняков представлена в табл. 1. Обследование участков показало, что ненарушенный ветровалом сосняк лишайниковый (ППП 1) состоит из двух поколений деревьев с разрывом между ними в 60 лет. Данный древостой относится к относительно-разновозрастному с демулационными фазами динамики типу возрастной структуры с преобладанием деревьев старшего поколения. Обследование на участке ветровала (ППП 2) показало, что при воздействии ветра наблюдается большое количество деревьев в валеже (90%), запас стволовой древесины древесного яруса снизился на 98%. Деревья старшего поколения (185-206 лет), оставшиеся в живых, сильно ослаблены, поражены стволовыми гнилями, что подтверждается большим количеством на стволах плодовых тел трутовых грибов. Однако у этих деревьев, в отличие от особей фонового участка, отмечается интенсивное плодоношение.

Данные перечета самосева и подроста на ППП показывают, что возобновление на обеих площадках характеризуется относительно близкими величинами. Так, на ППП 1 под пологом неповрежденного древостоя количество живого подроста и самосева составляет 21.5, на ветровале (ППП 2) – 18.3 тыс. экз. га<sup>-1</sup>, что свидетельствует о хорошем возобновительном процессе за счет подроста предварительной генерации, т.е. о его появлении до ветровала. Подрост и самосев сосны в исследуемых нами сосняках здоровый, коэффициент жизненного состояния более 90% (табл. 2).

Распределение соснового подроста по высоте и состоянию показало, что на ненарушенном участке сосняка лишайникового (ППП 1) преобладает (около 18 тыс. экз. га<sup>-1</sup>) подрост мелкой категории высот. Подрост средней категории высот занимает 2 тыс. экз. га<sup>-1</sup>, большая часть которого представлена здоровыми особями. На участке, пройденном ветровалом, происходит заметное увеличение числа здорового подроста средней категории до 6 тыс.

Таблица 1

**Лесоводственно-таксационная характеристика лишайниковых сосняков**

№ ППП	Состав древостоя	Порода	Возраст, лет	Средние		Число стволов, шт. га <sup>-1</sup>		Запас древесины, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	
				d, см	h, м	Растущих	Сухих	Растущей	Сухой
1	10С ед.Б	С	40-220	26	14	408	63	163	11
		Б	51	12	7	3	0	0,1	0
	Всего					411	63	163	11
2	10С	С	185-206	21	13	40	0	4	0

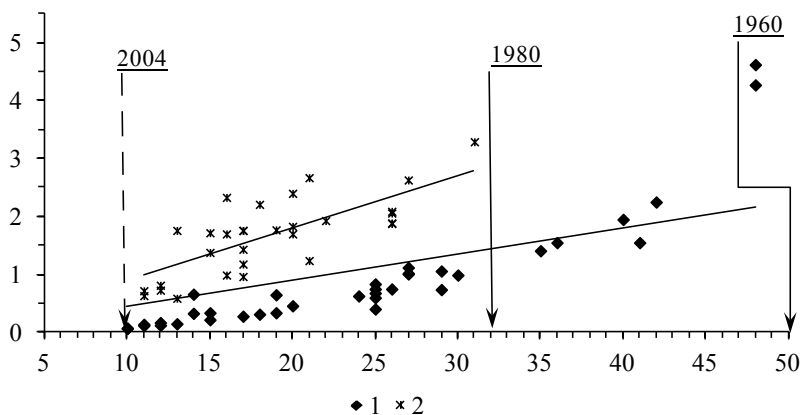
экз. га<sup>-1</sup>. Особи мелкой категории (около 7 тыс. экз. га<sup>-1</sup>) представлены в основном самосевом в возрасте до 10 лет. Следует отметить, что на нарушенном ветровальном участке сосняка возрастает доля ослабленного и усыхающего самосева и подроста мелкой и средней категории высот. Сосна наиболее часто поражается снежным шютте.

Исследования деревьев подроста показали, что возраст особей сосны на двух участках изменяется от 1 до 50 лет. Возраст сосен крупной категории на ненарушенном участке высотой от 1.5 до 6 м при отсутствии пожаров колеблется в пределах 35-50 лет (см. рисунок). Такие деревья, по А.А. Листову (1986), относятся к первой группе подроста с наибольшим приростом по высоте и расположением их в прогалинах. По мнению автора, медленный рост соснового подроста под пологом северотаежных лишайниковых боров обуславливается рядом факторов, одним из основных является низкий уровень почвенного питания, а также корневая конкуренция между подростом и материнскими деревьями. По нашим данным, подрост сосны мелкой и средней категорий крупности под пологом сосняка достигает возраста 35 лет. При этом возраст самых мелких особей (высотой 10-15 см) составляет около 10-20 лет. Данная категория подроста относится ко второй группе с угнетенными признаками роста и другими особенностями, характеризующими задержку развития. На рисунке хорошо видны разрывы в возрасте подроста, которые, по-видимому, связаны с неурожайными годами сосны в регионе и беглыми низовыми пожарами. С увеличением возраста особей до 30-40-летнего возраста их численность снижается, что связано с естественным отпадом. Подрост второй группы, несмотря на его угнетенное состояние, может вполне заменить старый материнский древостой. Этот вывод подтверждают наши наблюдения на ветровальном участке. На рисунке видно, что после ветровала большая часть подроста мелкой категории перешла в крупную. Подрост сосны крупной категории высотой 1.5 м и более отличается хорошей энергией роста: средний прирост в высоту за последние восемь лет у них составил от

Таблица 2

**Характеристика возобновления в сосняках лишайниковых**

№ ППП	Состав	Средняя высота, м	Густота самосева и подроста, тыс. экз. га <sup>-1</sup>		Давность последнего пожара	Жизненное состояние (С), %	
			Растущих	Сухих		Сосна	Ель
1	10С ед.Е,Б	0.57±0.01	21.5	0.9	31	94	93
2	10С+Е,К ед.Лц,Б	0.81±0.01	18.3	0.9	34	91	—



Взаимосвязь высоты с возрастом у подростка сосны в сосняках лишайниковых: 1 – фоновый участок (ППП 1); 2 – нарушенный ветровалом участок (ППП 2). Вертикальные сплошные стрелки указывают на давность последних пожаров, пунктирная – ветровала.

12 до 45 см в год. Следует отметить, что при учете подростка на ветровале нами не обнаружено ни одной живой особи сосны крупной категории высоты старше 35 лет, что говорит о его полной гибели вместе с материнским древостоем.

Анализ хода роста стволиков у типичных для каждой категории роста деревьев подростка сосны, растущего под пологом древостоя и на ветровале, позволил установить различия в их росте до и после ветровала. После ветровала молодые особи наиболее угнетенного (второго класса), имеющие возраст 10-30 лет, способны резко увеличивать прирост по диаметру. На третий-четвертый год после ветровала прирост стволиков по толщине у подростка крупной категории увеличивается в семь раз, а по высоте – в три-четыре. У подростка первой категории, развитого под пологом древостоя, прирост как по диаметру, так и по высоте характеризуется невысокими показателями.

Таким образом, на ветровалах среднетаежных лишайниковых сосняков сохранившийся жизнеспособный подрост при длительном отсутствии пожаров способен заменить материнский полог древостоя. На ветровале отмечается улучшение состояния подростка сосны. Выявлены существенные изменения в динамике линейного роста и накопления стволовой древесины у деревьев сосны. Следует также отметить, что благодаря переходу крупного подростка в состав древесного яруса древостоя переходит из относительно-разновозрастного с демутационными фазами динамики в условно-разновозрастный тип возрастной структуры.

Работа выполнена при поддержке гранта Русского географического общества «Оценка эффективности лесовозобновления и динамики органического вещества на ветровалах таежной зоны в Республике Коми».

#### ЛИТЕРАТУРА

*Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.

Последствия катастрофического ветровала для лесных экосистем / Под ред. Ю.М. Алесенкова, Е.Г. Поздеева, Н.Н. Теринова, Н.А. Шлыкова. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 128 с.

*Листов А.А.* Боры-беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с.  
ОСТ56-69-83. Пробные площади лесоустroительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ гослесхоза СССР, 1983. 60 с.

### ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПАХОТНОМ ГОРИЗОНТЕ ПОЧВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**М.А. Маркушин**

Государственный центр агрохимической службы «Кировский»

E-mail: *markushin\_m@mail.ru*

Кировская область занимает восточную часть Русской равнины. По рельефу представляет увалисто-волнистую равнину с общим наклоном с северо-востока на юго-запад. На развитие рельефа оказали влияние древние тектонические движения земной коры, завершившиеся образованием Вятского увала в центральной части Верхне-Камской возвышенности на востоке области и за пределами Уральских гор (Уланов, 2005)

В ходе нашего исследования установлены конкретные географические особенности распределения тяжелых металлов (ТМ) в почвах сельскохозяйственных угодий и дана эколого-токсикологическая оценка их содержания.

Средневзвешенное содержание валовых форм ТМ в почвах Кировской области, приведенное в табл. 1, дифференцировано по агроклиматическим зонам.

Следует отметить, что при движении с северной зоны области в центральную часть средневзвешенные значения валовых форм цинка, никеля, меди и свинца незначительно увеличиваются в северной зоне, особенно по содержанию Zn – на 7.1 мг/кг, Ni – 5.1, Cu – 3.4, Pb – на 1.5 мг/кг.

Существенных различий в содержании валовых форм ТМ в центральной и южной зонах области нет. Такую картину распределения ТМ с севера на юг можно объяснить более поздним вовле-



чением почв северной зоны Кировской области в сельское хозяйство и низким использованием средств химизации в последние 20-25 лет.

Несколько иная картина наблюдается в изменении содержания ТМ в широтном направлении. Так, например, средневзвешенное валовое содержание Си в почвах Лузского р-на – 5.7 мг/кг ( $60.61^\circ$  с.ш.,  $47.88^\circ$  в.д. – это западная часть северной зоны области), а в Афанасьевском ( $58.90^\circ$  с.ш.,  $53.26^\circ$  в.д. – восточный район области в северной агроклиматической зоне) – 16 мг/кг, что в 2.8 раза больше. Такие же изменения происходят и в южной агроклиматической зоне Кировской области. Западное местоположение Кикнурского р-на ( $57.33^\circ$  с.ш.,  $47.12^\circ$  в.д.) обеспечивает валовое содержание Си – 10.1 мг/кг, а Вятско-Полянского ( $56.25^\circ$  с.ш.,  $51.16^\circ$  в.д.), что расположен на востоке южной зоны, – 18.6 мг/кг, или в 1.8 раза больше. Аналогичные изменения прослеживаются по всем рассматриваемым элементам.

Широтные прогрессирующие изменения в содержании валовых форм ТМ наблюдаются по левобережью главной водной артерии Кировской области – р. Вятки.

Важно отметить, что средневзвешенное валовое содержание ТМ ни в одном из районов Кировской области не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК (ОДК)). Так, например, средневзвешенные показатели Pb, отмеченные в почвах Афанасьевского и Кирово-Чепецкого районов (11.9 и 11.6 мг/кг соответственно) составляют 18% от ОДК, валовое содержание Си колеб-

Таблица 1

**Распределение средневзвешенных показателей ТМ в почвах агроклиматических зон Кировской области**

Агроклиматическая зона	Обследованная площадь, тыс. га	Тяжелый металл, валовая форма	Средневзвешенный показатель, мг/кг
Северная	288.8	Pb	6.9
		Cu	10.4
		Zn	34.3
		Ni	23.0
Центральная	869.7	Pb	8.4
		Cu	13.8
		Zn	41.4
		Ni	28.1
Южная	783.3	Pb	7.4
		Cu	13.0
		Zn	41.9
		Ni	29.2

лется от 1% ОДК в Лузском р-не до 28% – в Вятско-Полянском; валовое содержание Zn – от 22.5% ОДК в Кирово-Чепецком р-не и до 49.6% – в Сунском. Картина распределения Ni выглядит следующим образом: 10.2 мг/кг, а это 5.1% ОДК в Кирово-Чепецком р-не и 20.3% – в Богородском.

Более конкретная картина распределения ТМ в почвах, используемых для ведения сельского хозяйства в Кировской области, представлена в табл. 2. Такое распределение исследуемых ТМ выполнено в соответствии с гигиеническими нормативами (ГН 2.1.7.2511-09). В таблице численное значение содержания ТМ в зависимости от гранулометрического состава и кислотности почв верхней границы низкой степени обеспеченности соответствует ПДК (ОДК) данного элемента в почве.

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют, что наличие ТМ в почвах Кировской области, пригодных для растениеводства и создания качественной кормовой базы, соответствуют низкому содержанию.

Площади почв с низким содержанием Cu и Pb составляют практически 100% от обследованной.

Но все-таки зафиксировано превышение ПДК (ОДК) по Ni и Zn. По Ni эти площади составляют почти 13% от обследуемых земель. В основном это почвы легкого гранулометрического состава и кислые почвы суглинистого и глинистого гранулометрического составов, сформированные на водно-ледниковых отложениях, подстилаемых моренными суглинками, и на покровных суглинках, подстилаемых элювием песчанников.

Территориально эти площади распределились неравномерно: в центре Кировской области – это Верхошижемский, Кирово-Чепецкий, Котельничский, Оричевский, Орловский районы, на востоке – Кильмезский, западе – Свечинский, Шабалинский, на юге – Вятско-Полянский, Малмыжский, Арбажский. Численное превышение содержания Ni незначительное – от 1.1 до 1.3 ПДК (ОДК). Все участки пашни с повышенным содержанием Ni не имеют техногенного происхождения, а располагаются «очагово» и обусловлены выходом на поверхность в результате эрозионных процессов почвообразующих пород, богатых этим и другими ТМ и расположенных на возвышенных участках рельефа.

В северной агроклиматической зоне (табл. 2) площадь земель с превышением ПДК (ОДК) по Ni – 14.5% на песчаных и супесчаных почвах и 3.8% – на более тяжелых и кислых суглинистых и глинистых. В центральной зоне Вятского региона аналогичные площади – 9.4 и 7.8% от обследованной площади, в южной агроклиматической зоне – 2.3 и 2.7% соответственно.

Таблица 2  
**Распределение площади почв по содержанию ТМ по агроклиматическим зонам Кировской области**

Агроклиматическая зона	Обследованная площадь, тыс. га	Тяжелый металл, валовая форма	Группировка почв, тыс. га								
			Песчаных и супесчаных			Суглинистых и глинистых, рН ≤5.5			Суглинистых и глинистых, рН ≥5.5		
			Очень низкое	Низкое	Среднее	Очень низкое	Низкое	Среднее	Очень низкое	Низкое	Среднее
Северная	288.8	Pb	96.5			137.6			55.6		
		Cu	87.5	8.1		137.4	0.2		55.6		
		Zn	21.6	73.1	0.9	132.1	5.4	0.1	55.6		
Центральная	869.7	Ni	8.9	44.7	42.0	43.2	83.4	11.0	53.6	2.0	
		Pb	160.2	0.3		564.7	0.4		144.1		
		Cu	145.5	14.6	0.4	564.0	1.1		144.1		
Южная	783.3	Zn	29.6	127.2	3.7	486.6	78.5		144.0	0.1	
		Ni	5.8	73.2	81.5	35.2	458.4	68.7	129.7	17.2	
		Pb	63.8			468.9			250.6		
			62.8	0.9	0.1	468.5	0.4		250.5	0.1	
			37.0	26.5	0.3	451.7	17.0	0.2	250.4	0.2	
			2.3	43.3	18.2	51.7	389.7	21.5	221.1	29.3	0.2

Незначительные площади с превышением ПДК (ОДК) по Zn отмечаются в 0.3% (5.2 тыс. га) от обследованной площади, причем 2.0 тыс. га – это почвы Котельничского р-на, 0.5 – Шабалинского и 0.4 тыс. га – Свечинского р-на.

Таким образом, выявлены территории площадей сельскохозяйственных угодий с превышениями ПДК (ОДК) ТМ в Кировской области. В основном это восточная и северо-восточная части.

Результаты исследований, представленные в работе, полученные в ходе сплошного эколого-токсикологического мониторинга сельскохозяйственных угодий и охватывают всю территорию Кировской области. Соответственно, показатели средневзвешенных значений ТМ можно считать фоновыми для пахотного горизонта почв данного региона.

Низкое и очень низкое содержание ТМ в почвах Кировской области позволяет говорить об условиях экологически чистого возделывания сельскохозяйственных культур, идущих на переработку, включая производство детского питания.

Картину географического распределения ТМ в почвах можно рекомендовать как основу для дальнейших исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

Постановление главного государственного санитарного врача РФ от 18 мая 2009 г. № 32. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2511-09

Годовой отчет ФГБУГЦАС «Кировский» за 2005-2014 гг.

О состоянии окружающей среды Кировской области в 2013 году: Региональный доклад / Под общ. ред. А.В. Албеговой. Киров: ООО «Кировская областная типография», 2014. 192 с.

Уланов А.Н. Торфяные и выработанные почвы южной тайги Евро-Северо-Востока России. Киров, 2005. 319 с.

Шихова Л.Н. Содержание и динамика тяжелых металлов в почвах северо-востока европейской части России: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. СПб., 2005. 39 с.

### ПОВЕРХНОСТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ РАСТЕНИЙ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Е.И. Матвеева<sup>1</sup>, Е.В. Яковлева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Актуальность исследований полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) обусловлена их повышенной токсичностью, канцерогенной и мутагенной активностью по отношению к живым

организмам. В последние десятилетия в связи с быстрым развитием промышленности во всем мире усиливается загрязнение окружающей среды ПАУ (Nadala et al., 2004). В настоящее время все больше внимания уделяется оценке состояния арктических регионов. Экосистемы Арктики наряду с высоким ресурсным потенциалом характеризуются низкой устойчивостью к разного рода антропогенным воздействиям. В тундровой зоне широко распространена добыча каменного угля. Развитие угольной промышленности оказывает негативное влияние на здоровье населения: пространственные исследования показали корреляцию между распространенностью угольных шахт и рядом врожденных пороков у детей (Li et al., 2012). Поэтому изучение накопления ПАУ в зонах действия угольных шахт представляет наибольший интерес.

Цель исследования – изучить особенности накопления ПАУ на поверхности разных видов растений под воздействием угледобывающей промышленности.

Проведены исследования содержания ПАУ в растениях нижнего яруса южной кустарниковой тундры. Растения отбирали на фоновом участке и в районе действия угольной шахты «Воркутинская» на расстоянии 500, 1 тыс. и 1.5 тыс. м от источника эмиссии в северном направлении. Отбор проб проводился с учетом розы ветров. Исследованы виды растений трех групп: лишайник *Peltigera leucophlebia*, мох *Pleurozium schreberi* и кустарничек *Vaccinium myrtillus* (черника). Лишайник анализировали полностью, для мха отдельно были исследованы надземная и подземная части, для кустарничка – корни, стебли и листья. Подготовку проб к химическому анализу проводили с помощью оригинальной методики, описанной А.Г. Горшковым (2008).

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в растениях идентифицированы 12 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бензо[б]флуорантен, бензо[к]флуорантен, бенз[а]пирен, бенз[ghi]перилен. ПАУ во всех видах растений фонового участка представлены в основном легкими полиаренами (рис. 1). На загрязненном участке в составе ПАУ растений появляются более тяжелые структуры. Состав ПАУ растений загрязненного участка близок к таковому угля шахты «Воркутинская». Следует отметить, что для *Pleurozium schreberi* выявлено более высокое содержание легких структур, таких как нафталин, флуорен и фенантрен на фоновых участках по сравнению с загрязненными, но различия не были значимы. Для других исследованных видов такое превышение не характерно, однако перечисленные ПАУ присутствуют в значительных количествах и составляют 70-96% от общего содержания ПАУ в растении.

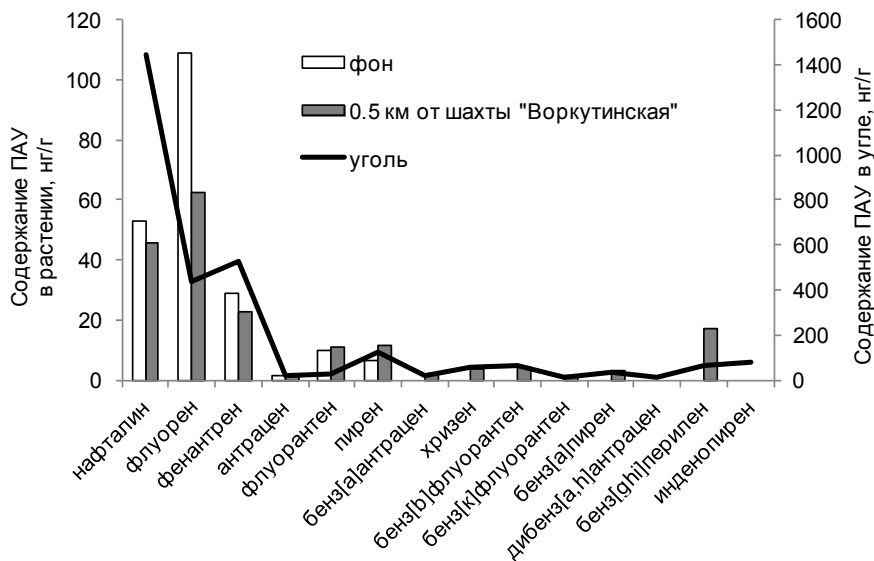


Рис. 1. Содержание индивидуальных ПАУ в угле и *Pleurozium schreberi*, нг/г.

Легкие ПАУ часто имеют природное происхождение и являются необходимыми компонентами растений, участвующими в процессах обмена веществ. Физиологически активные соединения (витамины, гормоны и др.) имеют в молекуле 2-3-ядерные структуры нафталинового и фенантренового типов (Ровинский, и др., 1988). Кроме того, повышение содержания легких ПАУ может быть связано и с дальним переносом легких полиаренов в условиях тундры.

Суммарное содержание ПАУ в растениях всех исследованных видов примерно одинаково, отклонения входят в пределы погрешности. Массовая доля полиаренов в *Peltigera leucophlebia* и *Vaccinium myrtillus* на расстоянии 500 и 1 тыс. м превышает фоновые в 1.5 раза (рис. 2). На расстоянии 1.5 тыс. км содержание ПАУ в растениях близко к фоновым значениям. В данном случае можно говорить только о тенденциях, так как изменения входят в диапазон погрешности.

Для *Pleurozium schreberi* наблюдали некоторое превышение суммарного содержания ПАУ на фоновом участке по сравнению с загрязненными, что было обусловлено повышенными концентрациями нафталина, флуорена и фенантрена, в то время как содержание тяжелых ПАУ на загрязненных участках возрастало до 26

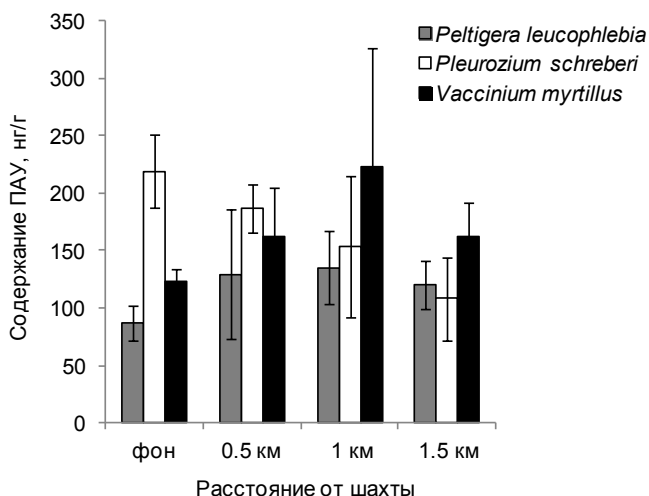


Рис. 2. Суммарное содержание ПАУ в растениях разных видов, нг/г.

раз. Содержание ПАУ на поверхности *Pleurozium schreberi*, так же как и для других исследованных видов, снижалось на расстоянии 1.5 тыс. м от угледобывающего предприятия, что во многом обусловлено уменьшением содержания тяжелых ПАУ. Можно предположить, что тяжелые ПАУ оседают в большей степени вблизи источника выбросов, на расстоянии до 500 м, с дальнейшим удалением их содержание на поверхности растений снижается.

Выявлено неравномерное распределение ПАУ по органам исследованных растений. Для *Pleurozium schreberi* отмечено небольшое превышение суммарного содержания ПАУ в подземной части растения, кратности превышения составляют до двух раз по сравнению с надземной частью. Наибольшие кратности превышения на фоновом участке характерны для нафталина, его массовая доля в подземной части мха превышала содержание в надземных органах в семь раз. По-видимому нафталин попадал на поверхность *Pleurozium schreberi* из почвы, где присутствовал в значительном количестве. Для участков на разном удалении от угледобывающего предприятия превышение суммарного содержания ПАУ в подземной части выражено в меньшей степени, чем для фонового участка, максимальные кратности превышения были выявлены для нафталина и тяжелых ПАУ: бензо[b]флуорантена, бензо[k]флуорантена, бенз[a]пирена, и составляли до трех раз.

Для *Vaccinium myrtillus* распределение ПАУ по органам растения можно представить в виде неравенства листья > стебли ≥ корни (рис. 3).

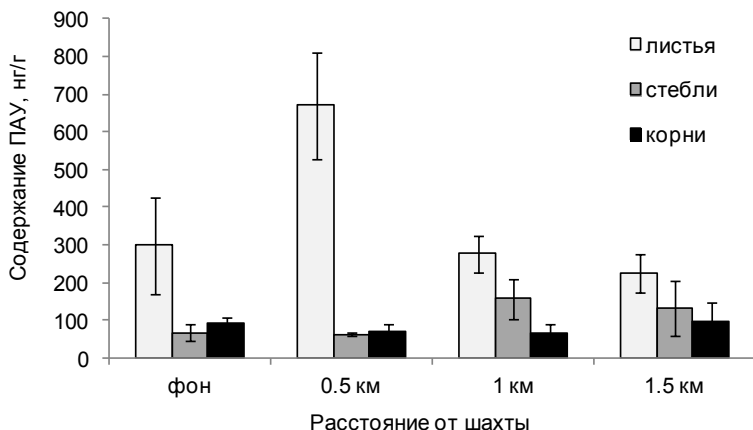


Рис. 3. Суммарное содержание ПАУ в разных органах *Vaccinium myrtillus* на разном удалении от шахты «Воркутинская», нг/г.

Способность черники к активной аккумуляции ПАУ листовой поверхностью уже была ранее показана для растений таежной зоны (Яковлева, 2012). Наивысшее содержание ПАУ на листьях *Vaccinium myrtillus* обнаружено на расстоянии 500 м от шахты «Воркутинская». По мере удаления от шахты содержание ПАУ на листьях снижалось, в то время как в стеблях и корнях незначительно увеличивалось. Такое явление может быть связано с листопадностью кустарничка. Вероятно, на расстоянии 500 м от источника идет основное выпадение ПАУ, и они в первую очередь оседают на листьях благодаря их большой площади, листья ежегодно опадают, и растение избавляется от излишков ПАУ. Накопление полиаренов на стеблях и корнях связано с многолетним приносом, поэтому более стабильно. Некоторое повышение содержания полиаренов в стеблях на расстоянии 1.0 и 1.5 тыс. м от предприятия обусловлено увеличением массовой доли легких полиаренов: нафталина, флуорена, фенантрена, способных перемещаться на большие расстояния по сравнению с тяжелыми структурами.

### Выводы

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на поверхности растений южной кустарниковой тундры были обнаружены 12 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бензо[б]флуорантен, бензо[к]флуорантен, бенз[а]пирен, бенз[ghi]перилен.



Основной вклад в суммарное содержание ПАУ в растениях вносили низкомолекулярные полиарены. Доля нафталина, флуорена и пирена в исследованных объектах составляла 70-96%.

Суммарное содержание ПАУ в растениях всех исследованных видов примерно одинаково, отклонения входят в пределы погрешности. Суммарная массовая доля ПАУ в растениях загрязненных участков превышала фоновые значения в 1.5 раза.

Содержание легких ПАУ по мере удаления от угледобывающего предприятия значительно не изменялось, тенденция уменьшения массовой доли полиаренов на расстоянии 1.5 тыс. м обусловлена снижением содержания тяжелых полиаренов, что может быть связано с их меньшей способностью к миграции на дальние расстояния.

Выявлено неравномерное распределение ПАУ по органам растений. Основная масса ПАУ в *Pleurozium schreberi* сосредоточена в подземной части растения. Для *Vaccinium myrtillus* распределение ПАУ по органам растения можно представить в виде неравенства листья > стебли ≥ корни.

Обнаружено снижение содержания полиаренов на листьях *Vaccinium myrtillus* по мере удаления от шахты «Воркутинская» при относительно стабильном содержании ПАУ в стеблях и корнях, такой факт, вероятно, обусловлен листопадностью данного кустарничка.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-04-31303 мол\_а и № 13-04-00070-а.

#### ЛИТЕРАТУРА

Горшков А.Г., Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Верецагин А.Л. Накопление полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной на территории Прибайкалья // Лесоведение, 2008. № 2. С. 21-26.

Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 224 с.

Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растения биоценозов северной тайги // Почвоведение, 2012. № 3. С. 356-367.

Li W., Chen B., Ding X. Environment and Reproductive Health in China: Challenges and Opportunities // Environmental Health Perspectives, 2012. Vol. 120. № 5. P. A184-A185.

Nadala M., Schuhmachera M., Domingo J.L. Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain // Environmental Pollution, 2004. Vol. 132. P. 1-11.

## УДЕЛЬНЫЕ ПОТОКИ МЕТАНА НА КРУПНОБУГРИСТОМ ТОРФЯНИКЕ КРАЙНЕСЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

М.Н. Мигловец<sup>1</sup>, М.В. Лукашева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

E-mail: miglovec@bk.ru, masha-anton@inbox.ru

Важность исследования природных источников метана обусловлена парниковым потенциалом этого газа, который в 21 раз выше, чем у диоксида углерода. В 2011 г. концентрация метана в атмосфере составила 1803 ppb, что превышает доиндустриальный уровень на 150% (IPCC, 2013). Вклад болот в общий поток CH<sub>4</sub> в атмосферу оценен в 100-231 Тг год<sup>-1</sup> (Climate change..., 2007). Считается, что значительная часть метана может быть высвобождена в результате деградации вечной мерзлоты в связи с потеплением климата. Выбросы CH<sub>4</sub> в атмосферу в процессе таяния многолетнемерзлых грунтов на протяжении XXI в. оценивается в 50-250 Гт углерода (IPCC, 2013).

В связи с этим основная цель данного исследования – изучить сезонную вариабельность удельных потоков (эмиссии) метана в болотной экосистеме на южной границе распространения вечной мерзлоты (Республика Коми).

Исследования проведены в Интинском р-не Республики Коми в мае-сентябре 2014 г. В качестве объекта был выбран комплекс крупнобугристого болота в урочище Кулицанюр (65°54'10" с.ш., 60°26'40" в.д.) на водоразделе рек Черная и Большая Инта. Для него характерны два типа микроландшафта (фаций): 1) грядово-мочажинный, где на грядах доминируют виды *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum hermaphroditum*, *Rubus chamaemorus*, в напочвенном покрове – сфагновые мхи (*Sphagnum fuscum* – 80-90%), а в мочажинах – *Eriophorum russeolum*, *Carex limosa*, *C. rotundata*, в напочвенном покрове – *Sphagnum lindbergii*, *S. riparium*; 2) мерзлотные торфяные бугры (высота – 3-4 м), вершина которых представляет собой мозаику лишайниковых, кустарничково-лишайниковых фитоценозов и торфяных пятен (до 30% площади). Доминирующими видами вершины бугра являются *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Betula nana*, *Empetrum hermaphroditum*. В мохово-лишайниковом ярусе господствуют лишайники (суммарное покрытие – около 60%): *Cladonia arbuscula*, *C. coccifera*, *C. gracilis*, *C. rangiferina*.

Бугры характеризуются сухоторфяными мерзлотными почвами. Торфяная залежь представлена кустарничково-моховыми торфами разной степени разложения. Залежь осоково-сфагну-

мочажины сложена из сфагновых торфов верхового типа (до 48 см) и осоково-пушицевого (ниже 48 см) торфа разной степени разложения.

Погодные условия вегетационного периода в год проведения измерений были нестабильны. В июле среднесуточная температура ниже на 3.6 °С от многолетней средней. Глубина сезонно-талого горизонта торфа на бугре к концу периода вегетации достигла 64 см. Уровень болотных вод (УБВ) в мочажине с 5 по 23 июля варьировал в пределах 3.5-13 см от поверхности мохового покрова, а на гряде – в пределах 24-38 см. В период длительных дождей после 23 июля УБВ повысился на 8-14 см и сохранялся на этом уровне до конца сезона. Продолжительность вегетационного периода в районе исследований составила 89 сут.

Для измерений скорости потока метана выбрано 15 микроформ с типичной болотной растительностью. В олиготрофной фации три участка на грядах с доминированием *Sphagnum fuscum* (до 90% ОПП), *Ledum palustre*, *Rubus chamaemorus*, *Empetrum hermaphroditum*. Менее обильны *Betula nana* и *Andromeda polifolia*; четыре участка в мочажине с преобладанием *Sphagnum lindbergii*, *Eriophorum russeolum*, реже встречается *Carex limosa*. На торфяном бугре три участка на лишенных растительности торфяных пятнах; два – в лишайниковых сообществах с доминированием лишайников рода *Cladonia*; три – в кустарничково-лишайниковых сообществах, на которых преобладают лишайники рода *Cladonia*, *Ledum palustre* и *Betula nana*.

Измерения удельных потоков метана проводили с использованием метода статических темных камер, установленных на металлическое основание (0.25 м<sup>2</sup>). Камера объемом 0.1 м<sup>3</sup> была укомплектована вентилятором для перемешивания и охлаждения воздушных масс внутри камеры и термометром. Время экспозиции на каждом участке составляло 20 мин. Определение объемной доли метана в воздухе проводили с использованием газоанализатора GGA-30p (Los Gatos Research, США), который работает по принципу внеосевой лазерной спектроскопии. Расчет удельных потоков проводился по модифицированному уравнению идеального газа.

За период наблюдений с мая по сентябрь 2014 г. величина эмиссии метана варьировала в пределах -0.04-1.4 мкг м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>, среднее значение (±ошибка) составило 0.27±0.065 мкг м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>.

В конце мая при повышении температуры воздуха до +15 °С и оттаивании верхних горизонтов торфа до 12 см на бугре наблюдался значительный всплеск удельного потока CH<sub>4</sub>, в последующем этот процесс постепенно снижался.

В лишайниковых и кустарничково-лишайниковых сообществах на бугре отмечено поглощение метана. Эмиссия с поверхности торфяных пятен не превышала  $0.01 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$  за весь период наблюдений. Для растительных сообществ олиготрофной части торфяника усиление эмиссии метана наблюдали с конца мая до начала июля. В период прохладной и дождливой погоды (7-24 июля) отмечено снижение этого процесса. В сентябре эмиссия метана упала до  $0.8 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Максимальные значения эмиссии метана зафиксированы в пушицево-сфагновых олиготрофных сообществах –  $0.82/1.03/1.25 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$  (здесь и далее: первая квартиль/медиана/третья квартиль). Для всех остальных участков значение потока  $\text{CH}_4$  не превышало  $0.1 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . В лишайниковых и кустарничково-лишайниковых сообществах регистрировали устойчивый сток/окисление метана  $-0.03/-0.013/-0.006 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Полученные нами данные имеют большое сходство с результатами исследований других авторов (см. таблицу). С поверхности мерзлотных бугров и олиготрофных гряд (кочек) болотных комплексов криолитозоны удельные потоки метана находятся в пределах нулевого значения. Это может указывать на сходные гидро-термические условия, определяющие структуру и функционирование сообществ метаногенных архей и метаноокисляющих бактерий торфяников криолитозоны.

Расчеты показали, что период активной эмиссии метана (ПЭМ) в 2014 г. составил 137 сут. С поверхности олиготрофных пушицево-сфагновой мочажины и кустарничково-сфагновой гряды выделилось в атмосферу около 12 и  $1 \text{ г м}^{-2}$  метана соответственно. Удельный поток с поверхности торфяных пятен мерзлотного бугра за этот период составил  $0.5 \text{ г м}^{-2}$ . Участки бугра, заселенные лишайниками, за весь период выполняли функцию стока метана в исследованной экосистеме, его величина составила  $0.36-0.1 \text{ г м}^{-2}$ .

**Значения средней скорости эмиссии метана ( $\text{мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ )  
с поверхности торфяников в зоне распространения многолетней мерзлоты**

Тип торфяника	Район исследований	Тип микрорельефа			Источник
		Бугор	Мочажина	Кочка	
Крупнобугристый	Интинский (Республика Коми)	0.03	1.0	0.098	Наши данные
Полигональный	Воркутинский (Республика Коми)	0 (-0.09-0.12)*	2.1	0.09	Heikkinen et al., 2002
Болотный комплекс (островная мерзлота)	Манитоба, Канада	0.065	0.64	–	Bubier et al., 1995

\* В скобках указаны пределы варьирования.

Таким образом, за период наблюдений с мая по сентябрь нами установлено, что на исследованном торфянике удельные потоки метана с поверхности торфяных пятен мерзлотного бугра близки к нулю. В лишайниковых и кустарничко-лишайниковых сообществах бугра наблюдается стабильный сток метана с суммарным за сезон значением от 0.36 до 0.1 г м<sup>-2</sup>. Максимальные значения потока метана в атмосферу отмечены с поверхности олиготрофной мочажины (12 г м<sup>-2</sup>), где в растительном покрове наблюдается высокая доля травянистых растений.

Работа выполнена в рамках проекта ПРООН/ГЭФ ООПТ Республики Коми № 00059042.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Bubier J.L., Moore T.R., Bellisario L. et al.* Ecological controls on methane emissions from a northern peatland complex in the zone of discontinuous permafrost, Manitoba, Canada // *Global Biogeochemistry Cycles*, 1995. Vol. 9. P. 455-470.

Climate Change 2007: The Physical Science. Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC // Cambridge University Press, 2007. 996 p.

*Heikkinen J.E.P., Elsakov V., Martikainen P.J.* Carbon dioxide and methane dynamics and annual carbon balance in tundra wetland in NE Europe, Russia // *Global Biogeochemical Cycles*, 2002. Vol. 16. № 4. P. 62-77.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge University Press, 2013. 1535 p. doi:10.1017/CBO9781107415324.

## ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ЭНЕРГО- И МАССООБМЕНА МЕЗООЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

**О.А. Михайлов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: *mikter@mail.ru*

Исследования энерго- и массообмена между атмосферой и наземными экосистемами актуальны в связи с глобальным изменением климата. Одна из причин этого – увеличение концентрации в атмосфере парниковых газов (Букварева, 2010). Помимо обмена парниковыми газами болотная экосистема влияет на потоки тепла и влаги в атмосфере. Изучение энерго- и массообмена в болотных биогеоценозах таежной зоны позволяет оценить их роль в процессах изменения климата.

Цель данной работы – выявление закономерностей годовой динамики энерго- и массообмена в приземном слое атмосферы на мезоолиготрофном болоте средней тайги.

Объектом исследования являлось болото Мэдла-Пев-Нюр, расположенное в 40 км от г. Сыктывкар (Республика Коми), имеющее площадь 2.8 га и среднюю мощность торфа 1.4 м (Торфяные ресурсы..., 2000). Период исследования продолжался с 15 мая 2012 г. по 26 февраля 2013 г. и составил 288 дней.

Исследования проведены с использованием метода микровихревых пульсаций. Измерительная система включала ультразвуковой анемометр (CSAT3, Campbell Scientific Inc, США) и инфракрасный газоанализатор открытого типа (Li-7500A, Li-Cor Inc., США). Отбор проб воздуха осуществлялся на высоте 3.93 м от верхней границы мохового покрова. Регистрация данных проводилась с частотой 10 Hz, они сохранялись в виде файлов и содержали сведения за 30-минутный период измерений. В анализе использовали следующие показатели: скорость вертикальных потоков  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  ( $\text{мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ), турбулентный ( $H$ ), скрытый ( $LE$ ) и почвенный ( $G$ ) теплообмен ( $\text{Вт м}^{-1}$ ), радиационный баланс ( $R_{net}$ ), температура воздуха ( $T_{air}$ ), относительная влажность воздуха ( $rH$ ) и динамическая скорость ветра ( $u^*$ ). Результаты обрабатывали в программе EddyPro (Li-Cor Inc., США). Заполнение пробелов в данных выполнено с помощью онлайн-инструмента Института Макса Планка (Германия). Баланс вертикальных потоков диоксида углерода за 288 дней рассчитывали после заполнения пробелов, исходя из средней скорости вертикальных потоков  $\text{CO}_2$  за период измерений. Баланс вертикальных потоков метана рассчитывали аналогично, однако использовали данные без заполнения пробелов. Сходимость энергетического баланса определяли по формуле (Zamolodchikov et. al., 2003):

$$H + LE = 0.84(R_{net} - G) + 7.6.$$

В течение года происходили существенные изменения исследованных показателей энерго- и массообмена. Скорость вертикальных потоков диоксида углерода возрастала с мая по вторую половину августа, а затем постепенно снижалась (рис. 1А). Небольшое увеличение поглощения  $\text{CO}_2$  наблюдали во второй половине сентября. Максимальный сток  $\text{CO}_2$  в болото составил  $-450 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , максимальная эмиссия –  $370$ , средняя скорость вертикальных потоков диоксида углерода  $-11.1 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Сходным образом описывается и годовая динамика вертикальных потоков метана, максимальную эмиссию которого наблюдали в середине июля–начале августа ( $4 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ), а в октябре–ноябре наблюдали сток с максимальной скоростью  $-1 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$  (рис. 1Б). Средняя скорость вер-

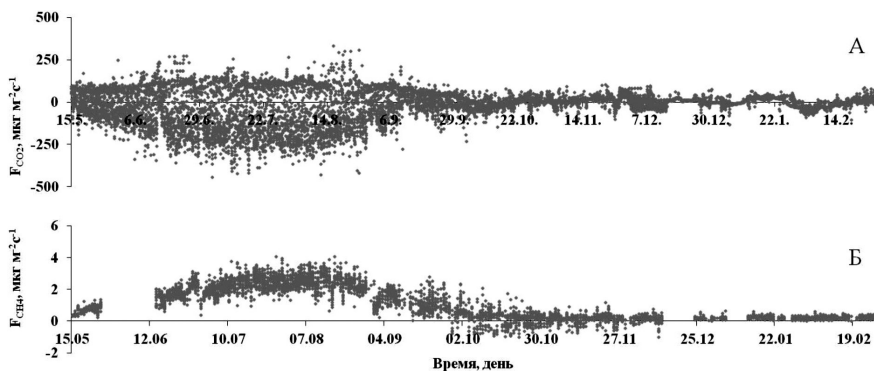


Рис. 1. Годовая динамика вертикальных потоков CO<sub>2</sub> (А) и CH<sub>4</sub> (Б).

тикальных потоков метана за период измерений составила 1.17  $\mu\text{кг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Годовая динамика таких показателей теплообмена, как  $R_{net}$  и  $LE$ , была сходна, максимальные величины отмечали в сере-

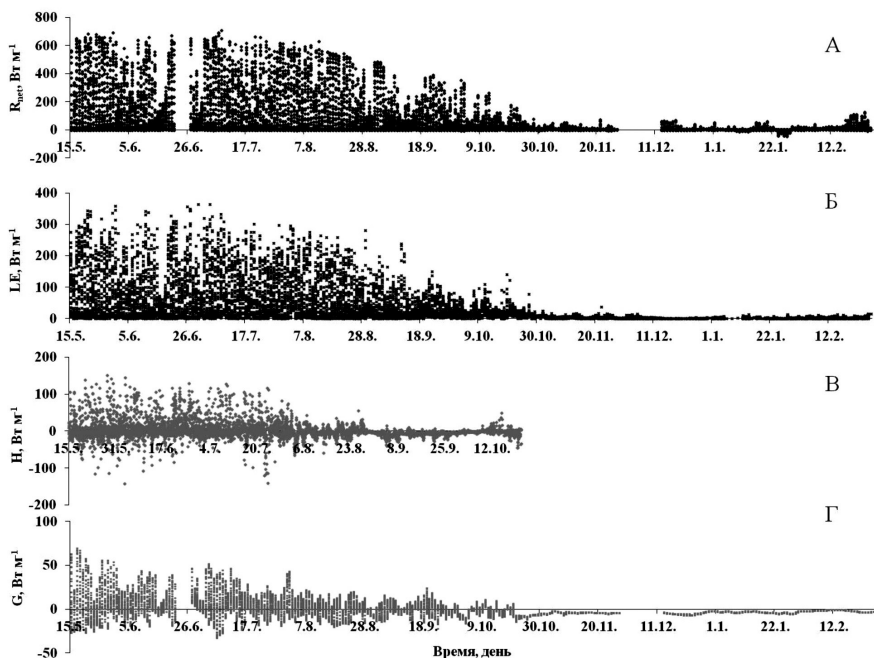


Рис. 2. Годовая динамика  $R_{net}$  (А), вертикальных потоков  $LE$  (Б),  $H$  (В) и  $G$  (Г).

дине июля (707 и 364 Вт м<sup>-1</sup> соответственно), а у таких показателей, как  $H$  и  $G$ , – с мая по начало июля (рис. 2).

В результате проведенных измерений установлено, что на мезоолиготрофном болоте сток диоксида углерода за период измерений составил 317.0 г м<sup>-2</sup> (86.5 г С м<sup>-2</sup>), а эмиссия СН<sub>4</sub> – 29.1 г м<sup>-2</sup> (21.8 г С м<sup>-2</sup>). Суммарный баланс вертикальных потоков углерода за период измерений был оценен в –64.6 г м<sup>-2</sup>. Сходимость энергетического баланса составила 62%, что подтверждает удовлетворительное качество полученных данных и возможность их дальнейшего анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Букварева Е.Н.* Роль наземных экосистем в регуляции климата и место России в посткиотском процессе. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 97 с.

Торфяные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар: Полиграф-сервис, 2000. 613 с.

*Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., Ivaschenko A.I. et al.* CO<sub>2</sub> flux measurements in Russian Far East tundra using eddy covariance and closed chamber techniques // Tellus, 2003. № 55B. P. 879-892.

### МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ

**Е.Н. Михайлова<sup>1</sup>, А.А. Дымов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: ene4ka93@yandex.ru, aadymov@gmail.com

Происходящие в настоящее время «быстрые» изменения в использовании сельскохозяйственных земель выступают как фактор, равноправный по сравнению с изменением климата, в отношении величин и направленности потоков парниковых газов между поверхностью наземных сообществ и атмосферой. Ситуация с зарастанием залежей в России, сложившаяся в результате экономического коллапса в 1990-х–начале 2000-х гг. и вывода из оборота огромного массива аграрных угодий, не имеет аналогов в мире (Курганова и др., 2010). В результате возникли не просто локальные ареалы, на которых развиваются восстановительные процессы экосистем, а постагроденные сукцессионные системы, почти одновременно стартовавшие на огромных пространствах в разных природных зонах. В случае прекращения агрогенного воздействия на заброшенных участках происходит постагроденная сук-



цессионная смена растительности, направленная на восстановление естественной лесной растительности и морфологического строения почв, существовавшего до сельскохозяйственного освоения. Продолжительность процесса постагрогенной трансформации измеряется десятками и первыми сотнями лет и зависит от регенеративной способности почв (Почвообразовательные..., 2006). Согласно исследованиям Люри с соавт. (2012), наибольшее изменение в площадях сельскохозяйственных земель происходило на территории южной тайги и лесостепной зоне. Но при этом исследования, направленные на изучение изменений почв в постагрогенных сукцессиях на территории Республики Коми (РК), носят единичный характер.

Цель данной работы – изучение морфологического строения, физико-химических свойств и особенностей органического вещества (ОВ) почв в постагрогенных ландшафтах РК.

В качестве объектов исследования были подобраны участки сенокосных угодий, выведенных из использования в начале 2000-х гг. Первый объект исследования располагался в подзоне средней тайги Корткеросского р-на РК, в Вымь-Вычегодском округе типичных подзолистых и иллювиально-железистых подзолов Сысола-Вычегодской провинции. Объектом исследования были сенокосные угодья, заброшенные восемь лет назад. Участки расположены на правом берегу р. Маджа (среднее течение). Под ними формируется почва – агрозем иллювиально-железистый (оподзоленный). Для нее характерно формирование агрогумусового горизонта (Р), под ним сохраняются подзолистый (Е) и иллювиально-железистый (ВF) горизонты. В качестве контроля использован участок сосняка кустарничково-зеленомошного, под которым формируется подзол иллювиально-железистый. Для него характерна подстилка (О), подзолистый (Е) и иллювиально-железистый (ВF) горизонты. Почвы первой пары формируются на песчаных отложениях.

Второй объект исследования находился в подзоне южной тайги Прилузского р-на РК, Среднерусской провинции, Летского округа дерново-подзолистых почв. Объектом исследования стали сенокосные угодья, заброшенные 10 лет назад. Расположены на правом берегу р. Летка (среднее течение). Почва диагностирована как агрозем текстурно-дифференцированный. Для данных почв также характерно формирование пахотного горизонта (Р), переходного (ВЕL) и текстурного (ВТ) горизонтов. В качестве контроля использован участок ельника кустарничкового, под которым формируется подзолистая текстурно-дифференцированная почва (О-ЕL-ВЕL-ВТ-С). Почвы второй хронопары развиваются на суглинистых отложениях.

Диагностику и классификационное положение почв определяют согласно определителю (Полевой..., 2008). Химический анализ почв выполнен классическими методами в отделе почвоведения и лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Денсиметрическое фракционирование проводили поливольфрамом натрия (Grunewald et al., 2006) с учетом рекомендаций (Cerly et al., 2012). Разделяли верхние минеральные горизонты исследуемых почв на три фракции: свободного органического вещества (с плотностью  $<1.6$  г/см<sup>3</sup>), окклюдированного ОВ (с плотностью 1.8-2.2 г/см<sup>3</sup>) и тяжелую фракцию ОВ, связанную с минеральной составляющей (с плотностью  $>2.2$  г/см<sup>3</sup>).

Анализ физико-химических свойств показал, что все исследуемые почвы сильнокислые. При сравнении агроземов и почв лесных участков выявлено, что верхние минеральные горизонты агроземов менее кислые по сравнению с подстилками лесных участков. Кислотность залежей составляет более 5 ед. рН (Н<sub>2</sub>О), почв контрольных участков –  $<5$  ед. рН (Н<sub>2</sub>О). При этом различия между лесными и агрогенными почвами, развитыми на песчаных отложениях, более значительны, чем в почвах на суглинистых отложениях.

В верхних минеральных горизонтах агроземов выявлено более низкое содержание обменных форм кальция и магния по сравнению с подстилками контрольных участков. Но при этом низкие значения гидролитической кислотности в пахотных горизонтах способствуют более высокой степени насыщенности основаниями.

В почвах лесных участков наибольшее содержание углерода и азота выявлено в подстилочных горизонтах. Вниз по профилю идет плавное убывание содержания как углерода, так и азота. Качественный состав опада создает существенные отличия в С:N отношении почвенного органического вещества верхних горизонтов исследуемых почв. Для лесных участков характерно более широкое отношение С:N по сравнению с пахотными горизонтами агроземов.

Анализ содержания денсиметрических фракций показал, что в почвах лесных участков основу (по массе) составляют органоминеральные тяжелые фракции. В верхних горизонтах агроземов наблюдается возрастание фракций свободного и окклюдированного органического вещества. Денсиметрические фракции существенно отличаются по содержанию углерода. При анализе состава фракций подзола иллювиально-железистого выявлено, что наибольшие концентрации углерода характерны для фракций свободного органического вещества как в подзолистом, так и иллювиально-железистом горизонте. Минимальные содержания характерны для тя-

желой органоминеральной фракции (гор. E = 0.10%, гор. BF = 0.08%). Близкие закономерности прослеживаются и при анализе содержания азота в верхних горизонтах подзола иллювиально-железистого. Здесь выявленные закономерности по содержанию углерода и азота в отдельных фракциях сохраняются.

При анализе денситметрических фракций подзолистой текстурно-дифференцированной почвы выявлено преобладание (по массе) тяжелой органоминеральной фракции. Наибольшие концентрации углерода определены во фракции окклюдированного органического вещества, минимальное содержание углерода – в тяжелой органоминеральной фракции. Сравнение пахотных и верхних минеральных горизонтов почв лесных участков показало, что в верхних минеральных горизонтах агроземов наблюдается возрастание общего углерода. При рассмотрении удельного вклада отдельных фракций в состав общего органического вещества отмечено, что возрастание происходит преимущественно за счет органического вещества, прочно связанного с минеральной матрицей, входящей в состав тяжелых фракций.

Таким образом, проведение исследований позволило выявить, что агроземы, выведенные из сельхозпользования 8-10 лет назад, сохраняют основные черты пахотных почв. Показано, что залежные участки существенно отличаются от почв контрольных (лесных) участков по кислотности, содержанию обменных форм кальция и магния, степени насыщенности основаниями, содержанию углерода и азота. В верхних минеральных горизонтах агроземов выше содержание углерода, при этом возрастание происходит за счет органических соединений, прочно связанных с минеральной матрицей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект № 13-04-00570а и гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук МК-2905.2015.4.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Швиденков А.З. Сапожников П.М.* Изменение общего пула органического углерода в залежных почвах России в 1990-2004 гг. // Почвоведение, 2010. № 3. С. 361-368.

*Люри Д.И., Горячкин С.В., Караева Н.А.* Изменение природной среды России в XX веке. М.: Молнет, 2012. 426 с.

Полевой определитель почв России / К.Т. Острикова. М., 2008. 182 с.

Почвообразовательные процессы / Под ред. М.С. Симаковой, В.Д. Тонконогова. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 510 с.

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

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

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ

**А.С. Мостовая**

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А.Тимирязева  
E-mail: [ankhen2009@yandex.ru](mailto:ankhen2009@yandex.ru)

Почвенные микроорганизмы осуществляют основные ферментативные процессы в почве, запасают энергию и элементы питания в своей биомассе (Ананьева, 2010). Микробная биомасса является важным живым компонентом почвы. Ее запасы и активность – основные характеристики в экологических исследованиях (Ананьева, 2008). Ферментативная активность почв отражает интенсивность и направленность в ней основных биохимических процессов: синтеза и распада гумуса, гидролиза органических соединений, окислительно-восстановительного режима почвы. Фосфатазы относятся к классу гидролаз, их активность является важнейшим показателем биологической активности почв (Хомутова, 2012). Пероксидазы и полифенолоксидазы выполняют важную роль в многостадийных процессах разложения и синтеза органических соединений (Раськова, 1995).

Исследования проводились в ряду залежных почв различного возраста, расположенном на территории опытно-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХиБПП РАН, г. Пущино, Московская область). Сукцессионный хроноряд бывших пахотных угодий включал в себя пижмово-разнотравную залежь семи лет, разнотравную залежь 11 лет с молодыми деревцами (береза, осина, сосна), злаково-разнотравные залежи 20 и 35 лет. Пашня и вторичный осиново-липово-кленовый 60-летний лес служили двусторонним контролем, позволяющим проанализировать произошедшие постагрогенные изменения в почве.

Для общих, микробиологических и ферментативных анализов смешанные образцы почв были отобраны с каждого объекта из четырех почвенных метрических горизонтов: 0-5, 5-10, 10-20 и 20-30 см. Затем они подсушивались до воздушно-сухого состояния и просеивались через сито с диаметром ячеек 2 мм. В лабораторных условиях в образцах нарушенного сложения определялась полная

полевая влагоемкость (ППВ) (Вадюнина, 1986). Величина рН вычислялась потенциометрически в 1 М вытяжке КСl при соотношении почва:раствор, равном 1:2.5. Микробиологическую (дыхательную) активность почв ( $V_{\text{basal}}$ ) измеряли по интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  из почвы при увлажнении, соответствующем 90% от ППВ, и температуре 24 °С. Содержание микробного углерода ( $\text{C}_{\text{mic}}$ ) находили методом субстрат-индуцированного дыхания (Anderson, 1978).

Пероксидазную и полифенолоксидазную активность определяли по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой, фосфатазную активность – по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян (Хазиев, 2005).

Исследования показали, что в процессе постагрогенной эволюции с глубиной увеличивается дифференциация по ППВ почвенного профиля. В самом верхнем горизонте (0-5 см) изученных почв величина ППВ изменялась от 46.8% на пашне до 64.6% в почве под лесом, в горизонте 5-10 см – от 46.6% на пашне до 57.7% под лесом. В нижележащем горизонте (10-20 см) максимальная величина ППВ наблюдается под лесом (52.6%), минимальная – на залежи 20 лет (45.8%). Изменение величины ППВ по профилю почвы в процессе постагрогенной эволюции становится более заметным. Так, на пашне все изученные горизонты почти не отличаются по величине ППВ, тогда как с увеличением возраста залежей разница между верхним и нижним горизонтами возрастает, достигая максимального значения (17.3%) в почве под вторичным лесом.

Как правило, значения рН с глубиной уменьшались незначительно, в то время как в зависимости от возраста залежи изменения носили волнообразный характер. Для двух верхних горизонтов 0-5 и 5-10 см характерна небольшая разница (4.7-5.3) между значениями рН объектов хроноряда. В горизонтах 10-20 и 20-30 см наблюдаются выраженные различия (4.5-5.6) между пашней и молодыми залежами, тогда как разница между старыми залежами и лесом практически не проявлялась.

Дыхательная активность, или базальное дыхание ( $V_{\text{basal}}$ ), почв изученного хроноряда в самом верхнем горизонте 0-5 см изменялась в очень широких пределах: от 15.1 мг С/кг почвы·сут. на пашне до 81.8 – в почве под лесом. В горизонте 5-10 см дыхательная активность почв снижается в 1.5-3 раза. В горизонте 10-20 см наименьшая дыхательная активность наблюдается на залежи 11 лет (7.8 мг С/кг почвы·сут.), максимальная – под лесом (18.4). В нижнем горизонте (20-30 см) отмечены минимальные различия между объектами: 4.0 мг С/кг почвы·сут. на пашне и 10.5 – под лесом.

В целом, по всем горизонтам прослеживалось последовательное нарастание интенсивности базального дыхания в процессе постагрогенной эволюции, эта тенденция наиболее выражена для верхнего горизонта 0-5 см. Соотношение значений базального дыхания между верхним (0-5 см) и нижним (20-30 см) горизонтами было минимально на семилетней залежи и максимально – под лесом (2.4 и 7.8 соответственно). Максимальное снижение дыхательной активности с глубиной наблюдалось под лесной растительностью, что может быть вызвано невысокой обеспеченностью нижних горизонтов (10-30 см) органическим веществом.

Таким образом, при возобновлении естественной растительности, вызванном выведением пахотных почв из сельскохозяйственного использования, дыхательная активность верхних горизонтов почв постепенно увеличивалась и достигала максимальных значений в лесных ценозах.

Углерод, иммобилизованный в микробной биомассе ( $C_{mic}$ ), наиболее заметно откликался на изменения в землепользовании в верхних горизонтах 0-5 и 5-10 см. Его содержание было минимально на пашне (0.34 и 0.30 г С/кг почвы), затем последовательно возрастало и достигало максимума под лесом (0.64 и 0.52). В нижележащем горизонте 10-20 см содержание  $C_{mic}$  уменьшается в ходе постагрогенной эволюции: оно максимально на пашне (0.27 г С / кг почвы) и стабилизируется на уровне 0.18 г С/кг почвы под лесом. В нижнем горизонте 20-30 см содержание  $C_{mic}$  выравнивается (0.10-0.15 г С/кг почвы). Отношение углерода микробной биомассы верхнего горизонта к нижнему возрастает в процессе постагрогенной эволюции от 2.8 на пашне до 6.1 под лесной растительностью.

Величина пероксидазной активности в верхнем 0-5-сантиметровом горизонте серых лесных почв Московской области повышалась от 90.8 мг бензохинона на 1 г почвы за 30 мин. при 30 °С (далее – мг Б.) на пашне до 109.8 мг Б. – на 11-летней залежи, затем понижалась до 73.1 мг Б. под лесом. В горизонте 5-10 см получены сходные данные: повышение от 86.8 мг Б. на пашне до 106.1 – на 11-летней залежи и последующее понижение до 94.2 мг Б. под лесом.

В нижележащих горизонтах 10-20 и 20-30 см более выражено варьирование величины пероксидазной активности в хроноряду: от 79.1 до 101.7 и от 67.3 до 99.5 мг Б. соответственно. В изученном хроноряду высокая пероксидазная активность наблюдалась на пашне и залежах семи и 11 лет, низкая – на залежи 35 лет и под лесом.

Полифенолоксидазная активность серых лесных почв Московской области в верхних горизонтах 0-5, 5-10 и 10-20 см изменялась одинаково: повышалась от пашни к молодой залежи семи лет, затем падала до залежи 20 лет, немного возрастала на 35-летней залежи и понижалась под лесом. Нижний горизонт 20-30 см характеризовался постепенным снижением полифенолоксидазной активности от пашни к 20-летней залежи и дальнейшим небольшим повышением к почве под лесом. Большей полифенолоксидазной активностью характеризовались почвы пашни и залежей семи и 11 лет, меньшей – залежей 20 и 35 лет и почвы под лесом.

Фосфатазная активность хроноряда почв Московской области изменялась во всех горизонтах схожим образом: от пашни повышалась к залежи семи лет, понижалась на 11-летней, достигала максимальной величины на залежи 20 лет (в горизонте 5-10 см – 35 лет) и уменьшалась к почве под лесом. Наименьшие значения в хроноряду выявлены на пашне и залежах семи и 11 лет, причем разница между верхним и нижним горизонтами не превышает пяти раз, тогда как на объектах с наибольшими значениями фосфатазной активности (залежи 20 и 35 лет и вторичный лес) эта разница достигает 60 раз.

В ходе исследования выявлена закономерность: пероксидазная и полифенолоксидазная активность была выше в нижних горизонтах 10-20 и 20-30 см, тогда как фосфатазная – выше в верхних горизонтах 0-5 и 5-10 см (кроме почвы пашни).

Расчет парных коэффициентов корреляции между изучаемыми параметрами показал, что для горизонта 0-5 см наблюдалась тесная корреляция между величинами  $V_{\text{basal}}$  и ППВ ( $R^2 = 0.9$ ;  $P = 0.004$ ), а также  $C_{\text{mic}}$  и ППВ ( $R^2 = 0.85$ ;  $P = 0.009$ ).

В горизонте 5-10 см выявлена весьма тесная корреляция между величинами  $V_{\text{basal}}$  и  $C_{\text{mic}}$  ( $R^2 = 0.98$ ;  $P < 0.001$ ); а также высокая корреляция между  $V_{\text{basal}}$  и ППВ ( $R^2 = 0.81$ ;  $P = 0.01$ ) и  $C_{\text{mic}}$  и ППВ ( $R^2 = 0.78$ ;  $P < 0.02$ ).

В целом, по профилю (0-30 см) наблюдается высокая корреляция между  $V_{\text{basal}}$  и ППВ ( $R^2 = 0.82$ ;  $P < 0.001$ ).

Прекращение хозяйственной деятельности на пахотных почвах и их перевод в залежные приводит к естественному возобновлению луговой и лесной растительности. Накопление в верхних горизонтах почвы легкодоступных органических соединений вызывает повышение фосфатазной активности, тогда как активность оксидоредуктаз усиливается с глубиной. В верхних горизонтах 0-5 и 5-10 см восстановительная сукцессия приводит к усилению дыхательной активности почв и заметному увеличению в них пула углерода, иммобилизованного в микробной биомассе. При этом из-

за проявления процессов подзолообразования при развитии лесной растительности в нижних горизонтах 10-20 и 20-30 см происходит заметное увеличение кислотности, что влечет за собой снижение биологической активности и уменьшение содержания микробного углерода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 12-04-00201а и 12-05-00198а), гранта Научная школа НШ-6123.2014.4 и program KONTAKT II of the Czech Ministry of Education, Youth and Sports.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Ананьева Н.Д., Полянская Л.М., Сусьян Е.А.* и др. Сравнительная оценка микробной биомассы почв, определяемой методами прямого микроскопирования и субстрат-индуцированного дыхания // Микробиология, 2008. Т. 33. № 3. С. 404-412.

*Ананьева Н.Д., Стольникова Е.В., Сусьян Е.А., Ходжаева А.К.* Грибная и бактериальная микробная биомасса (селективное ингибирование) и продуцирование  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$  дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биоценозов // Почвоведение, 2010. № 11. С. 1387-1393.

*Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

*Раськова Н.В.* Активность и свойства пероксидазы и полифенолоксидазы в дерново-подзолистых почвах под лесными биоценозами // Почвоведение, 1995. № 11. С. 1363-1368.

*Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

*Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Демкин В.А.* Фосфатная активность современных и погребенных каштановых почв волгодонского междуречья // Почвоведение, 2012. № 4. С. 478-483.

*Anderson J., Domsch K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem., 1978. Vol. 10. P. 215-221.

### ПОЧВЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПАРЦЕЛЛАХ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ХВОЙНЫХ ПОРОД СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

**Н.А. Низовцев<sup>1</sup>, А.А. Дымов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: aadymov@gmail.com

Лесные почвы изучены достаточно подробно, но при этом крайне редко учитывается влияние отдельных деревьев на свойства почв (Чертов, 1983; Орлова и др., 2011). Недостаточно изученным остается влияние отдельных древостоев в ненарушенных ландшафтах на свойства почв и состав почвенного органического



го вещества. В настоящее время происходит изменение взглядов на состав и пространственную организацию почвенного органического вещества (ПОВ) (Kögel-Knabner, Amelung, 2014; Sutton, Sposito, 2005). Среди современных методов выделения, фракционирования, анализа структуры и функций органических макромолекул центральное место занимает совокупность хроматографических методов (Hutta et al., 2011). При минимальном деструктивном воздействии они позволяют разделить и выделить из гетерогенной совокупности компоненты, обладающие молекулярной однородностью по строго контролируемому признаку (Милановский, 2009). Для среднетаежных почв, формирующихся в условиях промывного водного режима, важной характеристикой ПОВ является возможность проявлять амфифильные свойства, поскольку основной транспорт органических веществ протекает под действием водных растворов.

Цель данной работы – изучение морфологических особенностей почв, содержания амфифильных фракций органического вещества (ОВ) верхних горизонтов лесных почв, формирующихся в различных древесных парцеллах.

В качестве объектов исследования выбраны почвы, развивающиеся в автоморфных (хорошо дренируемых) позициях рельефа в подзонах средней тайги Республики Коми. Все исследуемые разрезы заложены на территориях, испытывающих минимальное антропогенное воздействие, которые являются эталонами девственных экосистем республики. Три разреза были заложены в Усть-Куломском р-не в коренном ельнике чернично-зеленомошном (парцеллы пихты, ели, межкрановое пространство), гранулометрический состав почв – пылеватые суглинки. Разрез в парцелле лиственницы (на песчаных отложениях) заложен в заказнике «Удорский». Два разреза характеризуют парцеллы сосны – сосняк бруснично-зеленомошный на песках, подстилаемых суглинками (Прилузский р-н), и сосняк лишайниковый на песчаных отложениях (Сыктывдинский р-н). Химический анализ почв выполнен классическими методами анализа. Общее содержание углерода и азота – на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba). Обменные катионы извлекали ацетатно-аммонийной вытяжкой (рН 7) с последующим определением на атомно-эмиссионном спектрофотометре ICP Spectro ciros. рН водной и солевой суспензий находили потенциметрически. Для разделения гумусовых веществ (ГВ) по способности вступать в гидрофобные взаимодействия использовали метод жидкостной хроматографии гидрофобного взаимодействия (ХГВ). Подробно методика определения описана нами ранее (Дымов, Милановский, 2014). Согласно публикации (Милановский,

2009), можно предположить, что первые две фракции представлены наиболее гидрофильными и реакционно-активными веществами (преимущественно низкомолекулярные соединения и фульвокислоты), третий и четвертый пики связаны с компонентами ГВ, образующимися в результате разложения органических остатков *in situ* (вероятно, являются продуктами деструкции лигнино- и целлюлозоподобных соединений), пятый пик – органическими комплексными соединениями железа и алюминия.

По основным физико-химическим свойствам исследуемые почвы близки между собой. Почвы сильнокислые, минимальное значение pH наблюдается в нижней части подстилок либо в элювиальных горизонтах. Минимальные значения pH в органогенных горизонтах выявлены в парцелле лиственницы, наибольшие – в подстилке пихтовой парцеллы. Обменные катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  аккумулируются в подстилках, в минеральных горизонтах их количество значительно меньше. Наиболее высокие концентрации обменного кальция и магния выявлены в опаде пихты, минимальные – в опаде сосновых парцелл, что совпадает с данными (Лукина и др., 2010). Основные количества азота и углерода сосредоточены в подстилках. Содержание углерода изменяется от 32 до 47%. Высокие концентрации углерода характерны для компонентов свежего растительного опада (подгоризонты L) и разлагающейся древесины. Верхние минеральные горизонты текстурно-дифференцированных почв содержат большее количество органического углерода (от 1.0 до 3.2%). В почвах на песчаных отложениях, расположенных в сосновых и лиственничной парцеллах, концентрации углерода составляют 0.12-0.80%. Для большинства исследуемых почв характерно плавно убывающее профильное распределение углерода. В нижних минеральных горизонтах углерода крайне мало.

Анализ относительного содержания молекулярно-гомогенных фракций органического вещества позволил выявить сходства и различия лабильного ОВ в почвах исследуемых парцелл. Основным фактором, обуславливающим различия, является состав растений напочвенного покрова и опада, поступающих на поверхность почвы. Максимальное содержание гидрофильных фракций было выявлено для образцов подстилок, формирующихся под моховыми и кустарничковыми подстилками. Вероятно, это определяется выделением гидрофильных органических соединений мхами и кустарничками. Для большинства исследуемых почв органическое вещество характеризуется близким соотношением отдельных фракций. Для всех почв максимальная степень гидрофильности выявлена в нижних подгоризонтах подстилок (гор. О(Н) и

O(F+N). Именно в этих горизонтах продуцируется максимальное количество способных к миграции в водных растворах органических соединений (фракции 1 и 2). На содержание и распределение органических компонентов в минеральных горизонтах профиля оказывает влияние механический состав почвообразующих пород. Основное отличие органических компонентов минеральных горизонтов заключается в возрастании доли пятой фракции, связанной с железом и алюминием. В большинстве исследуемых почв максимальная доля этих фракций сосредоточена в иллювиальных горизонтах. Концентрации фракции, связанной с железом и алюминием, в существенной степени определяются возможностью закрепления органических соединений на минеральной матрице. Основная специфика распределения данной фракции в минеральных горизонтах заключается в отличиях почвообразующих пород. В минеральных горизонтах почв, формирующихся на песках и супесях, ее концентрация несколько ниже по сравнению с почвами на суглинистых отложениях. В горизонтах с высоким содержанием конкреций содержание пятой фракции существенно возрастает. Вероятно, концентрации пятой фракции в существенной степени определяются доступностью способных к связыванию ионов железа и алюминия. Выявлено, что концентрации наиболее гидрофильных органических соединений связаны с составом опада (Дымов, Низовцев, 2015). Показано, что компоненты растительного опада различаются по содержанию амфифильных фракций. Наиболее высока доля гидрофильных соединений в разлагающейся древесине, хвое ели и пихты.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ (13-04-00570-а) и гранта Президента РФ МК-2905.2015.4.

#### ЛИТЕРАТУРА

Дымов А.А., Милановский Е.Ю. Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение, 2014. № 1. С. 39-47.

Дымов А.А., Низовцев Н.А. Амфифильные свойства почвенного органического вещества в парцеллах преобладающих хвойных деревьев средней тайги // Теоретическая и прикладная экология, 2015. № 1. С. 28-34.

Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность // Лесоведение, 2010. № 5. С. 45-56.

Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофильно-гидрофобные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.

Орлова М.А., Лукина Н.В., Камаев И.О. и др. Мозаичность лесных биогеоценозов и продуктивность почв // Лесоведение, 2011. № 6. С. 39-48.

*Чертов О.Г.* Математическая модель экосистемы одного растения // Журн. общ. биол., 1983. Т. 44. С. 406-414.

*Hutta M., Gora R., Halko R., Chalanyova M.* Some theoretical aspects in the separation of humic substances by combined liquid chromatography methods // J. of Chromatography A, 2011. № 1218. P. 8946-8957.

*Kögel-Knabner I., Amelung W.* Dynamics. Chemistry and Preservation of Organic Matter in Soils // Treatise on Geochemistry. Second Edition. Vol. 12. Oxford: Elsevier, 2014. P. 157-215.

*Sutton R., Sposito G.* Molecular structure in soil Humic Substances: The new view // Environmental science and technology, 2005. № 23. Vol. 39. P. 9009-9015.

## ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РУБОК ГЛАВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

**О.В. Никифорова<sup>1</sup>, Е.М. Перминова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [olga-nikiforova-1992@mail.ru](mailto:olga-nikiforova-1992@mail.ru)

На изменение условий среды особенно существенно влияют сплошнолесосечные рубки. При этом происходит практически полное сведение древесной растительности, что влечет за собой ряд экологических изменений – смену гидрологического режима, увеличение альбедо, изменение гидротермического режима почв, дополнительное поступление большого количества древесного опада, развитие процессов заболачивания. Все это определяет проявление соответствующей ответной реакции почвы как биокосного тела, направленной на сохранение и поддержание выполнения биосферных функций (Дымов, Лаптева, 2011). Характерным показателем таких преобразований является изменение биохимической активности почв.

В настоящем сообщении приводятся данные по изучению инвертазной и каталазной активности почв. Фермент инвертазы относится к группе глюкозидгидролаз (гидролазы). Инвертаза катализирует реакцию гидролиза сахарозы до глюкозы и фруктозы. Она присутствует во всех почвах и является одним из важных ферментов, характеризующих биологическую активность почв. Уровень инвертазной активности отражает содержание в почве легкогидролизуемых углеводов, которые служат энергетическим материалом для всех почвенных гетеротрофов (Титова и др., 2011). С другой стороны, в процессе синтеза гумусовых веществ основ-

ную роль играют окислительно-восстановительные реакции. Скорость их протекания в почве регулируют ферменты, относящиеся к классу оксидоредуктаз. Один из таких ферментов – каталаза. Она разлагает ядовитую для клеток перекись водорода, образующуюся в процессе дыхания живых организмов и в результате различных биохимических реакций окисления органических веществ, на воду и молекулярный кислород (Хазиев, 2005).

Цель работы – выявление закономерностей изменения инвертазной и каталазной активности подзолистых суглинистых почв в результате проведения сплошнолесосечных рубок среднетаежных еловых лесов.

Объектами исследования послужили подзолистые суглинистые почвы стационарных участков (Усть-Куломский р-н, Республика Коми), представляющих собой коренной ельник (участок ПП-1) и мелколиственный молодняк, сформировавшийся после рубки, проведенной в зимний период 2001-2002 гг. (участок ПП-2). Детальная характеристика участков и их почвенно-растительного покрова представлена в работах (Путеводитель..., 2007; Дымов и др., 2012). Для изучения ферментативной активности использовали органогенные горизонты почв с разделением их на подгоризонты **A0(L)**, **A0(F)**, **A0(H)** и **располагающийся под лесной подстилкой минеральный горизонт A2(g)**. **Пробы почв отбирали на каждом выделенном участке в течение весенне-летнего периода 2008, 2009, 2010, 2011 гг. в 9-10-кратной повторности. Готовили смешанные образцы для каждого подгоризонта и горизонта. Активность ферментов определяли в воздушно-сухих образцах почв в трехкратных повторностях: газометрическим методом – каталазную активность, методом Купревича и Щербаковой – инвертазную (Хазиев, 2005).**

Как видно из полученных нами данных (табл. 1), верхние горизонты исследованных почв имеют определенные различия в параметрах ферментативной активности. Во всех почвах максимальной ферментативной активностью отличаются органогенные горизонты (A0), в которых в почвах таежных лесов концентрируется основная масса микроорганизмов (Фомичева и др., 2006). В минеральном подзолистом горизонте всех почв ферментативная активность значительно ниже во все сроки отбора по сравнению с органогенными горизонтами (лесной подстилкой).

Как и для любой биохимической реакции, для гидролиза сахарозы под воздействием инвертазы в почве необходим определенный оптимум температурных условий и условий увлажнения. Именно этими климатическими параметрами можно объяснить разницу в проявлении инвертазной активности в подгоризонтах и

Таблица 1

**Активность фермента инвертазы в среднетаежных подзолистых почвах  
коренного ельника и вырубки 2001-2002 гг.,  
мг глюкозы / 1 г почвы за 24 ч. (по данным 2009 г.)**

Горизонт почвы	Коренной еловый лес				Вырубка 2001-2002 гг.			
	Июнь	Июль	Август	Октябрь	Июнь	Июль	Август	Октябрь
A0(L)	20.6	22.9	13.78	18.1	16.26	16.06	18.4	17.4
A0(F)	24.0	24.4	13.3	23.1	20.8	18.1	37.6	17.9
A0(H)	25.2	21.3	20.4	21.1	22.3	23.1	24.8	24.9
A2(g)	2.4	2.8	3.7	2.1	1.7	2.4	3.0	2.5

горизонтах в течение летне-осеннего периода на обоих участках. Как видно из таблицы, наиболее благоприятные условия на рассмотренных нами участках складывались в разное время: в почвах коренного ельника – в июне-июле, в почве вырубки – в августе. Снижение инвертазной активности в почве коренного ельника в августе связано с особенностями погодных условий летнего периода 2009 г. Недобор осадков и высокие температуры воздуха обусловили дефицит влаги в верхних подгоризонтах лесной подстилки подзолистой почвы и, соответственно, снижение в ней микробиологической активности.

На вырубке отмечена прямо противоположная картина. Инвертазная активность в августе повышается по сравнению с июнем и июлем в 1.1-2.1 раза. По всей видимости, некоторый рост температуры по сравнению со средней многолетней температурой и значительный недобор осадков в августе 2009 г. способствовали активному иссушению почв и испарению избытка влаги из почвы вырубки. Это обусловило создание благоприятных условий для функционирования почвенной биоты и активизации микробиологических процессов, что нашло свое отражение в существенном возрастании инвертазной активности.

Интенсивность проявления каталазной активности была ниже в июне-июле 2009 г. и значительно выше в августе и октябре. Как отмечалось ранее, каталаза – это фермент, относящийся к классу оксидоредуктаз. Для его эффективной работы необходимы оптимальные условия влажности. Несмотря на то, что в июне фиксировалось небольшое повышение количества осадков, невысокие показатели этого фермента, возможно, связаны с переувлажнением почвы тальми водами, что препятствует эффективному проявлению каталазной активности почвы. Что касается июля, то в данном случае наблюдается значительное повышение количества осадков, что, в свою очередь, снижает ферментативную активность каталазы. В августе количество осадков резко снижает

Таблица 2

**Активность фермента каталазы в среднетаежных подзолистых почвах  
коренного ельника и вырубке 2001-2002 гг., см<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/1 г почвы за 1 мин.  
(по данным за 2009 г.)**

Горизонт почвы	Коренной еловый лес			Вырубка 2001-2002 гг.		
	Июнь	Август	Октябрь	Июнь	Август	Октябрь
O1	1.9±0.8	5.3±0.3	7.9±0.8	3.0±1.3	4.9±0.3	3.6±0.5
O2	2.3±0.8	6.0±0.9	5.3±0.6	1.6±0.5	4.4±0.5	4.7±1.0
O3	3.1±1.0	5.4±0.9	5.7±0.6	1.9±0.3	4.3±0.8	2.8±0.5
A2(g)	0.4±2.1	1.8±0.2	1.4±0.4	0.4±0.4	2.4±0.4	0

ся, при этом до конца осени сохраняются благоприятные температурные условия (температура выше нормы на 1-2 °С), все это способствует более интенсивной работе микробного комплекса и более активному выделению фермента каталазы.

На вырубке 2001-2002 гг. сохраняются те же тенденции в сезонной динамике, что и в коренном лесу – в осенний период каталазная активность во всех горизонтах почвы повышается (табл. 2). Однако если в начале летнего периода почвы коренного ельника и вырубки практически близки по величине каталазной активности, то осенью между ними прослеживается существенная разница. В почве участка ПП-1 микробиологические процессы протекают более активно в подгорizontах свежего опада (A0(L) и гумификации (A0(H)), они характеризуются величинами каталазной активности 5.3-7.9 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/г за 1 мин. В почве вырубки участка ПП-2 максимальный уровень каталазной активности определяются величиной 4.7±1.0 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/г за 1 мин., что практически в 1.5 раза ниже по сравнению с максимальным уровнем каталазной активности в почве коренного ельника.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-П-4-1065 «Взаимосвязь структурно-функциональной и пространственно-временной организации почвенной биоты с динамическими аспектами изменения подзолистых почв и почвенного органического вещества в процессе естественного восстановления таежных экосистем европейского Северо-Востока после рубок главного пользования».

#### ЛИТЕРАТУРА

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

Дымов А.А., Лаптева Е.М. Влияние рубок главного пользования на изменение температурного режима среднетаежных подзолистых почв

Республики Коми // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Матер. IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием по лесному почвоведению. Апатиты, 2011. Ч. 1. С. 77-81.

Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги) / Под ред. Г.А. Симонова. Сыктывкар, 2007. 84 с.

Титова В.И., Дабахова Е.В., Дабахов М.В. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: Учебное пособие для вузов. Нижний Новгород: Изд.-во ВВАГС, 2011. 170 с.

Фомичева О.А., Полянская Л.М., Никонов В.В. и др. Численность и биомасса почвенных микроорганизмов в коренных старовозрастных северо-таежных еловых лесах // Почвоведение, 2006. № 12. С. 1469-1478.

Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

## ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВАЛА НА ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЯ ЮЖНОТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А.Ф. Осипов<sup>1</sup>, А.В. Манов<sup>1</sup>, М.Н. Ковалев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup> Центр защиты леса Республики Коми

E-mail: osipov@ib.komisc.ru

Для таежной зоны ветровалы являются естественным фактором, вызывающим катастрофические, но обратимые сукцессии насаждений. Недостаток сведений об их влиянии на лесные экосистемы негативно сказывается на понимание механизмов формирования фитоценозов и воспроизводства лесных растительных ресурсов (Šebkova et al., 2012). Влияние ветровалов на структуру, строение, радиальный прирост древостоев таежной зоны показано в работах В.Г. Суховольского с соавторами (2011), Ю.М. Алесенкова с соавторами (2013), Г.В. Андреева с соавторами (2013) и др. Работы по оценке потерь органического вещества древостоем на ветровалах отсутствуют. По данным филиала ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Республики Коми» (ЦЗЛ РК), с 2005 по 2014 г. ветровалами в Республике Коми пройдено 44.4 тыс. га насаждений. Наибольшая интенсивность ураганных ветров наблюдалась в 2010 г., когда на территории лесного фонда выявлены повреждения площадью около 25 тыс. га. Более половины древостоев, подвергшихся ветровалам, представлены ельниками (52%), на долю сосняков, осинников и березняков приходится по 16%.

Цель данной работы – оценка потерь органического вещества древесным ярусом южнотаежного ельника, подвергнувшегося ветровалу в 2010 г.



Исследования проведены в Летском участковом лесничестве Прилузского р-на Республики Коми (59°31'45.9" с.ш., 49°21'19.8" в.д.). Исходное насаждение представлено ельником зеленомошным. В 2010 г. произошел ветровал. Летом 2014 г. заложена пробная площадь, на которой проведен сплошной переучет деревьев, подроста и валежа. Таксационная обработка полученного материала выполнена стандартными методами. Запасы органического вещества в древостое определяли по уравнениям зависимости отдельных фракций фитомассы от диаметра дерева (Бобкова, 2001).

Древесный ярус исследованного хвойно-лиственного насаждения, пройденного ветровалом, сложный по составу, имеет густоту 600 экз. га<sup>-1</sup> и сформирован березой, елью и пихтой (табл. 1), запасает 90 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup> древесины, имеет полноту 0.4. Много сухостойных деревьев с запасом древесины 81 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>, что составляет 90% от объема древесины в растущих деревьях.

В табл. 2 приведены результаты, характеризующие количество деревьев и запасы древесины в валеже разных стадий разложения. Количество упавших деревьев составляет 400 экз. га<sup>-1</sup> с запасом древесины в них 190 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>. Валеж представлен главным образом (75 %) деревьями ели разных стадий гниения, в которых сконцентрировано 146.5 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup> древесины. Береза и пихта по количеству формируют валеж в равных долях, однако их вклад в общие запасы различный и составляет 15 и 8% соответственно. В распределении валежа по классам деструкции древесины отмечено значительное участие деревьев второй стадии гниения, что обеспечивает 67-69% от общего объема древесины и количества деревьев. Существенна доля участия в валеже деревьев четвертой стадии гниения (25% по числу деревьев и 32 – по запасу).

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоя после ветровала. Состав древостоя – 4Б5З3Пх

Порода	Возраст, лет	Количество деревьев, экз. га <sup>-1</sup>		Запас древесины, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>		Площадь сечений деревьев, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Полнота	Средний диаметр, см	Средняя высота, м
		Растущих	Сухих	Растущих	Сухих				
Ель	75-87	75	100	26.6	80.7	2.5	0.08	17.1	12.6
Пихта	47-101	475	25	23.9	0.2	4.3	0.21	10.0	7.5
Береза	126	50	Не выявлено	39.5	Не выявлено	3.6	0.11	30.4	23.2
Итого		600	125	90.0	80.9	10.35	0.40		

Таблица 2

## Количество деревьев и запасов древесины в валеже после ветровала

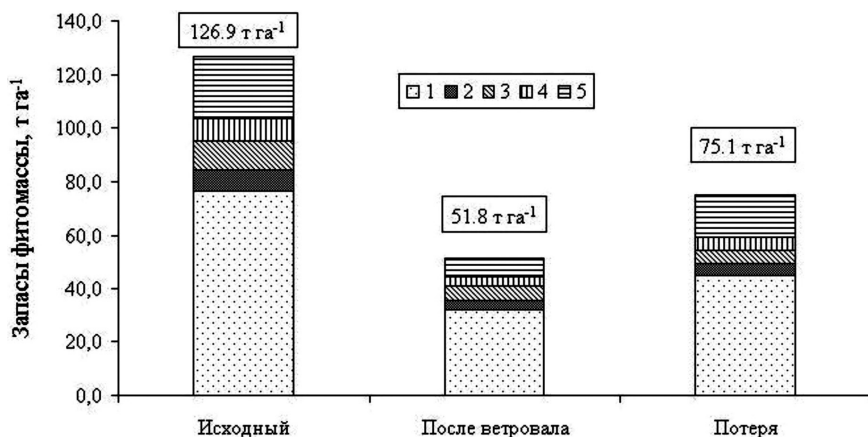
Порода	Количество деревьев, экз. га <sup>-1</sup>				Запас древесины, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>			
	Стадия гниения				Стадия гниения			
	2	3	4	Итого	2	3	4	Итого
Ель	225	–	75	300	100.6	–	45.9	146.5
Пихта	25	25	–	50	13.8	0.9	–	14.7
Береза	25	–	25	50	13.4	–	15.1	28.5
Итого	275	25	100	400	127.8	0.9	61.0	189.6

Примечание. Прочерк – не выявлено.

Для оценки потерь органического вещества древесного яруса в результате ветровала в ельнике южной тайги провели реконструкцию исходной густоты древостоя и запасов древесины. Деревьями, выпавшими в результате ветровала, считали валеж второй стадии разложения. Согласно В.Г. Стороженко (2007), к ней относятся валеж, у которого форма ствола не изменилась, кора опада (частично или полностью), сохранились ветви первого-второго порядков. Эти признаки свидетельствуют о недавнем выпадении деревьев. Исходный древостой густотой 875 экз. га<sup>-1</sup> располагал объемом древесины в 218 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup> и имел состав древостоя до ветровала 6Е2Б2Пх. Масса растущих органов древесных растений исходного ельника зеленомошного составляла 127 т га<sup>-1</sup>. Наибольший вклад в формирование органического вещества вносили стволовая древесина и корни (60 и 18% соответственно). Участие коры, ветвей и ассимилирующих органов составляло 6-8%.

Выявлено, что в древесном ярусе лиственно-хвойного насаждения, подвергнувшегося ветровалу, сосредоточено 52 т га<sup>-1</sup> органического вещества (см. рисунок), большая часть которого находится в древесине ствола. Участие ветвей составляет 10%, корней – 14, коры и листьев – по 7.5%. Небольшие запасы органического вещества древесного яруса обусловлены тем, что его формируют в основном тонкомерные деревья пихты.

Таким образом, потеря органического вещества древесным ярусом ельника зеленомошного составила 75 т га<sup>-1</sup>, большая часть которого (60%) приходится на древесину ствола. В настоящее время использование этой древесины нецелесообразно. Нашими исследованиями показано, что базисная плотность (т.е. содержание абсолютно сухого вещества в единице объема) здоровой древесины ели составляет 0.42 г см<sup>-3</sup>, а древесины ели на второй стадии разложения – 0.33 г см<sup>-3</sup>. На второй стадии гниения древесины отмечены активные процессы деструкции – зарастание стволов мхами, наличие на них плодовых тел древоразрушающих грибов. Следо-



Запасы органического вещества в древесных растениях ельника зеленомошного до и после ветровала: 1 – древесина ствола; 2 – кора; 3 – ветви; 4 – листья (хвоя); 5 – корни. В рамке – общее количество.

вательно, вывоз погибших стволов деревьев, подвергшихся ветровалам насаждений, необходимо проводить сразу после ветровала.

Работа выполнена при поддержке гранта Русского географического общества «Оценка эффективности лесовозобновления и динамики органического вещества на ветровалах таежной зоны в Республике Коми».

#### ЛИТЕРАТУРА

Алесенков Ю.М., Андреев Г.В., Иванчиков С.В. Строение по запасу послеветровального ельника хвощово-мелкотравного // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013. № 1 (99). С. 60-64.

Андреев Г.В., Алесенков Ю.М., Иванчиков С.В. Рост по диаметру березы, ели и сосны и приросты поврежденной и неповрежденной ели в длительно-производном травяно-зеленомошном березняке // Лесная таксация и лесоустройство, 2013. № 2 (50). С. 18-23.

Бобкова К.С. Еловые леса // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб., 2001. С. 52-67.

Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. Тула: Гриф и К, 2007. 192 с.

Суховольский В.Г., Овчинникова Т.М., Сотниченко Д.Л., Мочалов С.А. Сукцессии в лесных ценозах: модели конкуренции за ресурс после ветровала // Хвойные бореальной зоны, 2011. № 3-4. С. 280-287.

Šebkova B., Šamonil P., Valtera M. et al. Interaction between tree species populations and windthrow dynamics in natural beech-dominated forest, Czech Republic // Forest Ecology and Management, 2012. Vol. 280. P. 9-19.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ СРЕДНЕТАЕЖНОГО СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

**А.Ф. Осипов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Интенсивность выделения диоксида углерода с поверхности почвы является важным показателем углеродного цикла наземных экосистем (Schlesinger, Andrews, 2000). Оценка ее выноса является актуальной задачей, так как данный процесс имеет фундаментальное значение в функционировании биосферы Земли. Во-первых, необходим прогноз накопления в атмосфере парниковых газов, которые приводят к изменению климата на планете (Schindlbacher et al., 2012); во-вторых, с выделением  $\text{CO}_2$  обеспечивается возврат его в атмосферу, который необходим для осуществления биопродукционных процессов наземных экосистем (Ваганов и др., 2005). Кроме того, эмиссия диоксида углерода служит интегральным показателем, характеризующим круговорот веществ и плодородие почв лесных биогеоценозов (Карпачевский, 1981). В связи с огромным разнообразием растительности России необходимы исследования дыхания почвы в разных типах экосистем для накопления банка зональных данных для моделей эмиссии  $\text{CO}_2$  и изучения факторов ее пространственной дисперсии (Карелин и др., 2014).

Цель исследования – определить эмиссию диоксида углерода с поверхности торфянисто-подзолистой почвы спелого сосняка черничного средней тайги в зависимости от температуры и влажности почвы.

Исследования проведены в спелом сосняке черничном, расположенном в подзоне средней тайги Республики Коми на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°01'20.5" с.ш., 50°28'18.2" в.д.). Древостой сосняка черничного сформирован преимущественно сосной с незначительной примесью березы и ели, имеет состав 9С1Б+Е, IV класса бонитета. Густота деревьев – 1195 экз. га<sup>-1</sup>, запас древесины – 220 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Vaccinium myrtillus* L., встречаются *Vaccinium vitis-idaea* L., *Empetrum nigrum* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Carex globularis* L. Моховой покров сплошной, состоит из *Pleurozium schreberi* (Brid.), *Dicranum polysetum* Sw., отдельными пятнами отмечены *Polytrichum commune* L. и сфагновые мхи (*Sphagnum* sp.). Почва –

торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-железистая песчаная, подстилаемая с глубины 60 см суглинками. Мощность органического горизонта –  $10 \pm 2$  см,  $pH_{H_2O}$  – 3.7, содержание углерода в нем – 46%. Запасы углерода в лесной подстилке составляют  $25 \pm 1.9 \cdot 10^2$  г м<sup>-2</sup>.

Измерение эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы (включая подстилку) проводили в течение вегетационных периодов 2012 и 2013 гг. При измерении потока CO<sub>2</sub> использовалась открытая динамическая (принудительной продувки) камера инфракрасного газоанализатора (ИКГ) LI-COR 8100. Температуру почвы измеряли датчиками фирмы НОВО (США), установленными на глубинах 5, 10, 20, 40 см. Для характеристики температурной зависимости эмиссии CO<sub>2</sub> применяли коэффициент Q<sub>10</sub>, который рассчитывали по формуле:

$$Q_{10} = \exp(10k), \quad (1)$$

где Q<sub>10</sub> – температурный коэффициент, k – коэффициент уравнения зависимости выделения CO<sub>2</sub> от температуры почвы.

Расчет величины среднесуточного потока CO<sub>2</sub> осуществляли по уравнению (Davidson et al., 2006):

$$SR = R_{10^\circ C} \times Q_{10}^{(T - 10)/10}, \quad (2)$$

где SR – среднесуточная эмиссия CO<sub>2</sub>, г С м<sup>-2</sup>, R<sub>10°C</sub> – эмиссия CO<sub>2</sub> при 10 °С, г С м<sup>-2</sup> сут<sup>-1</sup>; Q<sub>10</sub> – температурный коэффициент; T – среднесуточная температура почвы на глубине 10 см, °С.

Влажность почвы определяли во время измерений эмиссионных потоков весовым методом на глубинах 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 см в пятикратной повторности и высушивались до абсолютно сухого состояния при температуре 105 °С. Используя данные по гравиметрической влажности образцов, объемного веса лесной подстилки и минеральной толщии почвы, определяли их объемную влажность. Статистическая обработка данных выполнена с использованием программ Microsoft Excell и Statistica (StatSoft, США). Для оценки тесноты связи между температурой, влажностью почвы и интенсивности эмиссии CO<sub>2</sub> с ее поверхности применяли коэффициент корреляции Пирсона, которая считалась значимой при  $p < 0.05$ .

Для оценки воздействия гидротермических условий почвы на поток CO<sub>2</sub> с ее поверхности традиционно используют линейные и экспоненциальные регрессионные уравнения. Как показано на рис. 1, взаимосвязь эмиссии диоксида углерода с поверхности торфянисто-подзолисто-глееватой иллювиально-железистой почвы сосняка черничного с ее температурой описывается линейным уравнением вида:

$$SR = 0.007T_s + 0.023, \quad (3)$$

где  $SR$  – эмиссия  $\text{г С м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ,  $T_s$  – температура почвы на глубине 10 см,  $^{\circ}\text{C}$ .

Линейная корреляция между рассматриваемыми параметрами характеризуется как высокая положительная ( $r = 0.71$ ;  $p = 0.000$ ). Температурный коэффициент  $Q_{10}$  составил 1.3. Статистически достоверной взаимосвязи между среднесуточной интенсивностью эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы и влажностью органогенного горизонта на глубине 5-10 см при уровне значимости, равном 0.05, не выявлено ( $r = -0.38$ ;  $p = 0.091$ ) (рис. 2).

Нами был проведен анализ совместного действия температуры и влажности почвы на поток диоксида углерода. Множественная линейная регрессия описывается линейным уравнением вида:

$$SR = 0.007 \times T - 0.0003 \times SM + 0.0121, \quad (4)$$

где  $SR$  – эмиссия  $\text{г С м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ,  $T_s$  – температура почвы на глубине 10 см,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $SM$  – влажность органогенного горизонта на глубине 5-10 см,  $\%$ . Полученное уравнение достоверно при уровне значимости 0.05 ( $p = 0.002$ ), характеризуется коэффициентом детерминации ( $R^2$ ), равным 0.52.

Анализ литературы и наши данные показывают, что в переувлажненных почвах хвойных экосистем таежной зоны основным фактором, лимитирующим эмиссию  $\text{CO}_2$ , является температу-

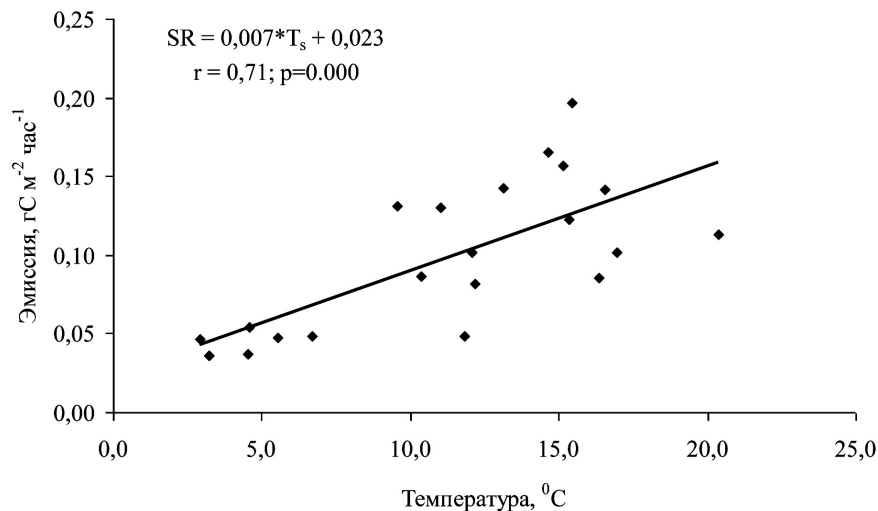


Рис. 1. Зависимость между выделением  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы сосняка черничного и температурой почвы.  $SR$  – эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{г С м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ;  $T_s$  – температура почвы на глубине 10 см,  $^{\circ}\text{C}$ .

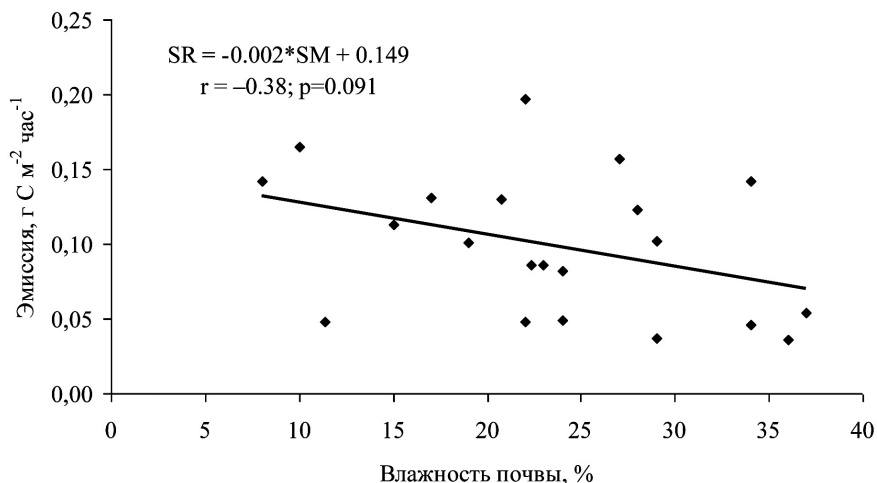


Рис. 2. Зависимость между выделением  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы сосняка черничного и влажностью почвы. SR – эмиссия  $\text{CO}_2$ ,  $\text{г С м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ; SM – объемная влажность лесной подстилки в слое 5-10 см, %.

ра почвы. По К.С. Бобковой (1987), переувлажнение органогенного горизонта полугидроморфных почв сосняков способствует снижению доли газовой фазы и, следовательно, концентрации кислорода в почвенном воздухе, что, в свою очередь, негативно влияет на функционирование деструкторов органического вещества и подземных органов растений. Поэтому уменьшение запасов влаги в лесной подстилке приводит к активации жизнедеятельности микроорганизмов и функционирования корней растений. Следствием этого является повышение скорости выделения диоксида углерода.

Расчет величины выноса диоксида углерода с поверхности почвы сосняка проводили при помощи уравнения 2 и данных по динамике температуры почвы на глубине 10 см. Выявлено, что в течение вегетационного периода 2012 г. в атмосферу выделилось  $283 \pm 14$ , а в 2013 г. –  $324 \pm 21$   $\text{г С м}^{-2}$ . В течение вегетации 2013 г., когда отмечались более благоприятные для процессов деструкции растительных остатков погодные условия (относительно высокая температура воздуха, небольшое количество осадков), фиксировалось более интенсивное выделение диоксида углерода.

#### ЛИТЕРАТУРА

Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.

*Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В.* и др. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал, 2005. № 4. С. 631-650.

*Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л.* Факторы пространственно-временной изменчивости потоков CO<sub>2</sub> из почв южнотаежного ельника на Валдае // Лесоведение, 2014. № 4. С. 56-66.

*Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесная пром-ть, 1981. 264 с.

*Davidson E.A., Belk E., Boone R.D.* Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest // Global Change Biology, 1998. Vol. 4. P. 217-227.

*Schindlbacher A., Wunderlich S., Borken W.* et al. Soil respiration under climate change: prolonged summer drought offsets soil warming effects // Global Change Biology, 2012. Vol. 18. P. 2270-2279.

*Schlesinger W.H., Andrews J.A.* Soil respiration and the global carbon cycle // Biogeochemistry, 2000. Vol. 48. P. 7-20.

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ БАКТЕРИАЛЬНО-ГРИБНОГО КОМПЛЕКСА В ПРОЦЕССЕ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА

**Е.М. Перминова, В.А. Ковалева**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [perminova\\_83@mail.ru](mailto:perminova_83@mail.ru)

Основным антропогенным фактором, приводящим к деградации природных систем в подзоне средней тайги, является промышленная заготовка древесины. Сведение древесного яруса, использование тяжелой техники приводят к нарушению почвенно-растительного покрова, изменению гидротермических, физико-химических и биотических условий, что сказывается на смене условий функционирования почвенной микробиоты. Необходимо отметить, что важным компонентом блока почвенной микробиоты являются микроскопические грибы (Терехова, 2007). В почвах наземных экосистем они занимают доминирующее положение в структуре микробной биомассы (Регуляторная роль..., 2002). Учитывая значимость микроскопических грибов в функционировании наземных экосистем и их роль в разложении растительного опада (Регуляторная роль..., 2002; Рахлеева и др., 2011; Семенова, 2002), представляет интерес выявление закономерностей их сукцессионной смены в процессе деструкции растительного материала в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки.



Цель настоящей работы – изучение особенностей изменения видового разнообразия микромицетов в процессе разложения растительного опада на вырубках среднетаежных еловых лесов.

Исследования проводили в подзоне средней тайги в 2009–2011 гг. (Усть-Куломский р-н Республики Коми). В качестве объектов исследования выбраны коренной ельник черничный (участок ПП-1) и молодняк первого класса возраста (участок ПП-2), сформировавшийся после проведенной в зимний период 2001–2002 гг. сплошнолесосечной рубки. Детальная характеристика объектов исследования представлена в работах (Дымов и др., 2012; Путеводитель..., 2007).

Интенсивность разложения растительного материала определяли в микрокосмах методом изоляции в капроновых мешочках с размером ячеек 1 мм. Субстратом служила живая часть растений мохового яруса (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum commune* (Hedwig, 1801), *Sphagnum* sp.). Соотношение видов мхов (по массе) на участке ПП-1 составляло 8:1:1, ПП-2 – 2:5:3. Предварительно высушенный до воздушно-сухого состояния растительный материал закладывали в каждом сообществе на период с октября 2009 г. по октябрь 2011 г. Выемку материала (в 10-кратной повторности) проводили через 1, 8, 10, 12, 20, 22 и 24 мес. экспозиции.

Образцы растительных остатков после каждого периода экспозиции высушивали, находили массу, по убыли которой судили об интенсивности разложения растительных остатков в почвах. Из сухих образцов методом газовой хроматографии определялось валовое содержание углерода и азота, методом масс-спектрометрии – содержание металлов, кроме того, из замороженных образцов методом посева почвенной вытяжки на подкисленную среду Чапека и среду Гетчинсона определяли качественный и количественный составы микромицетов. Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием определителей, интерактивных «ключей» и информационного сайта интернет-ресурсов (<http://www.indexfungarum.org>).

Химический состав растительного материала, заложенного на участки коренного ельника и лиственно-хвойного насаждения, по большинству элементов практически идентичен, некоторые различия прослеживаются по содержанию калия, алюминия и азота. Следует отметить, что по величине C/N, которая определяет скорость разложения растительных остатков, использованный нами материал соответствует данным литературы и свидетельствует об их потенциально низкой степени разложения. При этом на участ-

ке ПП-2, несмотря на более высокое содержание политриховых мхов, этот показатель несколько ниже, чем на ПП-1.

Как показали проведенные нами исследования, интенсивность разложения мхов на обоих участках была близка и в среднем составила за двухлетний период экспозиции  $44.1 \pm 3.6\%$  потери массы на участке ПП-1 и  $41.3 \pm 3.4\%$  – ПП-2. Минерализационные процессы наиболее активно протекали в коренном еловом лесу в летне-осенний период 2010 г., на вырубке скорость разложения растительной массы была в 1.7-2.3 раза ниже. Последнее, по всей видимости, связано с выраженным подавлением жизнедеятельности почвенной микробиоты и снижением ее функциональной активности на вырубке в условиях аномально жаркого с недосбором осадков летнего периода в 2010 г. Более благоприятные погодные условия 2011 г., характеризующиеся близкими к среднегодовым показателям температурами воздуха и количеством осадков, способствовали активизации минерализационных процессов на вырубке и выравниванию темпов разложения растительного материала на вырубке и в коренном ельнике.

В совокупности общий список микромицетов, выделенных в разные сроки экспозиции растительного материала в спелом ельнике и на участке, сформировавшемся после рубки (2001-2002 гг), составил 47 видов из 14 родов, относящихся к отделу *Zygomycota* и анаморфным грибам (в том числе один вид стерильной формы мицелия). Подавляющее число видов относится к анаморфным (не-совершенным) грибам – 40 видов из 11 родов, зигомицеты представлены видами родов *Mortierella* и *Mucor*. Таксономический состав микоценозов характеризуется обилием представителей родов *Penicillium* (20 видов), *Trichoderma* (5), *Aspergillus* (4). Виды родов *Mortierella*, *Mucor*, *Cladosporium* представлены тремя видами. Остальные роды имеют по одному виду.

Максимальным разнообразием микромицетов, участвующих в разложении мхов, характеризуется коренной ельник (ПП-1). Здесь выделен 31 вид микроскопических грибов из 12 родов. Следует отметить, что в подзолистых почвах средней тайги комплекс микроскопических грибов представлен, без учета стерильного мицелия, 38-55 видами (Хабибуллина и др., 2014).

В целом, для рассмотренных комплексов микромицетов выявлена высокая видоспецифичность (коэффициент Жаккара 0.29), что обусловлено как различиями в химическом составе растительного материала, закладываемого для проведения эксперимента, так и спецификой микроклиматических и экологических условий, складывающихся под пологом ненарушенного елового леса и на вырубке.

Как показали проведенные нами исследования, в процессе деструкции мхов видовое разнообразие микромицетов на участке ПП-1 варьировало от восьми до 19 видов. В первые сроки экспозиции растительного материала состав комплексов микромицетов определялся 9-11 видами, среди которых доминировали по обилию стерильный мицелий, *Geomyces pannorum*, *Penicillium italicum*.

Максимальным разнообразием (16 видов) отличались пробы 10-20-месячной экспозиции. В эти сроки в посевах основные позиции по обилию занимали *Geomyces pannorum*, *Penicillium implicatum* и *Mortierella alpina*. В конце двухлетнего периода деструкции растительного материала видовое разнообразие микромицетного комплекса снизилось до восьми-девяти видов, среди которых встречались неидентифицированные виды родов *Geotrichum*, *Malbranchea*, а также, как и в первые сроки, стерильный мицелий и *Penicillium italicum*.

В отличие от участка ПП-1, на участке ПП-2 видовое разнообразие микромицетного комплекса снижено практически в два раза. В разные сроки деструкции мхов здесь принимают участие от трех-пяти до 10 видов микромицетов. Более высоким разнообразием мицелиальных грибов (7-10 видов) отличаются пробы первых и последних сроков экспозиции. Из наиболее часто встречающихся следует отметить *Geomyces pannorum*, *Penicillium camemberti*, *P. decumbens*, *P. spiculisorum* и стерильный мицелий.

Таким образом, различия в скорости разложения растительного материала в ненарушенных еловых лесах и производных насаждениях, сформировавшихся на вырубках, наиболее ярко проявляются на первых этапах деструкционного процесса (первый год экспозиции). В среднем за двухлетний период экспозиции интенсивность разложения мхов на участках коренного ельника черничного и лиственнично-хвойного насаждения оказалась близка и составила 40-44% потери массы.

#### ЛИТЕРАТУРА

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

Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги) / Под ред. Г.А. Симонова. Сыктывкар, 2007. 84 с.

Рахлеева А.А., Семенова Т.А., Стриганова Б.Р., Терехова В.А. Динамика зоомикробных комплексов при разложении растительного опада в ельниках южной тайги // Почвоведение, 2011. № 1. С. 44-55.

Регуляторная роль почвы в функционировании таежных экосистем / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М.: Наука, 2002. 364 с.

*Семенова Т.А.* Сукцессия микромицетов на различных естественных субстратах в ходе многолетнего модельного эксперимента // Роль почв в биосфере. М., 2002. Вып. 1. С. 185-201.

*Терехова В.А.* Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: Наука, 2007. 215 с.

*Хабибуллина Ф.М., Кузнецова Е.Г., Васенева И.З.* Микромицеты подзолистых и болотно-подзолистых почв в подзоне средней тайги на северо-востоке европейской части России // Почвоведение, 2014. № 10. С. 1228-1234.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ЭКСТРАКЦИИ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ ПОЧВ

**А.С. Самойлова<sup>1</sup>, Р.С. Василевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Обогащение почвы аминокислотами (АК) происходит в результате разложения растительных и животных остатков, аммонификации гумусовых веществ. Наряду с белковыми в почве постоянно присутствуют свободные АК, которые могут быть извлечены водой, этиловым спиртом, ацетатом аммония и другими экстрагирующими веществами (Иванов, 1973). Несмотря на незначительное содержание в составе органического азота, свободные АК, обладающие высокой биохимической активностью, имеют большое значение для питания растений (Алиева, 2002).

Аминокислотные фрагменты – ключевое звено в построении молекул гумусовых веществ, которые являются основным компонентом органического вещества почвы. Таким образом, моделирование процессов гумусообразования – одна из фундаментальных задач почвоведения, биохимии и экологии. До последнего времени для выделения свободных АК из почв использовалась методика Гильберта-Альтмана с аналитическим окончанием с применением бумажной ионообменной хроматографии, которая была разработана в 60-е гг. XX в. и до сих пор используется многими исследователями с небольшими корректировками (Gilbert, Altman, 1966). Современное развитие аналитических методов исследований позволяет выполнение количественного химического анализа свободных АК с намного большей чувствительностью, что дает возможность по-новому интерпретировать полученные ранее данные и провести актуализацию способов экстракции свободных АК из почв.

Территория исследования находится в Большеземельской тундре Воркутинского р-на Республики Коми с распространением мас-

сивно-островной многолетней мерзлоты. Для эксперимента был отобран образец торфянисто-тундровой глеевой почвы (10-20 см). Метод извлечения АК из почв основан на их хорошей растворимости в полярных растворителях ( $H_2O$ ,  $C_2H_5OH$ ). Проведена экстракция свободных АК 20%-ным этанолом в необходимых для каждого эксперимента соотношениях массы к экстрагенту и навески. Суспензии перемешивали на шейкере при 150 об./мин. в течение 18 ч. После этого содержимое колб центрифугировали при 10 тыс. об./мин. на ультрацентрифуге в течение 12 мин. и отделяли супернатант от осадка фильтрованием через складчатый фильтр «синяя лента». Отфильтрованный образец выпаривали в сушильном шкафу при 40 °С до конечного объема 10-20 см<sup>3</sup> и фильтровали через гидрофильный мембранный фильтр Millipore с размером пор 0.22 мкм. Это вызвано необходимостью ультра очистки проб во избежание засорения колонки и адсорбции АК на заряженной поверхности частичек почвы, что будет значительно искажать аналитические данные. Полностью выпаренный образец растворяли в 5 см<sup>3</sup> цитратно-литиевого буфера (рН = 2.2) и проводили количественный химический анализ, выполненный методом ионной жидкостной хроматографии на приборе ИНГОС-ААА400.

**Определение необходимой массы образца для количественного определения.** В ходе химического анализа идентифицировано 36 АК, среди которых есть достаточно «редкие»: орнитин, аминокислоты и др., и девять сложных эфиров АК.

Для вычисления необходимой навески образца для количественного определения проведен эксперимент при постоянном соотношении массы к объему экстрагента 1:10. На основании проведенного анализа получены хроматограммы содержания отдельных АК в образце торфянисто-тундровой глеевой почвы, из которых для удобства дальнейшей интерпретации большого массива данных объединяли их в группы АК и определили суммарное содержание АК (табл. 1).

Таблица 1

**Количественные характеристики аминокислотного состава торфянисто-тундровой глеевой почвы**

Массовая доля аминокислот, мкг/г					
Масса образца почвы, г	0.5	1	2	5	10
Сумма АК	34.4	68.0	65.6	53.9	49.6
Нейтральные неполярные АК	7.7	18.3	17.2	12.7	12.1
Нейтральные полярные АК	6.1	12.8	7.7	9.0	8.5
Основные АК	0.5	3.9	2.7	1.9	1.3
Кислые АК	20.1	33.0	38.0	30.3	27.7

На основании данных табл. 1 следует, что в торфянисто-тундровой глеевой почве содержится меньше всего основных АК (3.1%) и больше – кислых (39.8%). Это связано с особенностью растительного покрова тундровых ландшафтов, на которых преобладает мохово-лишайниковая растительность, которая среди основных продуктов разложения содержит высокую долю органических кислот и дикарбоновых АК. Максимальная экстракция АК достигается при исходной навеске почвы 1 и 2 г. При этом значения стандартных отклонений в условиях повторяемости для всех определяемых АК имеют низкие значения. Это связано с тем, что основным фактором, определяющим степень извлечения АК, будет соотношение навески образца и объема экстрагента. Соответственно, для проб с малой навеской наблюдается низкий выход минорных АК (аргинин, орнитин и др.).

**Определение необходимого соотношения почвы к экстрагенту.** Для определения наибольшей эффективности извлечения свободных АК из почвы проведен эксперимент при постоянной массе образца почвы 2 г, изменяя соотношение массы к объему. В ходе эксперимента были получены следующие данные (рис. 1).

Из графика следует, что при увеличении объема экстрагента концентрация АК также растет. В связи с незначительной разницей извлечения АК 50 и 100 см<sup>3</sup> экстрагента, с экономической точки было выбрано соотношение 1:50. Из рис. 1 следует, что лучшими показателями извлечения из почвы обладают дикарбоновые АК, вследствие их большей гидрофильности, худшими – основные, которые имеют высокие значения изоэлектрических точек и прочнее связаны с коллоидной фракцией почв.

**Выбор наиболее эффективной концентрации реагента.** Для определения наибольшей эффективности извлечения свободных АК из почв проведен эксперимент при постоянной массе (2 г) и соотношениях массы к объему экстрагента (1:50), но при различных объемных долях экстрагента (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH): 0, 10, 15, 20, 25, 40, 50,

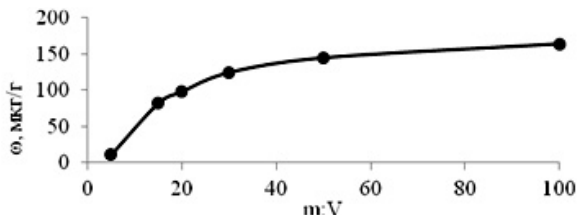


Рис. 1. Зависимость массовой доли суммы АК от соотношения навески почвы к объему экстрагента.

70, 80, 90%. С повышением объемной доли спирта уменьшается степень извлечения свободных аминокислот, вследствие лучшей растворимости АК в воде. Однако при использовании для экстракции воды степень извлечения АК падает на порядок. Наличие спирта в системе подавляет активную деятельность микроорганизмов, использующих в процессе питания углеводы и АК (рис. 2).

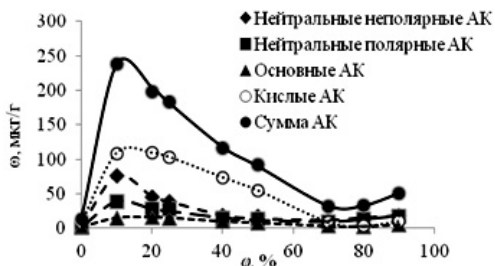


Рис. 2. Зависимость массовой концентрации свободных АК от объемной доли экстрагента φ(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH).

**Определение степени извлечения свободных АК от количества экстракций.** Для определения наибольшей эффективности извлечения свободных АК из почв проведен эксперимент при постоянной массе (2 г) и соотношениях массы к объему экстрагента (1:50), но разного количества экстракций. Дополнительно проводили исследование по использованию ультразвука для увеличения удельной поверхности соприкасающихся фаз. Перед тем как пробы почв с экстрагентом поместить на шейкер, суспензию подвергали ультразвуковому воздействию в течение 5 мин. (табл. 2). Многократное извлечение АК из одной пробы (две-три экстракции) значительно увеличивает выход как суммы свободных АК, так и групп АК: нейтральных полярных и неполярных, дикарбоновых, основных в два-три раза. Количество экстракций также определяет степень извлечения индивидуальных АК (рис. 3). Из табличных данных следует, что использование двукратной экс-

Таблица 2

**Степень извлечения свободных аминокислот от количества экстракций**

Аминокислоты	Массовая доля аминокислот ω, мкг/г						
	Количество экстракций						С УЗ
	Без УЗ						
	1		2		3		2
ω	S	ω	S	ω	S		
Сумма	182	15	208	12	352	18	345
Нейтральные неполярные	45	3	56	2	121	22	126
Нейтральные полярные	34	5	33	2	58	18	78
Основные	16	2	18	2	30	4	12
Кислые	87	5	101	7	143	18	129

тракции с ультразвуком увеличивает степень извлечения АК до 70%. В акустическом поле, наряду со снятием диффузионных ограничений, большое значение для интенсификации процесса оказывает диспергирование и нарушение микцеллярной структуры экстрагируемого вещества в растворителе.

Из рис. 3 видно, что с увеличением кратности экстракции повышается степень извлечения индивидуальных свободных АК.

**Выводы.** 1. Идентифицировано 36 свободных АК и девять сложных эфиров АК в торфянисто-тундровой глеевой почве. Состав свободных АК несколько отличен от АК состава солянокислых гидролизатов почв. 2. Проведена адаптация способа экстракции свободных АК. Установлено, что оптимальные условия извлечения достигаются при исходной навеске почвы 2 г и соотношении объема экстрагента к почве 1:50 и объемной доли  $C_2H_5OH$  10-20%. 3. Наиболее эффективно извлечение АК происходит при двух-трехкратной экстракции с применением ультразвуковой обработки суспензии.

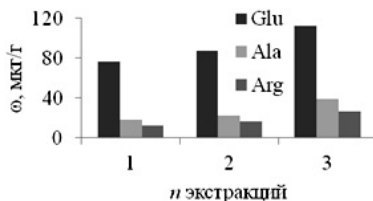


Рис. 3. Степень извлечения свободных АК.

#### ЛИТЕРАТУРА

Алиева М.И., Бездудная О.А., Володина С.О. Сравнительный аминокислотный состав растений – продуцентов эндистероидов // Химия растительного сырья, 2002. № 1. С. 63-68.

Иванов В.П. Растительные выделения и их значение в жизни растений. М.: Наука, 1973. 295 с.

Gilbert R.G., Altman J. Etanol extraction of free amino-acids from soil // Plant and Soil, 1966. Vol. 24.

### ГODOВАЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУР ОРГАНОГЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

В.В. Старцев, Е.В. Жангуров, А.А. Дымов  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: aadymov@gmail.com

Температуры и температурный режим являются важнейшими характеристиками микроклимата, влияющими на большинство процессов, протекающих в почвах. Характер распределения температур в органогенных горизонтах важен для жизни растений и



почвенной фауны. Особенную актуальность наблюдения за температурами почв приобретают в условиях современных изменений климата. Именно температура выступает решающим фактором изменения экосистем в целом. В свете современных климатических изменений территория Приполярного Урала имеет ключевое значение как южный предел криолитозоны на Европейском секторе Субарктики (Оберман, Шеслер, 1998).

В связи с этим цель данной работы – изучение температурно-режима органогенных горизонтов почв Приполярного Урала.

Исследования температур проводили на хребте Малдындыр (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва»). Климат Приполярного Урала резко континентальный, суровый, с длительной морозной зимой и коротким прохладным летом (Атлас, 1997). Температуры определяли с использованием датчиков IButton. Датчики регистрировали температуру на глубине 3 см в ферментативном горизонте трех почв (торфяно-глеезема мерзлотного, светлосема иллювиально-железистого и подбуря глееватого иллювиально-гумусового) каждые 4 ч. Проанализированы данные за период с 27 июля 2010 г. по 29 июня 2011 г. (338 дней). Морфологические и физико-химические особенности почв подробно описаны нами ранее (Дымов и др., 2013; Думов et al., 2015). **Краткая характеристика объектов исследования** приведена в табл. 1.

Положительные среднесуточные температуры в органогенных горизонтах начинают появляться во второй половине мая с окон-

Таблица 1

**Краткая характеристика объектов исследования**

№ разреза, абс. высота, м над ур.м	Растительность, крутизна склона	Тип почвы	Строение почвенного профиля
P-7-09 400 м	Мохово-лишайниковая горная тундра с подстиланием льдистой мерзлотой. Крутизна склона 2-3°	Торфяно-глеезем мерзлотный	<b>Очес</b> (0-20(25)) <b>T1</b> (20(25)-30) <b>Bh</b> (30-35) <b>BC<sub>1</sub></b> (35-50)
P-22-09 510 м	Лиственничник кустарничково-зеленомошный. Склон крутизной 6°	Светлосем иллювиально-железистый	<b>O(L)</b> (0м3 см) <b>O(F+H)</b> (3-6 см) <b>Eh</b> (6-14 см) <b>BF</b> (14-30 см) <b>CRM</b> (30-37 см) <b>BC<sub>CRM</sub></b> (37-55 см) <b>C</b> (55-70 см)
P-1-10 610 м	Ерниково-кустарничково-зеленомошная тундра. Не имеет подстилания льдистой мерзлоты. Склон крутизной 5°	Подбуря глееватый иллювиально-гумусовый	<b>Очес</b> (0-4 см) <b>O(F)</b> (4-10 см) <b>BH</b> (10-20 см) <b>BCg</b> (20-40 см) <b>Cg</b> (40-60 см)

чательным установлением положительных среднесуточных температур воздуха, в торфяно-глееземе и подбуре глееватом иллювиально-гумусового – 25 мая, а в органогенном горизонте светлозема иллювиально-железистого – почти на полтора месяца раньше – 9 апреля.

Диапазон сумм положительных температур исследуемых участков в органогенных горизонтах составил от 681 до 815 °С (табл. 2). Самым теплым и стабильным по суточной динамике температуры оказался органогенный горизонт светлозема иллювиально-железистого. Под пологом леса средняя температура значительно менее вариабельна, чем на открытых тундровых участках. Лесной покров существенно сглаживает колебания температуры, задерживая часть солнечной радиации.

Среднемесячные температуры органогенных горизонтов исследуемых участков теплого периода варьировали от +0.7 °С в мае до +15.3 °С в июле. За время наблюдения продолжительность периода с температурами >0 °С в органогенных горизонтах почв горной тундры изменялась от 99-104 дней и до 185 на участке леса. Среднесуточная температура органогенного горизонта светлозема иллювиально-железистого за теплый период равна +4.4 °С, торфяно-глеезема мерзлотного +8.2, а подбуря глееватого +6.6 °С. Это связано с тем, что почвы горной тундры располагаются на открытых участках и получают больше солнечной энергии, за счет которой идет прогрев органогенных горизонтов.

Таблица 2

## Показатели температурного режима органогенных горизонтов

Разрез	Показатели	Температура подстилки		
		>0 °С	≤0 °С	>+5 °С
Торфяно-глеезем мерзлотный	Количество дней	99	239	58
	t°C ср.	8.23	-3.66	12.1
	t°C max	21.16	0	21.1
	t°C min	0.166	-9.83	5.2
	Сумма t°C	816	-875	703
Светлозем иллювиально-железистый	Количество дней	185	153	65
	t°C ср.	4.37	-1.50	9.8
	t°C max	16.91	0	16.9
	t°C min	0.083	-4	5.2
	Сумма t°C	809	-230	640
Подбур глееватый иллювиально-гумусовый	Количество дней	104	234	52
	t°C ср.	6.6	-7.02	10.7
	t°C max	16.25	0	16.25
	t°C min	0.083	-18.25	5.08
	Сумма t°C	681	-1644	559

Важным показателем температурного режима является среднесуточная температура  $>+5$  °С, которая определяет активность роста сосущих корней растений и биоты. В органогенном горизонте светлосема иллювиально-железистого длительность периода со среднесуточной температурой  $>+5$  °С составляет 65, в торфяно-глееземе мерзлотном – 58, а в подбуре глееватом иллювиально-гумусовом – 52 дня. Появление среднесуточных температур  $>+5$  °С в органогенных горизонтах всех почв начинается практически в одно время – 26-27 мая.

Замечено, что с середины марта до середины мая температура органогенных горизонтов почв светлосема и торфяно-глеезема неизменна в течение всего этого периода. На участке леса среднесуточная температура в органогенном горизонте составляла  $+0.5$  °С, а в горной тундре равна  $-1$  °С, в то время как органогенный горизонт подбуря глееватого был более холодным и варибельным в эти месяцы. Это объясняется началом таяния снежного покрова и пропиткой органогенных горизонтов талой водой.

Появление отрицательных среднесуточных температур воздуха происходит во второй половине октября. На формирование минимальных температур в почве влияют: высота над уровнем моря, фазовые переходы при замерзании влаги в профиле почвы, высота снежного покрова, тепловой поток, поступающий на поверхность почвы и аккумуляированного в течение теплого периода.

Холодный период на объекте исследования длится 7 мес. – с октября 2010 г. по апрель 2011 г. Переход к отрицательным среднесуточным температурам начинается уже в августе-сентябре, а в октябре идет промерзание органогенных горизонтов после окончательного установления отрицательных среднесуточных температур. Среднесуточные температуры органогенных горизонтов  $<0$  °С почв горно-тундрового пояса устанавливаются 10-29 сентября, когда в почве горно-лесного пояса данные температуры появляются месяцем позже – 29 октября.

Среднемесячные температуры холодного периода органогенных горизонтов исследованных участков изменялись от  $-0.45$  °С в торфяно-глееземе до  $-14.72$  в подбуре глееватом. Средняя суточная температура органогенного горизонта торфяно-глеезема мерзлотного холодного периода равна  $-3.66$  °С, в светлосеме  $-1.50$ , а в подбуре глееватом  $-7.02$  °С.

Среднесуточная температура  $<0$  °С органогенных горизонтов в почвах горной тундры фиксировалась 230-240 дней, тогда как на лесном участке почти на 100 дней меньше – 153 дня. Минимум температуры в органогенном горизонте торфяно-глеезема составляет  $-9.83$  °С, что практически в два раза меньше, чем  $-18.25$  °С в

подбуре глееватом. Диапазон сумм отрицательных температур исследуемых участков органогенных горизонтов составил от  $-230$  до  $-1644$  °С. Наибольшее охлаждение органогенных горизонтов происходит в подбуре глееватом на высоте 610 м над ур.м.

Температурный режим органогенных горизонтов почв горной тундры торфяно-глеезема мерзлотного несколько отличается от такового подбура глееватого иллювиально-гумусового, находящегося на разных высотах, но относящихся к горно-тундровому поясу. На юго-восточной экспозиции склона органогенный горизонт торфяно-глеезема, в целом, был прогрет за летний сезон на  $1.2$  °С лучше, чем расположенный выше на северо-восточной экспозиции склона органогенный горизонт подбура глееватого. В холодный зимний период органогенный горизонт подбура глееватого охлаждался сильнее на  $3.6$  °С. Этому способствуют воздействие устойчивого снежного покрова, высота над уровнем моря, крутизна склонов и различия в напочвенном покрове.

Следует отметить, что различия в температурном режиме подстилок исследуемых участков наиболее ярко прослеживаются при оценке суточной динамики температуры. В летний период максимальные амплитуды зафиксированы на участках почв горно-тундрового пояса, которые находятся на открытых участках и получают больше солнечной энергии, чем почва горно-лесного пояса, находящаяся под пологом леса.

В зимний период органогенный горизонт подбура глееватого иллювиально-гумусового охлаждается сильнее и обладает максимальными амплитудами. Данный участок горной тундры находится выше всех исследованных участков и более подвержен выносу снега со склона, тем самым оголяется поверхность почвы и увеличивается прямое воздействие отрицательных температур воздуха, что приводит к сильному охлаждению верхнего органогенного горизонта по сравнению с почвами, находящимися под пологом устойчивого снежного покрова, которые обладают минимальными суточными амплитудами в данный период года.

Таким образом, проведение работ позволило установить, что для исследуемой территории характерно существенное влияние факторов высотной поясности и экспозиции горных склонов на температуры органогенных горизонтов почв. Показано, что решающую роль в температурном режиме органогенных горизонтов горных почв Приполярного Урала играют высота над уровнем моря, наличие и глубина снежного покрова. Лесной покров препятствует сильному охлаждению поверхности почвы, т.е. почвой с наименьшей суммой отрицательных температур в органогенном горизонте является светлосем иллювиально-железистый ( $-230$  °С).

Органогенный горизонт торфяно-глеезема мерзлотного прогревается в летний период лучше, чем находящийся выше на 200 м органогенный горизонт подбуря глееватого-иллювиально-гумусового, и охлаждается в зимний период меньше за счет некоторого увеличения тепловой инерции, несмотря на подстиление льдистой мерзлоты.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 11-04-00885а, Программы ОБН РАН 12-П-4-1018 и гранта Президента РФ МК-2905.2015.4.

#### ЛИТЕРАТУРА

Атлас по климату и гидрологии Республики Коми / Отв. ред. А.И. Таскаев. М.: Дрофа, 1997. 116 с.

*Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В.* Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение, 2013. № 5. С. 507-516.

*Оберман Н.Г., Шеслер И.Г.* Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий Европейского северо-востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации, 2009. Вып. 9. С. 96-106. <http://council.gov.ru/files/journalsf/number/20090922141450.pdf>.

*Dymov A.A., Zhangurov E.V., Hagedorn F.* Soil Organic composition along altitudinal gradients in permafrost affected soils of the Subpolar Ural Mountains // Catena, 2015. Vol. 131. P. 140-148. DOI: 10.1016/j.catena.2015.03.020.

### ВЛИЯНИЕ ЗАСУХ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НА ЭМИССИЮ CO<sub>2</sub> ИЗ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Д.А. Хорошаев<sup>1</sup>, В.О. Лопес де Гереню<sup>2</sup>, И.Н. Курганова<sup>2</sup>, Е.В. Благодатская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пушчинский государственный естественно-научный институт

<sup>2</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

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

Влияние наблюдаемых изменений климата на окружающую среду в настоящее время является одной из актуальных экологических проблем. Согласно различным прогнозам, изменения климата на территории России в ближайшие десятилетия будут выражаться в увеличении как количества атмосферных засух, так и их интенсивности (Жокорин и др., 2013). Это повлечет за собой неизбежные перемены в функционировании биогеоценозов, что может выразиться в усилении роста корневых систем, снижении ак-

тивности ферментов, участвующих в углеродном цикле, изменении количества микробной биомассы (Sanaullah et al., 2011) и др. Смена условий среды затрагивает множество синергических и антагонистических механизмов, участвующих на разных уровнях организации экосистемы (Smith et al., 2009). Так, эмиссия углекислого газа из почв, которая напрямую и косвенно зависит от функционирования многих компонентов биогеоценоза, сильно меняется при изменении условий окружающей среды. Существует мнение, что негативный эффект экстремальных погодных явлений на гетеротрофное почвенное дыхание не только отражается в конкретных нарушениях цикла углерода (C) здесь и сейчас, но имеет также и пролонгированное действие (Reichstein et al., 2013). Так, например, в работе Арноне с соавторами (Arnone et al., 2008) показано, что в течение одного года после аномально жаркого сезона наблюдалось заметное усиление почвенного дыхания.

Цель нашего исследования – изучение влияния засух различной продолжительности на эмиссию углекислого газа из серых лесных почв под травянистой растительностью и паром.

Работы проводились в летний сезон 2014 г. на опытных площадках Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (Московская область, г. Пущино) в рамках полевого манипуляционного эксперимента. Схема опыта включала в себя три варианта: контрольные участки с внесением естественной нормы осадков, составляющей 98 мм за 3 мес. эксперимента (К); участки с повторяющимися кратковременными засухами продолжительностью 30 и 48 дней (КЗ); участки с длительной засухой продолжительностью 82 дня (ДЗ). Общая площадь экспериментального участка составляла 48 м<sup>2</sup> и была разбита на 12 отдельных площадок размером 2×2 м, одна половина которых находилась под чистым паром, а другая – под многолетней травянистой растительностью (злаково-бобовая травосмесь). Между вариантами опыта во избежание бокового стока до глубины 30 см вкапывалась армированная пленка. В рамках эксперимента, начиная с июля месяца, проводили определение: 1) дыхания почв с использованием закрытого камерного метода, один-пять раз в неделю; 2) температуры почвы с помощью автоматических логгеров (непрерывно) и влажности почвы при помощи электронного влагомера (в момент определения дыхания почв); 3) баланса углерода (чистого экосистемного обмена, NEE) и экосистемного дыхания (ER) в травянистом ценозе, один-два раза в неделю. Потоки CO<sub>2</sub> в экосистемах определялись с помощью инфракрасного газового анализатора LI-COR 6400 (США). Обработка результатов проводилась с помощью программного обеспечения MS Excel.

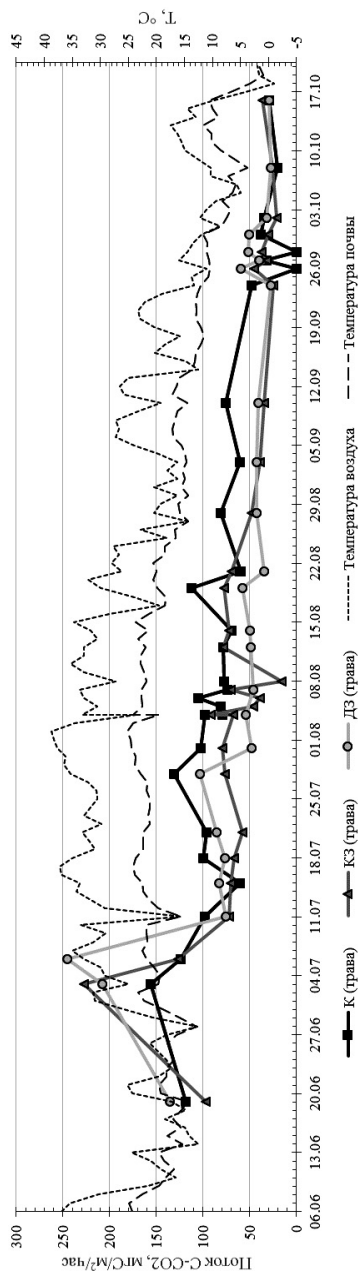
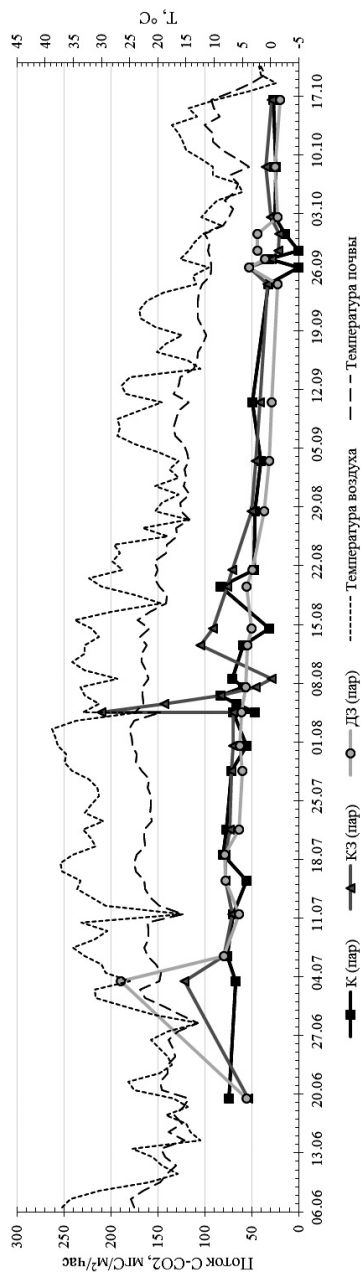
**Гидротермические характеристики почв.** Во время проведения эксперимента температура поверхности почвы участков под паром изменялась от 41 до 11 °С в летнюю засуху и от 36.5 до 4.5 °С – в осеннюю. Под травой амплитуда температур поверхности почвы на 9-17 °С ниже, чем на пару. На глубине 5 см изменения температуры почвы были выражены чуть слабее: в период первой короткой засухи разница между поливаемым участком с травой и паром длительной засухи достигала 5.2 °С, поливаемым и сухим паром – 3.3 °С, поливаемым и сухим травянистыми участками – 1.9 °С. Таким образом, в теплую солнечную погоду влажная почва была холоднее сухой в среднем на 1.0-1.8 °С, а травяной покров снижал температуру почвы на 1.3-2.2 °С.

Влажность при поддерживающем поливе на контрольных участках с травой колебалась менее заметно (20-25%), чем на пару (15-23%). Влажность на участках, где моделировались короткие засухи, под растительностью постепенно уменьшалась от 20-22 до 10 и 13% во время первой и второй засух соответственно; на пару снижение более заметно – до 4.9-7.6%. Влажность на варианте ДЗ к концу эксперимента составила 5.9 и 4.1% под растительностью и паром соответственно.

**Потоки CO<sub>2</sub> в экосистемах.** Динамика выделения CO<sub>2</sub> из почв во время проведения эксперимента на контрольном варианте отчетливо следовала за изменениями температуры почвы, в то время как в вариантах КЗ и ДЗ в летний период лимитирующим фактором являлась влажность почв, а в осенний, несмотря на сильный дефицит влаги в почве, – температура (рис. 1, 2).

Корреляционные связи между температурой почвы и интенсивностью выделения CO<sub>2</sub> на парующих участках были высокими на всех вариантах опыта ( $R^2 = 0.50-0.63$ ;  $P < 0.0001$ ). На участках с травой тесная корреляционная связь наблюдалась только на контрольном варианте ( $R^2 = 0.60$ ;  $P < 0.0001$ ), а на вариантах с засухами связь между эмиссией CO<sub>2</sub> и температурой почвы заметно слабее ( $R^2 = 0.42$ ;  $P < 0.001$ ; вариант КЗ и  $R^2 = 0.15$ ;  $P = 0.06$ ; вариант ДЗ). Вместе с тем, на участках, где моделировались засухи, наблюдалась тесная взаимосвязь между скоростью выделения CO<sub>2</sub> из почв и содержанием почвенной влаги ( $R^2 = 0.36-0.55$ ;  $P < 0.002$ ).

Суммарные потоки углекислого газа из почвы за 97 дней эксперимента в ряду: К → КЗ → ДЗ составили 169, 114 и 118 г С/м<sup>2</sup> на участках с растительностью и 118, 128 и 101 г С/м<sup>2</sup> – на парующих участках соответственно (рис. 3). После прерывания засух наблюдался сильный всплеск эмиссии CO<sub>2</sub> из почв. Так, за две недели после окончания кратковременной засухи величина потерь

Рис. 1. Динамика температуры и выделения  $\text{CO}_2$  из почв под травой.Рис. 2. Динамика температуры и выделения  $\text{CO}_2$  из почв под паром.



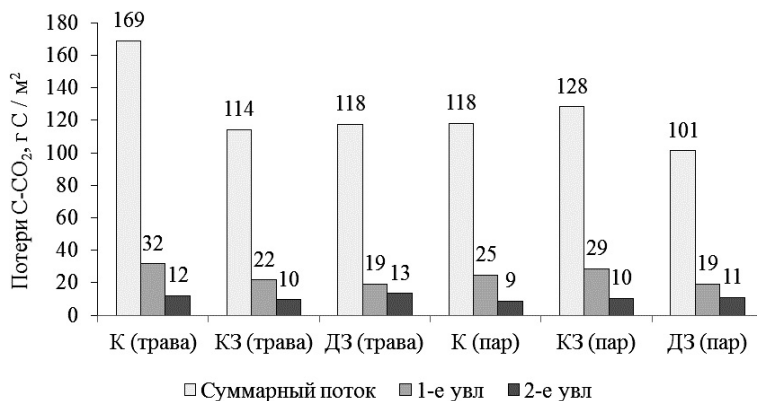


Рис. 3. Суммарные потери С-СО<sub>2</sub> из почв в зависимости от интенсивности засух за весь эксперимент и в течение двух недель после прерывания засух.

углерода составила 22 и 19% от суммарного потока за весь период эксперимента на пару и травянистых участках соответственно. При прерывании длительной засухи выделение СО<sub>2</sub> из почв также усиливалось, и потери С в течение двух недель после окончания засух составили 11.0 и 11.4% от суммарного потока за весь период на пару и траве.

Экосистемный баланс углерода (NEE) на всех вариантах с увлажнением незначительно зависел от температуры воздуха и определялся, преимущественно, поступлением фотосинтетически активной радиации. Все варианты опыта с травянистой раститель-

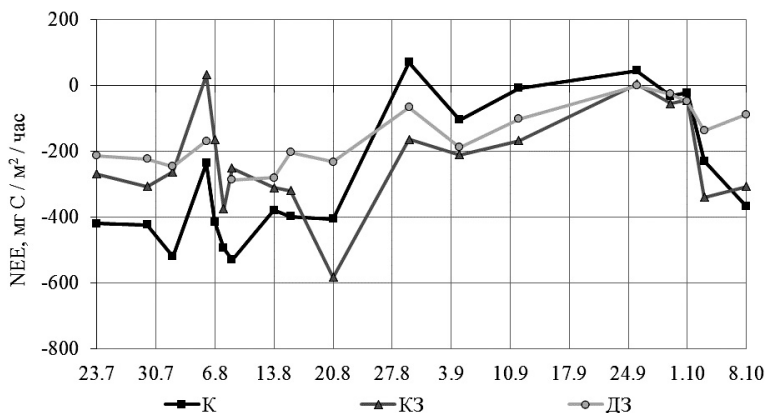


Рис. 4. Экосистемный баланс СО<sub>2</sub> на травянистых участках в зависимости от длительности засух.

ностью в течение периода наблюдений практически всегда выступали стоком  $\text{CO}_2$  атмосферы. При этом в июле-августе более высокие величины поглощения  $\text{CO}_2$  наблюдали на варианте К, а в сентябре – более значительным стоком являлись площадки КЗ и ДЗ (рис. 4).

Общие потери  $\text{C-CO}_2$  из почв (за время всего эксперимента) практически не зависели от длительности засух и под травой были на 33-35% меньше, чем на делянках с оптимальным увлажнением. На парующих участках влияние длительности засух на суммарные потоки  $\text{CO}_2$  из почв было значительно слабее или могло не проявляться совсем. Несмотря на ощутимое усиление эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв при прекращении засухи, обильное увлажнение иссушенных почв как в летний, так и в осенний период оказывало незначительное влияние на величину общих потоков  $\text{CO}_2$  из почв, повышая ее всего на 2-10%. Травянистые ценозы за весь период вегетации являлись стоком углекислого газа атмосферы. При этом контрольные участки демонстрировали повышенное поглощение  $\text{CO}_2$  в летний период, а варианты с засухами различной интенсивности – поздне-летний и ранне-осенний.

Работа выполнялась при поддержке РНФ (проект 14-04-00625) и РФФИ (проект 15-04-005156).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Кокорин А.О., Смирнова Е.В., Замолодчиков Д.Г.* Изменение климата. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 220 с.
- Arnone J.A., Verburg P.S.J., Johnson D.W.* et al. Prolonged suppression of ecosystem carbon dioxide uptake after an anomalously warm year // *Nature*, 2008. Vol. 455. P. 383-386.
- Reichstein M., Bahn M., Ciais P.* et al. Climate extremes and the carbon cycle // *Nature*, 2013. Vol. 500. P. 287-295.
- Sanaullah M., Blagodatskaya E.V., Chabbi A.* et al. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition // *Applied Soil Ecology*, 2011. Vol. 48. P. 38-44.
- Smith M.D., Knapp A.K., Collins S.L.* A framework for assessing ecosystem dynamics in response to chronic resource alterations induced by global change // *Ecology*, 2009. Vol. 90. P. 3279-3289.

## **ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТАХ ПОЧВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ**

**О.В. Шахтарова**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: *olga.shakhtarova@mail.ru*

На современном этапе одной из основных задач генетического почвоведения стало изучение экологических функций почв (Добровольский, Никитин, 1990), выявление основных закономерностей и механизмов функционирования почв, обеспечивающих устойчивость природных и антропогенно трансформированных экосистем.

Повышенное внимание к формированию почв криолитозоны в естественной динамике среды Субарктики вызвано необходимостью оценки экологических последствий изменения климата и возрастающих темпов антропогенных воздействий. Почвы высоких широт наиболее чувствительны к влиянию деятельности человека, особенно развивающиеся в переходной полосе лесотундра–тундра.

Одной из функций почв как центрального компонента биосферы является регулирование поведения загрязнителей. Процессы почвообразования, свойства почв, формирующиеся в них геохимические барьеры определяют уровни концентрации и миграцию химических элементов. Почвы как главная депонирующая среда влияют на загрязнение других компонентов ландшафта.

Цель данного исследования – изучение особенностей перераспределения тяжелых металлов (ТМ) между структурными компонентами почв (скелетаны, внутрипедная масса (ВПМ), что не было изучено до настоящего времени.

Район исследований находится в подзоне северной лесотундры, в бассейне р. Уса, в 50 км к юго-западу от г. Воркута, в окрестностях ж.-д. станции Сейда. Она характеризуется дренированным рельефом и залеганием покровных суглинков на водоразделах, массивно-островным распространением многолетнемерзлых пород мощностью до 50 м, кровля которых глубже 0.5-8 м.

Объектом исследования послужили светлосезмы иллювиально-железистые, формирующиеся в автоморфных позициях лесных участков лесотундры. Растительный покров представлен березово-еловым редколесьем с преобладанием лишайниково-мохового покрова, высота деревьев – до 4-6 м. Кустарниковый ярус: ивы высотой до 70 см, ерник – до 40 см. Кустарнички: багульник, голубика, водяника, брусника, черника. В наземном покрове – зеленые и политриховые мхи, лишайники.

Профиль почвы характеризуется сочетанием подзолистого, иллювиально-железистого и криометаморфических горизонтов и имеет следующее строение:

$$O \frac{0-2.5}{2.5} E \frac{2.5-10}{7.5} BF \frac{10-17}{7} CRM1 \frac{17-34}{17} CRM2 \frac{34-67}{33} CRM3 \frac{67-93}{26} \perp.$$

Почвы развиваются на хорошо дренированных поверхностях, сильнокислые (рН<sub>сол.</sub> **3.3-3.9**) (табл. 1) с высокой обменной и гидrolитической кислотностью, не насыщены основаниями. Отмечается элювиование обменных оснований из верхней части профиля (20-40 см) до глубины 60-70 см, что согласуется с показателями степени насыщенности основаниями (в верхней части профиля – 2-5%, в нижней – 14-42%). Отличаются невысоким содержанием Сорг. (в минеральной части профиля 3.4-1.3%), характеризуются недифференцированностью профиля по илу и валовому содержанию оксида Al. Подзолистый горизонт обеднен несиликатными и силикатными формами Fe, образующими иллювиальный максимум в гор. BF (табл. 1, 2). Наблюдается дифференциация валового содержания SiO<sub>2</sub> с максимумом в гор. E. Следовательно, выделяется субпрофиль микроподзола E-BF мощностью 20 см над криометаморфическими горизонтами.

Для почв тундры на суглинистых породах впервые использован метод анализа структурной организации и дифференциации продуктов функционирования (кутанный комплекс), разработанный В.О. Таргульяном (1974). Отобраны монолиты ненарушенного строения, так как повышенная влажность и частая тиксотропность почв тундры не позволяют проводить препарирование образцов у разреза. Препарирование образцов песчано-пылеватых кутан (скелетан), достигающих толщины 1-3 мм, проводилось вручную при помощи бритвы. Образцы ВПМ получены путем срезания поверхностного слоя агрегата. Хотя примененный метод не позволяет получить чистых образцов ВПМ и скелетан, он использован за неимением современных, более совершенных методов. Содержание кислоторастворимых (Cu, Pb, Cd, Zn, Co) (табл. 3) и подвижных форм (табл. 4) ТМ (Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Al) в почвах и их структурных компонентах определяли в соответствии с аттестованными методиками (Количественный..., 1998) в аккредитованной лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Необходимо отметить, что распределение кислоторастворимых форм элементов во ВПМ и скелетанах в верхней части профиля светоземов иллювиально-железистых характеризуется элювиально-иллювиальным типом и относительно равномерным содержанием вниз по профилю.

Следует отметить преимущественное накопление кислоторастворимых форм ТМ во ВПМ (табл. 3), где концентрация ТМ в 1.2-2.6 раза выше по сравнению со скелетанами, за исключением кадмия в гор. CRM1, где его содержание в скелетанах (0.12 мг/кг) выше в 1.16 раз, чем во ВПМ (0.14 мг/кг).

Рассматриваемые элементы Cu, Zn, Pb, Cd и Co отличаются близким характером внутрипрофильного распределения. Для них отмечено элювиально-иллювиальное распределение с тенденцией увеличения вниз по профилю во ВПМ и накоплением в гор. BF, CRM2 и CRM3. Как известно, Zn и Cd поглощаются глинистыми минералами и оксидами Fe (Перельман, Касимов, 2000). Цинк является элементом биофилом, а Cd и Co закрепляются гумусом в отсутствии оксидов Fe. Подвижность Zn увеличивается в кислой среде. Ожелезненные зоны и гумусо-Fe аккумуляции, сосредоточенные в гор. BF микроподзола, становятся адсорбционным микрогеохимическим барьером. А возрастание аэрации и специфическая криогенная структура горизонтов CRM вызывают увеличение емкости биогеохимического и сорбционного барьеров.

Анализ скелетан показал сходный тип распределения всех рассматриваемых элементов в профиле. Прослеживается накопление Pb, Zn и Co в скелетанах иллювиального горизонта BF и относительное накопление Cu и Zn в нижележащем криометаморфическом горизонте CRM3. Заметно равномерное распределение содержания Cd в скелетанах почвы, за исключением горизонта CRM1, для которого выявлено

Таблица 1  
Физико-химические свойства светлосезмов иллювиально-железистых (Тонконогов, 2010)

Горизонт	Глубина, см	pH		Гидролитическая кислотность	Обменная кислотность		Азот общий (N), %	Углерод общий (C), %	Полгощенные катионы, смоль/кг		Степень насыщенности основаниями, %	По Тамму, %		По Джексону, %
		водный	солевой		H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
O	0-5	4.0	3.3	47.0	0.01	0.13	Не опр.	Не опр.	0.2	1.8	4	—	Не опр.	—
E	5-10	4.1	3.6	14.5	0.30	0.14	0.12	2.05	0.0	0.3	2	0.5	→→	0.8
BF	10-20	4.5	3.8	11.7	0.19	9.40	0.07	1.15	0.0	0.3	2	1.2	→→	1.6
CRMg	20-40	4.5	3.9	13.6	0.05	8.28	0.06	0.70	0.1	0.6	5	0.6	→→	1.2
CRM	40-50	4.2	3.8	7.4	0.03	5.57	Не опр.	Не опр.	0.3	0.9	14	0.5	→→	1.1
CRMС	60-70	4.5	3.8	6.4	0.02	3.29	→→	→→	3.1	1.6	42	0.7	→→	1.2

Таблица 2

**Валовой химический состав светлоседа иллювиально-железистого,  
% на прокаленную навеску (Тонконогов, 2010)**

Горизонт	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
E	5-10	77.21	1.89	11.95	0.97	0.20	6.91	2.20	0.89	0.29
BF	10-20	76.18	3.68	12.46	0.67	0.23	5.39	1.81	0.62	0.01
CRMg	20-40	74.62	3.60	12.63	0.74	0.22	6.14	1.91	0.46	0.01
CRM	40-50	73.43	3.38	12.13	0.73	0.28	7.43	1.95	0.74	0.02
CRMC	60-70	70.34	4.18	13.42	0.78	0.39	7.78	2.00	0.71	0.04

обеднение этим элементом. Элементы, подвижные в кислой среде, сорбируются на оксидах Fe, Mn, глинистых минералах, образуют комплексы с органическими соединениями, концентрируются на биогеохимических и литологических барьерах.

Что касается подвижных форм элементов (табл. 4), в ВПМ их концентрация выше в 1.01-6.5 раз по сравнению со скелетанами, за исключением Pb в гор. BF. В ВПМ заметно относительное накопление Cu и Zn в гор. CRMg, тогда как Pb и Mn иллювируют в нижележащие горизонты CRMC.

В распределении подвижных форм Cu, Zn и Mn в скелетанах отмечается увеличение вниз по профилю, тогда как Pb накапливается в гор. BF. В отличие от остальных металлов Pb наиболее стабилен и токсичен, является металлом-органофилом и образует комплексы с органическим веществом, что позволяет концентрироваться в скелетанах иллювиально-железистого горизонта.

Таким образом, преимущественная концентрация как Fe, Al, так и ТМ в почвах происходит в ВПМ. Скелетаны, приуроченные к границе раздела фаз, выполняют функцию микробарьера, на котором происходит как сорбционная концентрация компонентов из мигрирующих растворов, так и осаждение. Распределение ТМ в компонентах кутанного комплекса (скелетаны) выявляет особенности современной миграции и аккумуляции в профиле почв. Концентрация в ВПМ обусловлена составом почвообразующих пород, влиянием природных факторов на развитие почв.

В профильной дифференциации рассматриваемых кислоторастворимых форм элементов в светлоседах отмечается повышение в верхней части профиля, иллювиальном горизонте микроподзола, и равномерное распределение с глубиной. Для этих почв характерен элювиально-иллювиальный тип дифференциации профиля по содержанию ТМ во ВПМ и относительно равномерное распределение в скелетанах в нижней части профиля. Концентрация подвижных форм элементов также намного выше в ВПМ по сравнению со скелетанами, прослеживается накопление этих элементов в нижней части профиля за исключением Al и Fe.

Таблица 3

## Содержание кислоторастворимых микроэлементов в профиле почв, мг/кг

Горизонт	Глубина, см	Компоненты	Cu	Pb	Cd	Zn	Co
E	5-10	Внутрипедная масса	6.5±1.3	8.5±2.1	0.18±0.09	28±6	6.9±2.8
		Скелетаны	4.5±0.9	5.4±1.3	0.13±0.06	18±4	4.4±1.8
BF	10-20	Внутрипедная масса	8.2±1.6	9.5±2.4	0.20±0.10	35±7	9.0±4.0
		Скелетаны	6.0±1.2	6.7±1.7	0.14±0.07	25±5	6.9±2.8
CRMg	20-40	Внутрипедная масса	7.1±1.4	7.9±2.0	0.12±0.06	30±6	8.0±3.0
		Скелетаны	5.8±1.2	6.0±1.5	0.14±0.07	23±5	5.4±2.2
CRM	40-50	Внутрипедная масса	14.7±2.9	10.0±2.5	0.22±0.11	43±9	10.0±4.0
		Скелетаны	6.4±1.3	4.9±1.2	0.13±0.06	21±4	3.8±1.5
CRMС	60-70	Внутрипедная масса	14.4±2.9	10.9±2.7	0.20±0.10	45±9	10.0±4.0
		Скелетаны	8.3±1.7	5.6±1.4	0.15±0.07	27±5	4.5±1.8

Таблица 4

## Содержание подвижных форм элементов в профиле почв, мг/кг

Горизонт	Глубина, см	Компоненты	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Al
E	2.5-10	Внутрипедная масса	1.40	0.98±0.24	0.47±0.09	25±8	130±40	190±50
		Скелетаны	0.81	0.64±0.16	0.34±0.07	12±4	60±17	107±28
BF	10-17	Внутрипедная масса	1.50	0.89±0.22	0.56±0.11	29±9	110±30	170±40
		Скелетаны	0.93	1.14±0.28	0.49±0.10	10±3	53±15	84±22
CRMg	16-34	Внутрипедная масса	1.60	0.95±0.24	0.75±0.15	26±8	130±40	190±50
		Скелетаны	1.00	0.54±0.14	0.59±0.12	8.4±2.5	20±14	77±20
CRM	34-67	Внутрипедная масса	1.40	1.03±0.26	0.64±0.13	23±7	98±27	150±40
		Скелетаны	0.98	0.60±0.15	0.60±0.12	13±4	40±11	32±16
CRMС	67-93	Внутрипедная масса	1.30	1.15±0.29	0.64±0.13	38±11	85±24	140±40
		Скелетаны	0.98	0.61±0.15	0.63±0.13	17±5	35±10	65±17

Специфика формирования почвы, сочетание подзолистого, иллювиально-железистого в верхней части и криометаморфических горизонтов – в нижней, а также однородность почвообразующих пород, автоморфность условий почвообразования обусловили профильную дифференциацию ТМ.

Полученные результаты актуальны как в связи с необходимостью прогноза будущего поведения почв в условиях колебаний климата, так и сохранения почвенных ресурсов Субарктики при растущих темпах антропогенного воздействия. Представляя собой уникальный невозобновимый природный ресурс, почва обеспечивает устойчивое функционирование экосистем. Роль почв в сохранении экосистем связана с их разнообразными биогеоценотическими функциями, которые обусловлены непрерывностью и необратимостью почвообразовательного процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Функции почв в биосфере и экосистемах. (Экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 260 с.

*Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрейя, 2000. 768 с.

ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М., 1998.

*Таргульян В.О., Соколова Т.А., Бирина А.Г.* и др. Организация, состав и генезис дерново-подзолистой почвы на покровных суглинках. М., 1974. 109 с.

### АККУМУЛЯЦИЯ ПОЛИАРЕНОВ В РАСТЕНИЯХ НА РАЗНОМ УДАЛЕНИИ ОТ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Е.В. Яковлева, Д.Н. Габов**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [kaleeva@ib.komisc.ru](mailto:kaleeva@ib.komisc.ru)

Изучение содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в растениях является актуальной задачей современных экологических исследований в связи с возрастающим уровнем загрязнения природных экосистем данными экотоксикантами. Известно, что углеводороды, продуцируемые в результате работы промышленных предприятий, образуют техногенные ореолы различной плотности (Fismes et al., 2002). По некоторым данным (Галиулин, Башкин, 1999), диффузия загрязнения в атмосфере способствует распространению канцерогенных ПАУ на



значительное расстояние – до 10 км за пределы территории предприятий. Исследование распределения полиаренов в растениях таежной зоны показало, что максимальное накопление ПАУ растениями из почвы происходило на расстоянии 0.5 и 1 км от сажевого завода. Актуальность работы обусловлена отсутствием данных о перемещении полиаренов в условиях тундровой зоны в отсутствии древесной растительности.

Цель исследования – изучить особенности накопления ПАУ в растениях разных видов под воздействием угледобывающей промышленности.

Нами были проведены исследования содержания ПАУ в растениях нижнего яруса южной кустарниковой тундры. Растения отбирали на фоновом участке и в районе действия угольной шахты «Воркутинская» на расстоянии 0.5, 1.0 и 1.5 км от источника эмиссии в северном направлении. Отбор проб проводился с учетом розы ветров. Исследованы виды растений трех групп: лишайник *Peltigera leucophlebia*, мох *Pleurozium schreberi* и кустарничек *Vaccinium myrtillus*. Лишайник анализировали полностью, у мха – отдельно надземная и подземная части, у кустарничка – корни, стебли и листья. Для полного извлечения ПАУ из растений использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Dionex Corporation, США).

В составе угля шахты «Воркутинская» обнаружено 14 структур ПАУ. Анализ показал, что в выбросах значительно преобладают легкие полиарены – нафталин, флуорен и фенантрен. В меньшей степени представлены пирен, хризен, бенз[b]флуорантен, бенз[a]пирен, бенз[ghi]перилен и инденопирен (Яковлева, 2014).

В органогенных горизонтах почвы, подстилающих исследуемые площадки, и в растениях были идентифицированы 13 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[a]антрацен, бензо[b]флуорантен, бензо[k]флуорантен, бенз[a]пирен, дибенз[a,h]антрацен и бенз[ghi]перилен. Состав ПАУ почв зоны действия шахты тесно коррелирует с составом ПАУ угля, коэффициент корреляции составляет  $r = 0.93-0.96$  (при  $P = 0.95$ ,  $n = 3$ ).

Суммарное содержание ПАУ в почве на загрязненных участках превышает фоновые значения в три раза, максимальные кратности превышения выявлены для тяжелых ПАУ и составляли до 10 раз (рис. 1). Содержание легких ПАУ на разном расстоянии от угледобывающего предприятия практически не менялось, при этом массовая доля всех тяжелых структур была максимальной на расстоянии 0.5 км от источника эмиссии и снижалась по мере удаления от него. Следует отметить, что в почвах фонового участ-

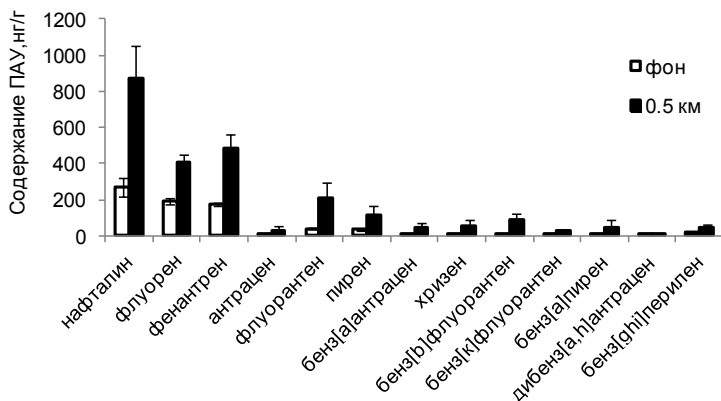


Рис. 1. Содержание индивидуальных ПАУ в почве на фоновом участке и в 0.5 км от шахты.

ка отмечены значительные количества полиаренов, на 94% представленные легкими углеводородами. Повышенные массовые доли ПАУ в почвах приводят к накоплению полиаренов растениями.

Сравнение состава полиаренов почвы и растений позволило выявить повышенные значения коэффициентов корреляции, которые составили  $r = 0.72-0.97$  (при  $P = 0.95$ ,  $n = 3$ ) и возрастали в ряду *Vaccinium myrtillus* < *Peltigera leucophlebia* < *Pleurozium schreberi*. Следует также отметить, что для почв и растений всех видов наивысшие коэффициенты корреляции наблюдали для фоновых участков, где атмосферное поступление полиаренов в растения менее выражено.

Для *Peltigera leucophlebia* и *Pleurozium schreberi* отмечены сходные тенденции в накоплении полиаренов, доля поверхностного загрязнения для данных видов составляла 20% от суммарного содержания на фоновом участке и 6-15% – на разном удалении от шахты «Воркутинская» (рис. 2). Следует отметить, что по мере удаления от шахты доля поверхностного загрязнения возрастала. Так, для *Vaccinium myrtillus* она составляла 47% на фоновом участке и 64-80% – загрязненных. Тенденции к росту доли поверхностного содержания полиаренов с увеличением расстояния от источника эмиссии не проявлялось.

ПАУ во всех исследуемых видах были представлены в основном низкомолекулярными структурами, доля легких ПАУ в общей сумме ПАУ в растениях фонового участка составляла 91-95%, для загрязненных – 83-96%. На нафталин, флуорен и фенантрен приходилось 60-86% от общей суммы ПАУ в растении. Суммар-

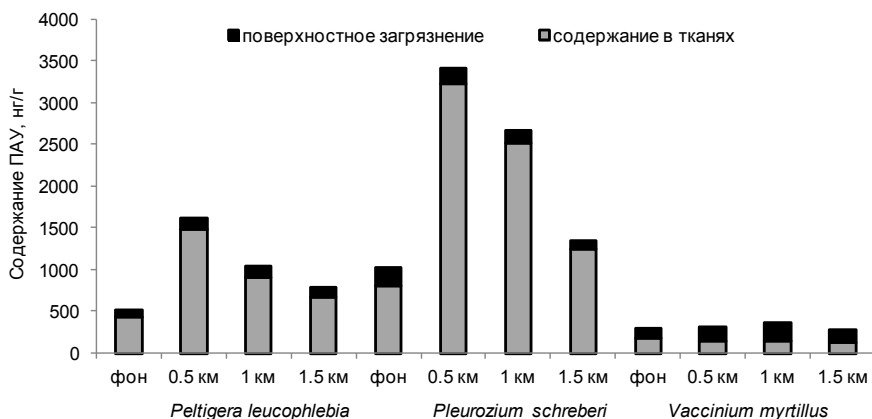


Рис. 2. Содержание полиаренов в разных видах растений на разном удалении от шахты «Воркутинская».

ное содержание полиаренов для *Peltigera leucophlebia* и *Pleurozium schreberi* на загрязненных участках превышало фоновые значения в 1.5-4 раза. Максимальные кратности превышения отмечены для участка, расположенного на 0.5 км от угледобывающего предприятия. По мере удаления от источника эмиссии кратности превышения фоновых значений убывали. При этом для легких и тяжелых полиаренов они были примерно одинаковы.

Для *Vaccinium myrtillus* на загрязненных участках не выявлено значительного превышения фоновых значений суммарного содержания ПАУ. Массовая доля легких ПАУ (флуорена, фенантрена, антрацена, хризена, бенз[а]антрацена) на фоновом участке выше, чем на загрязненных. Для отдельных полиаренов, таких как флуорантен, пирен, бенз[б]флуорантен, дибенз[а, h]антрацен, бенз[ghi]перилен, наблюдали рост уровня содержания в условиях загрязнения. Суммарное содержание тяжелых ПАУ в *Vaccinium myrtillus* на загрязненных участках возрастало в 1.4-1.7 раза.

Сравнение содержания полиаренов в растениях разных видов показало, что наибольшая способность к биоаккумуляции ПАУ характерна для *Pleurozium schreberi*, минимальным накоплением отличается *Vaccinium myrtillus*.

Исследования содержания полиаренов в надземной и подземной частях *Pleurozium schreberi* выявили, что массовая доля полиаренов в разных органах практически одинакова с незначительным превышением содержания полиаренов в подземной части. Следует отметить, что наибольшие кратности превышения суммарного содержания ПАУ в подземной части были отмечены для

фонового участка и составляли 1.7-1.8 раз. Такое явление, вероятно, связано с тем, что атмосферное поступление полиаренов на фоновом участке менее значительно, чем на загрязненных, и основным источником ПАУ является почва.

Для *Vaccinium myrtillus* характерно большее накопление полиаренов в листьях растений по сравнению со стеблями и корнями. Максимальные кратности превышения выявлены для кустарничка на расстоянии 0.5 км от предприятия и достигают четырех раз. По мере удаления от источника кратности снижаются (рис. 3). Такой факт во многом обусловлен тем, что основная масса полиаренов оседает на листьях *Vaccinium myrtillus*, так как они имеют большую поверхность по сравнению с другими органами, полиарены при этом в основном остаются на поверхности листовой пластины, не проникая внутрь растения. За счет листопадности кустарничек избавляется от избытка полиаренов. Снижение содержания полиаренов в листьях на удалении от шахты объясняется уменьшением количества поступающих на поверхность полиаренов. Следует отметить, что на загрязненных участках дибенз[а, h]антрацен и бенз[ghi]перилен в большей степени представлены в корнях растений, и, по-видимому, поступали в растение в основном из почвы, нежели из атмосферы.

Соотношение содержания полиаренов в стеблях и корнях *Vaccinium myrtillus* варьировало в зависимости от удаленности от шахты. Для фонового района и участка, расположенного в 1.5 км от шахты, выявлено повышенное содержание легких ПАУ в стеблях растений по сравнению с корнями, в которых отмечалось по-

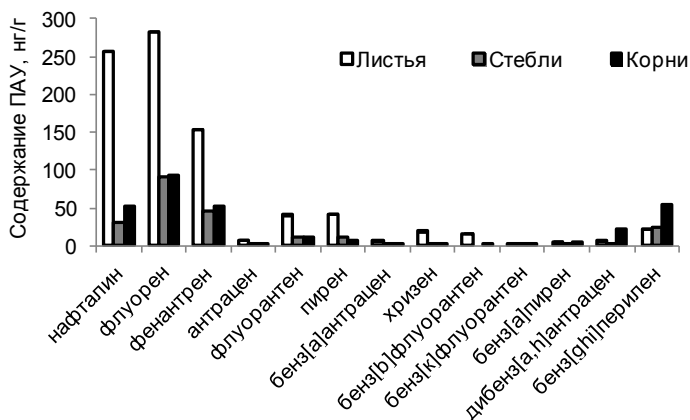


Рис. 3. Содержание ПАУ в органах *Vaccinium myrtillus* на расстоянии 0.5 км от предприятия, нг/г.

вышенное содержание тяжелых полиаренов. Для участков, удаленных от угледобывающего предприятия на 0.5 и 1 км, выявлено преобладание большинства ПАУ в корнях растений по сравнению со стеблями. Таким образом, для *Vaccinium myrtillus* в большей степени характерно поступление ПАУ через листовую поверхность и корневую систему, из которых полиарены могли проникать и в стебли.

Полученные данные показывают, что уже на расстоянии 1.5 км массовые доли ПАУ в растениях приближены к фоновым значениям. Однако для фонового участка содержание полиаренов было значительным, что, вероятно, связано с дальним переносом в основном легких полиаренов в условиях тундры. Легкие полиарены могли распространяться на большие расстояния, поэтому необходимо проведение дополнительных исследований с выбором фонового участка на большем удалении от различного рода источников ПАУ.

Итак, методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в органогенных горизонтах почв и растениях идентифицировано 13 структур ПАУ. Содержание полиаренов в почвах загрязненных участков было примерно одинаково и превышало фоновые значения в три раза. На загрязненных участках отмечено повышение содержания всех тяжелых ПАУ относительно фона. Максимальное содержание тяжелых полиаренов выявлено на расстоянии 0.5 км, и оно снижается по мере удаления от шахты.

Содержание полиаренов на поверхности лишайника и мха значительно ниже внутреннего содержания, для *Vaccinium myrtillus* доля поверхностного загрязнения достигала 80% от суммарного содержания полиаренов в растении.

ПАУ во всех исследуемых видах представлены в основном низкомолекулярными структурами. Доля легких ПАУ в общей сумме ПАУ в растениях фонового участка составляла 91-95%, для загрязненных участков – 83-96%.

Суммарное содержание полиаренов в *Peltigera leucophlebia* и *Pleurozium schreberi* превышало фоновые значения в 1.5-4 раза, и было максимальным на удалении 0.5 км от угледобывающего предприятия. Для *Vaccinium myrtillus* превышения фоновых значений не выявлено.

Наивысшая способность к биоаккумуляции ПАУ на всех исследованных участках характерна для *Pleurozium schreberi*, минимальным накоплением полиаренов отличается *Vaccinium myrtillus*.

Массовая доля полиаренов в разных органах *Pleurozium schreberi* практически одинакова с незначительным превышением содержания полиаренов в подземной части. Для *Vaccinium myrtillus*

распределение полиаренов по органам растений можно выразить в виде неравенства: листья > корни > стебли.

По мере удаления от шахты выявлено снижение содержания легких и тяжелых полиаренов в *Peltigera leucophlebia*, *Pleurozium schreberi* и листьях *Vaccinium myrtillus*, а также тяжелых ПАУ в органогенных горизонтах почв. Способность к миграции низко- и высокомолекулярных ПАУ различна: легкие ПАУ перемещаются на далекие расстояния, тяжелые – оседают вблизи источника эмиссии.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-04-31303 мол\_а и № 13-04-00070-а.

#### ЛИТЕРАТУРА

Галиулин Р.В., Башкин В.Н. Особенности поведения стойких органических загрязнителей в системе атмосферные выпадения – растение – почва // Агрохимия, 1999. № 12. С. 69-77.

Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Полициклические ароматические углеводороды в почвах и растениях нижнего яруса южной кустарниковой тундры в условиях техногенеза // Почвоведение, 2014. № 6. С. 685-696.

Fismes J., Perrin-Ganier C., Empeur-Bissonnet P., Morel J.L. Soil-to-Root Transfer and Translocation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Vegetables Grown on Industrial Contaminated Soils // Journal of Environmental Quality, 2002. Vol. 31. P. 1649-1656.

**Секция 4**  
**МОРФОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ**  
**И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**  
**ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**  
**НА ОРГАНИЗМЫ**

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ,**  
**РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ХРАНИЛИЩА**  
**РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ**  
**ТЕСТ-ОБЪЕКТА РЯСКИ МАЛОЙ (*LEMNA MINOR L.*)**

**И.С. Боднарь**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина  
E-mail: [bodnar@ib.komisc.ru](mailto:bodnar@ib.komisc.ru)

Утилизация радиоактивных отходов является краеугольным камнем существования любых начинаний, связанных с использованием радиации человечеством. Эта проблема привлекает внимание общественности и ученых. Последствия принятия неразумных решений могут оказаться весьма плачевными для здоровья населения и окружающей природной среды. В пос. Водный Республики Коми с 1931 по 1956 г. располагалось производство по добыче радия из пластовых вод и отходов урановой промышленности. Отходы складировались на берегу р. Ухта. В 1960 г. активность воды в ручьях, стекающих с хвостохранилища, достигала 111 Бк/кг, поэтому содержание радия в реке в некоторых местах увеличивалось до 2.85 Бк/кг. Данная величина в пять-семь раз превышает действующие в настоящее время нормативы содержания <sup>226</sup>Ra в питьевой воде (по НРБ-99 0.5 Бк/л). Со временем произошло снижение выноса радия из хранилища, обусловленное вымыванием растворимых соединений и переходом оставшихся радионуклидов в нерастворимую фазу (Таскаев, Кичигин, 2002). Для того, чтобы оценить допустимый уровень радиоактивного загрязнения экосистем, согласно рекомендациям МКРЗ (Международ-

ная комиссия по радиологической защите), необходимо выбрать условные виды-индикаторы. Это доминантные виды в подобных экосистемах, чувствительные к загрязнению. Выбор фототрофных организмов в качестве тест-объектов обусловлен тем, что они являются первичным звеном трофической цепи водоемов. Ряска малая давно используется при тестировании химического загрязнения, она хорошо культивируется в лабораторных условиях, обладает малыми размерами, быстрым ростом при pH от 5 до 9, вегетативным размножением.

Цель работы – оценить токсичность природных вод на территории и вблизи хранилища радиоактивных отходов пос. Водный Республики Коми.

### Материалы и методы

Пробы воды взяты из водоема на территории хранилища радиоактивных отходов, расположенного на берегу р. Ухта в пос. Водный Республики Коми, и из озера на противоположном берегу реки. Забор проб происходил в июне 2014 г.

Вклад внешнего  $\gamma$ -излучения учитывали, измеряя мощность экспозиционной дозы с помощью дозиметра. Мощность экспозиционной дозы около водоема на территории хранилища радиоактивных отходов составляет 50 мкР/ч, удельная активность сухой массы ряски малой – 5 Бк/кг (Рачкова, Шуктомова, 2013). Помимо загрязнения территории хранилища радиоактивными ураном и радием имеется проблема избыточного количества бария и хлора, которые использовались в технологическом процессе при функционировании производства. Мощность экспозиционной дозы около озера была в пределах нормы (8-10 мкР/ч). Воды обоих участков по минерализации можно охарактеризовать как пресные.

Лабораторией миграции радионуклидов и радиохимии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № САРК RU.0001.441623) проведен радиохимический анализ воды, катионно-анионный состав определили в лаборатории «Экоаналит» (Аттестат аккредитации РОСС RU.0001.511257 от 16.04.2009).

Материалом для работы послужили растения *Lemna minor*, собранные в водоемах окрестностей г. Сыктывкара. Растения обеззараживали 0.5% -ным гипохлоритом натрия в течение 2 мин., затем выращивали на среде Штейнберга. Культивирование проводили в климатической камере с микропроцессорным управлением и цветным жидкокристаллическим дисплеем KBWF 240 (Binder, Германия) при стандартных условиях: температура –  $24 \pm 0.1$  °C, фотопериодичность – 16 ч свет/8 ч темнота, 70%-ная влажность. При проведении эксперимента колонии, состоящие из двух-четы-



рех фрондов, отбирали из материнской культуры и переносили в тестовые емкости со 100%-ной природной водой из водоема на территории хранилища и озера. Вода была предварительно отфильтрована. Каждая экспериментальная емкость содержала 9-12 пластинок. В качестве контроля использовали питательную среду. Время экспозиции составило 28 дней. На 7, 14, 21, 28 день проведена оценка количественных и морфологических показателей. Проанализированы изменения удельной скорости роста, площади листовой поверхности, длины корня, уровень и характер повреждения фрондов в виде хлорозов и некрозов, окраска фрондов. Средняя удельная скорость роста рассчитывается как логарифмическое увеличение темпа роста – количества фрондов для каждой параллели опытных и контрольных групп (Методы испытания химической продукции..., 2011). Площадь листовой поверхности вычислена с помощью программы **Image J по фотографиям**. Достоверность различий между параметрами в опыте и контроле определяли с помощью критерия Стьюдента.

### Результаты и обсуждение

Ряска способна к накоплению определенных химических веществ. Цинк (0.3 мг/л), медь (3.9 мкг/л), барий (0.3 мг/л), стронций (3.3 мг/л), хлор (160 мг/л) присутствуют в водоеме на территории хранилища в токсичных для ряски концентрациях. Накопление тяжелых металлов в конечном счете приводит к осмотическому стрессу и снижению роста. Это подтверждают результаты тестирования воды с хранилища радиоактивных отходов. Удельная скорость роста ряски, выращенной на воде из водоема на территории хранилища РАО, снизилась на 50% (рис. 1). Скорость роста ряски в воде из озера статистически достоверно ниже, чем в водоеме на территории хранилища РАО ( $p \leq 0.05$ ). На 14-, 21-й день статистически достоверно скорость роста выше в среде, чем на воде с озера и водоема с территории хранилища ( $p \leq 0.01$ ). После 21 дня новых фрондов у ряски, выращенной на воде из пос. Водный, не появилось.

Окраска фрондов ряски на питательной среде интенсивно зеленая. У ряски, выращенной на природной воде – светло-, желто- и коричневатозеленая. Уже на седьмой день эксперимента в опытных емкостях появились хлорозы – пожелтение или полное обесцвечивание фронда в результате потери пигмента, и некрозы – локализованные отмершие области ткани (коричневые или белые). Появление повреждений фронда в виде хлорозов и некрозов является показателем сильного генотоксического действия стрессирующих факторов. При прорастании ряски на питательной среде

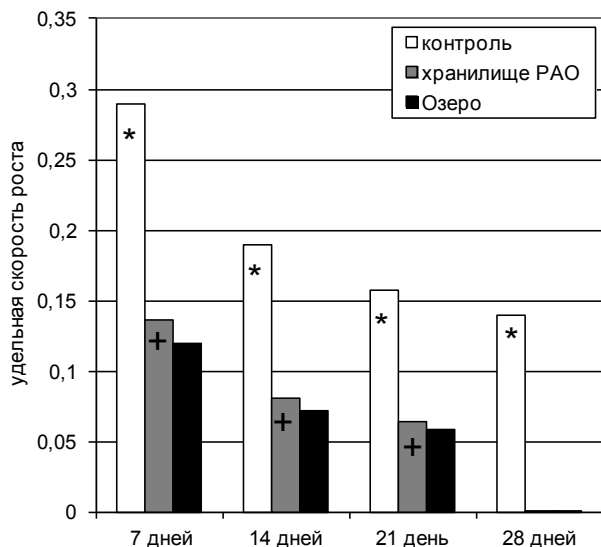


Рис. 1. Изменение удельной скорости роста ряски малой. \* Скорость роста ряски в контроле выше, чем на природной воде ( $p \leq 0.01$ ); + – скорость роста ряски выше на воде из озера по сравнению с водой из хранилища PAO ( $p \leq 0.05$ ).

подобные морфологические изменения практически не встречаются (меньше 1%). При прорастании ряски на воде с хранилища радиоактивных отходов уровень хлорозов и некрозов достигает 55% (рис. 2). У ряски, выращенной на воде из озера, уровень хлорозов и некрозов ниже, но незначительно. На 7-, 14-, 21-, 28-й день число поврежденных фрондов выше в колониях ряски, выращенной на воде из пос. Водный и из озера по сравнению с растениями, выращенными на среде ( $p \leq 0.01$ ).

Сравнение площадей фрондов ряски, выращенных на воде из импактных районов, и контроле выявило отсутствие отличий. Следует отметить увеличение площади листецов ряски на 18%, выращенной на воде с территории хранилища, по сравнению с началом воздействия. Корни ряски содержат хлорофилл и способны к фотосинтезу. Длина корней, измеренных на 28-й день, значительно больше у ряски, выращенной на природной воде (в 2.6 раза), но они белого цвета, а в контроле – зеленого.

Радиохимический анализ воды показал, что активность воды в водоеме на территории хранилища и озере соответствует НРБ (нормам радиационной безопасности): активность  $^{228}\text{Th}$  до 0.4 мБк/л,  $^{230}\text{Th}$  – до 5,  $^{232}\text{Th}$  – до 0.2,  $^{226}\text{Ra}$  – до 148 мБк/л. Природ-

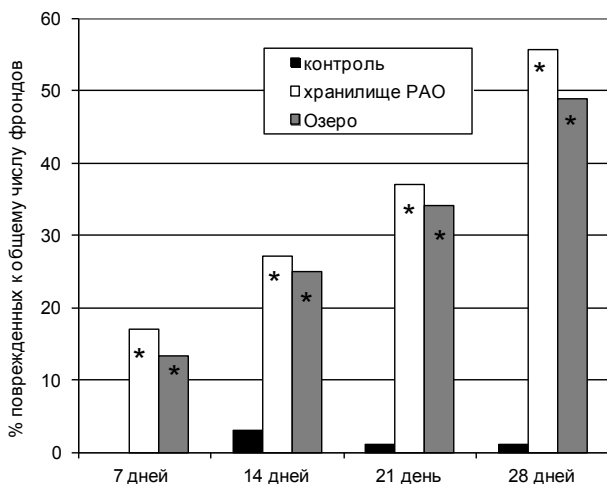


Рис. 2. Уровень повреждения фрондов в виде хлорозов и некрозов. \* Отличия достоверны при сравнении воды с хранилища и озера с контролем при  $p \leq 0.05$ .

ная вода с обоих участков содержит повышенное содержание гидрокарбонатов (400-420 мг/л), кальция (150 мг/кг), низкое – нитратов (до 0.044 мг/л), калия (5-15), фосфатов (до 1), железа (до 0.05 мг/л). Слабая минерализованность природных вод – одна из причин угнетения роста ряски в эксперименте, так как для гидрофитов химический состав водной среды является главенствующим экологическим фактором. В то же время в водоеме на территории хранилища PAO имеется повышенное содержание кальция, магния, что способствовало лучшему росту ряски на этой воде по сравнению с озером. Замедлению роста ряски на природной воде по сравнению со средой и высокому уровню хлорозов и некрозов может способствовать содержание токсичных для растений концентраций тяжелых металлов: цинка (0.3 мг/л, избыток в водоеме хранилища в 10 раз), стронция (до 3.3 мг/л), а также хлора (до 160). Воздействие токсичных концентраций металлов обычно вызывает быстрое торможение роста. Разрушение фотосинтезирующих пигментов тяжелыми металлами может быть связано с заменой ионов магния в тетрапиррольном кольце молекул хлорофилла, ингибированием важных ферментов, связанных с биосинтезом хлорофилла, воздействием активных форм кислорода на перекисное окисление липидов в мембранах хлоропластов (Basile et al., 2001). О снижении уровня хлорофилла свидетельствует изменение окраски ряски малой.

### Выводы

Активность образцов воды, взятой из хранилища радиоактивных отходов и озера, расположенного на противоположном берегу, соответствует НРБ. Несмотря на это для ряски малой вода из водоема хранилища является токсичной, вызывает 50%-ное сокращение удельной скорости роста, вызывает высокий уровень хлорозов и некрозов, обесцвечивание фрондов. Причинами являются недостаток макро- и микроэлементов, повышенное содержание отдельных тяжелых металлов в водах данного региона, а также химическое загрязнение воды на территории хранилища.

### ЛИТЕРАТУРА

Методы испытания химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста. ГОСТ 32426-2013. М., 2011.

*Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И.* Сравнительный анализ миграционной способности и концентрирования природного урана в экосистемах рек Печорского бассейна // Радиационная биология. Радиоэкология, 2013. Т. 53. № 1. С. 84-94.

*Таскаев А.И., Кичигин А.И.* «Водный промысел»: производство радия в Республике Коми. Сыктывкар, 2002. 30 с.

*Basile A., Sorbo S., Cardi M. et al.* Effects of heavy metals on ultrastructure and Hsp70 induction in Lemna minor L. exposed to water along the Sarno River, Italy // Ecotoxicol Environ Saf., 2015. № 114. P. 93-101.

## РАЗРАБОТКА ФИТОКОМПОЗИЦИИ С РАНОЗАЖИВЛЯЮЩЕЙ АКТИВНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКТОВ РОДА PRUNELLA L.

**Е.В. Болотник**

Ботанический сад УрО РАН  
E-mail: [LizaVB@yandex.ru](mailto:LizaVB@yandex.ru)

Терапия ожогов является актуальной проблемой в современных социально-экономических условиях. Как показывают данные Всемирной организации здравоохранения, число поражений ожогами во всем мире непрерывно увеличивается. Они представляют серьезную медицинскую, социальную и экономическую проблему. В структуре общего травматизма по частоте они занимают третье место, а в некоторых странах – даже второе. На термические поражения приходится более 6% от числа травм мирного времени. Это связано с увеличением частоты получения ожогов в быту (около 70% среди всех ожогов) и на производстве, что можно объ-

яснить высокой энерговооруженностью производства, широкомасштабным применением токов высокого напряжения и агрессивных химических веществ (Кузин, 1982).

Основные задачи лечения обожженных – сохранение жизни пациентов и восстановление целостности покровов. Начиная со стадии поражения кожи и дальнейшего развития ожогового шока до стадии выздоровления, больной нуждается в интенсивном комплексном лечении.

В настоящее время используется множество современных лекарственных средств для лечения ожогов. Основное действие направлено на предотвращение развития раневой инфекции и на регенерацию тканей. Они препятствуют пересыханию тканей и уменьшают воспалительные процессы. Помимо достоинств синтетические лекарственные препараты имеют определенные недостатки: аллергические реакции, раздражение. Именно этот факт является одной из причин применения лекарственных средств растительного происхождения. Как правило, фитопрепараты более безопасны, поскольку практически не имеют побочных эффектов, они менее токсичны, действие их на организм мягче, физиологическая активность шире.

В этом аспекте значительный интерес представляет экстракт черноголовки *Prunella L.*, настой и отвар из надземной части которой широко используется в народной медицине: оказывает значительный ранозаживляющий и противовоспалительный эффект при лечении кровотечений различной этиологии, пиококковой инфекции в полости рта и горла, эпилепсии, экссудативном диатезе, злокачественных образованиях (Растительные..., 1991).

Цель настоящего исследования – создать опытные образцы мягких лекарственных форм с экстрактом черноголовки и изучить их возможные закономерности и особенности ранозаживляющей активности при термическом ожоге на животных.

Отбор проб растительного сырья проводили в природных популяциях *Prunella L.* Надземную часть растений черноголовки крупноцветковой и обыкновенной высушивали при комнатной температуре и измельчали, экстрагировали 96%-ным этанолом в течение 24 ч при комнатной температуре. Экстракт пропускали через бумажный фильтр и высушивали на ротормном испарителе. Сухие пробы (100 мг) экстрагировали 10 мл 96%-ного метанола. ВЭЖХ розмариновой кислоты проводили на оборудовании «Кнауер»: насос Smartline 1000, детектор UV-VIS Smartline 2500 с использованием колонки Kromasil 100-5C18 250×4 мм (Eka Nobel, Швеция) при скорости элюирования 0.7 мл/мин., длине волны 310 нм с использованием элюента вода–ацетонитрил–фосфорная кис-

лота (85:15:0.05). Сухой экстракт, содержащий 60% розмариновой кислоты, добавляли в карбопол и гидрокрем.

Доклинические исследования проводили на 50 белых крысах линии Wistar одного пола и возрастной группы. Экспериментальных животных распределяли на пять групп по 10 особей в каждой: М-1 – прошедшие лечение мягкой лекарственной формой на основе карбопола и экстракта черноголовки; М-2 – мягкой лекарственной формой на основе гидрокрема и экстракта черноголовки; О-1 – основной карбопола, О-2 – основной гидрокрема. Гидрокрем был предоставлен с ООО Концерн «Калина».

Термический ожог крысам, находящимся под эфирным наркозом, был создан металлической пластиной (площадь 6×2 см), разогретой до температуры 98-100 °С. Время контакта пластины с выстриженным от шерсти участком кожи животного – 40 сек. Данный ожог соответствует II-IIIa степени тяжести. Через сутки после ожога крысам опытных групп наносили на пораженные участки кожи фитокомпозиции. Контрольная группа лечения не получала. Исследуемые композиции в лечебных целях наносили на ожоговые поверхности ежедневно один раз в сутки в одно и то же время в дозе 200 мг стеклянной палочкой, равномерно распределяя по всей поверхности в течение 21 дня. Анализировали поведенческие реакции в тесте «Открытое поле» (Хабриев, 2005).

### Результаты и их обсуждение

Проводили сравнительную оценку заживления ожоговых ран экспериментальных животных, анализируя результаты фармакологического действия композиций. Процесс эпителизации термических ожогов происходит в несколько стадий, в разных группах по-разному. В группах животных, прошедших лечение фитокомпозициями, отмечено более активное заживление термических ожогов, в среднем на 3-8 сут., по отношению к контрольной группе и на один-два дня с группами, пролеченными основами без экстракта (см. таблицу).

Оценивая динамику ухода реакции крыс с центрального круга можно пронаблюдать, что на первые сутки после создания ожога у всех групп она преимущественно замедляется, но при этом имеет колебательный характер. К 15- и 21-м сут. этологическая реакция начинает восстанавливаться ближе к результатам до создания ожога. В контрольной группе исследуемая реакция оказалась выше, чем в группах М-1, М-2 и О-1, О-2.

Анализируя показатели горизонтальной активности крыс, можно заметить, что после создания ожога динамика поведенческих реакций снижается во всех группах, но в группах М-1, М-2

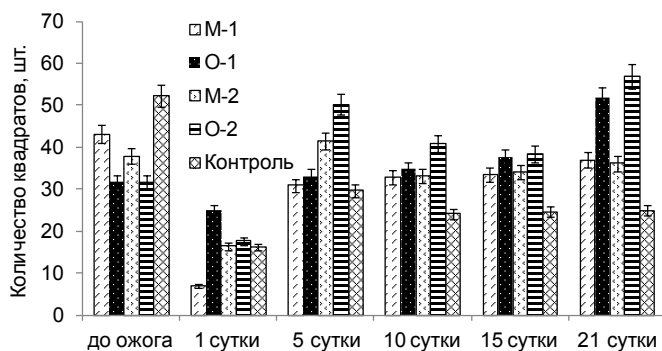
**Эпитализация ожоговых ран  
на фоне использования исследуемых композиций**

Группы животных	Время, сут.				
	Образование корочки (струпа)	Нарушение целостности и корочки (струпа)	Отторжение корочки (струпа)	Формирование рубца	Покрытие шерстью
М-1	3	6	8	13	21
О-1	4	7	9	20	27
М-2	3	6	8	12	21
О-2	4	7	9	19	26
Контрольная	4	8	11	20	27

поведенческая реакция крыс начинает восстанавливаться, особенно в сравнении с показателями первых суток после ожога (см. рисунок). У контрольной группы и в группах О-1, О-2 исследуемая реакция остается угнетенной. Подобные изменения показателей были зарегистрированы и в вертикальной активности крыс.

После обработки результатов обследованных «нор» животными установлена незначительная лечебная эффективность при использовании О-1, которая проявилась в недостаточном восстановлении исследовательской (познавательной) реакции крыс.

Анализируя эмоциональный процесс чистки у крыс установлено, что более стабильные показатели оказались у М-1, М-2, О-1, О-2 групп. Этот процесс является свидетельством качества здоровья опытных групп, получавших аппликации фармацевтических композиций в мягких лекарственных формах. В то же время у крыс с ожоговой травмой без лечения этот процесс оказался максимально угнетенным.



Соотношение количества пересеченных квадратов (горизонтальная активность) у опытных и контрольной групп животных в динамике по суткам.

Таким образом, используя методику «открытое поле», отмечено угнетение двигательной активности в контрольной группе и ее восстановление в процессе лечения в группах М-1, М-2. В экспериментальных группах, получавших лечение аппликациями на основе карбопола и гидрокрема с экстрактом *Prunella L.*, отмечена тенденция к увеличению познавательной активности и эмоциональной реакции, что является свидетельством качества здоровья опытных групп.

### Выводы

На фоне смоделированного термического ожога у крыс при кожных аппликациях выявлено более легкое течение ожоговой болезни при лечении композициями на основе карбопола и гидрокрема с экстрактом черноголовки, что подтверждено полученными параметрами локомоторной активности по методике «открытое поле».

### ЛИТЕРАТУРА

Кузин М.И., Сологуб В.К., Юденич В.В. Ожоговая болезнь. М.: Медицина, 1982. 160 с.

Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Hippuridaceae – Lobeliaceae* / Отв. ред. П.Д. Соколов. СПб., 1991.

Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. М.: Медицина, 2005. 829 с.

## ДОЗОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ И ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФЕНОМЕНА РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО ЗАМЕДЛЕНИЯ КЛЕТЧНОГО СТАРЕНИЯ *IN VITRO*

И.О. Вележанинов, А.В. Ермакова  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: vellio@yandex.ru

Хорошо известно, что ионизирующее излучение в высоких дозах оказывает детерминируемое деструктивное действие на биологические системы. В то же время эффекты ионизирующего излучения в малых дозах не описываются путем экстраполяции с диапазона высоких доз и характеризуются проявлением таких специфических феноменов, как гормезис, адаптивный ответ и гиперрадиочувствительность по разным показателям и на различных уровнях организации. В рамках совместных исследований Института



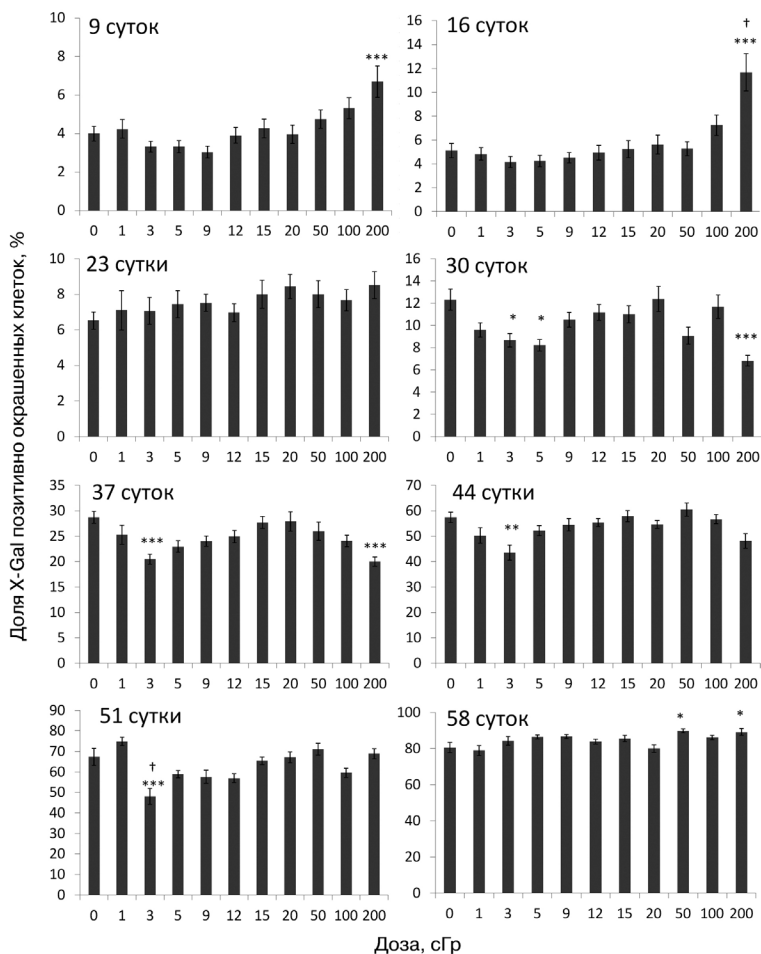
биологии Коми НЦ УрО РАН и Chalk River Laboratories of Atomic Energy of Canada Limited (ныне Canadian Nuclear Laboratories) был обнаружен ранее не описанный эффект ионизирующего излучения в малых дозах – замедление клеточного старения культуры нормальных фибробластов человека линий *HFL1* и *AG01522* при облучении их на ранних пассажах в дозах 1.25 и 10 сГр.

Цель настоящей работы – верификация и выявление дозовой зависимости эффекта радиационно-индуцированного замедления клеточного старения с использованием нормальных фибробластов легких эмбриона человека (ФЛЭЧ-104).

Клетки линии ФЛЭЧ-104 на 22-24 пассаже облучали в дозах 0, 1, 3, 5, 9, 12, 15, 20, 50, 100 и 200 сГр от источника  $^{60}\text{Co}$  при мощности 1 сГр/с. Через 9, 16, 23, 30, 37, 44, 51 и 58 дней после облучения оценивали уровень клеточного старения культуры путем гистохимического окрашивания специфическим субстратом  $\beta$ -галактозидазы X-Gal по протоколу производителя (Sigma, USA). Эксперимент проводили в четырех параллельных повторностях. В каждой временной точке анализировали по 200 клеток  $\times$  8 микрокультур в каждой повторности. Статистическую обработку проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом Ньюмана-Кеулса.

В результате проведенных исследований подтвержден эффект радиационно-индуцированного замедления клеточного старения. Максимальное запаздывание в накоплении стареющих клеток относительно контрольной культуры наблюдали после облучения в дозах 3 и 5 сГр в период с 30 до 51 дня после облучения (см. рисунок).

Облучение в высоких дозах, наоборот, вызывало значительное повышение доли стареющих клеток в первые недели после облучения. Данный эффект хорошо известен из литературы и связан с массовым переходом сильно поврежденных клеток в необратимую стресс-индуцированную остановку клеточного цикла (Day et al., 2014). Однако в описанных на настоящий момент исследованиях не предпринимались попытки проанализировать, что происходит с уровнем клеточного старения культуры спустя длительный период времени после облучения. В настоящей работе впервые показано, что уровень клеточного старения в культурах клеток, облученных в дозе 2 Гр, опускается ниже контрольного через 30-37 сут. после облучения. По всей видимости, клетки, сумевшие пройти первые контрольные точки клеточного цикла после облучения, несмотря на полученные повреждения, пролиферируют быстрее необлученных.



Доля X-Gal позитивно окрашенных клеток через 9, 16, 23, 30, 37, 44, 51 и 58 сут. после облучения в дозах 0, 1, 3, 5, 9, 12, 15, 20, 50, 100 и 200 сГр. \* \*\* и \*\*\* – различия в сравнении с контролем достоверны при  $p < 0.05$ , 0.01 и 0.001 соответственно. † – различия со всеми другими вариантами облучения достоверны при  $p < 0.05$  (однофакторный дисперсионный анализ с апостериорным тестом Ньюмана-Кеулса).

Эффект радиационно-индуцированной стимуляции пролиферации клеток различных тканей млекопитающих в экспериментах *in vitro* известен для малых доз и во многом может быть основной обнаруженного нами эффекта замедления клеточного ста-

рения (Croute et al., 1986; Suzuki et al., 2001) и *in vivo* (Li et al., 2004; Wang, Cai, 2000). Очевидно, что стимуляция пролиферации и в то же время более позднее вступление клеток в необратимую остановку цикла указывают на повышение пролиферативного потенциала. Возможной причиной такого роста может быть увеличение стрессоустойчивости клеток (хорошо описанный в литературе адаптивный ответ) и, как следствие, – меньшая частота перехода в стресс-индуцированную остановку клеточного цикла.

Таким образом, в настоящей работе подтверждена воспроизводимость эффекта радиационно-индуцированного замедления клеточного старения, полученного нами ранее. Показано, что максимальное запаздывание в накоплении стареющих клеток ФЛЭЧ-104 относительно контрольной культуры наблюдали после облучения в дозах 3 и 5 сГр. Обнаружено, что доля стареющих клеток снижается после резкого состаривания культуры в ответ на облучение в дозе 2 Гр.

#### ЛИТЕРАТУРА

Day R.M., Snow A.L., Panganiban R.A. Radiation-induced accelerated senescence: a fate worse than death? // *Cell Cycle*, 2014. Vol. 13. № 13. P. 2011-2012.

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

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. Vol. 61. № 14. P. 5396-5401.

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. Vol. 32. № 11. P. 1088-1096.

Wang G.J., Cai L. Induction of cell-proliferation hormesis and cell-survival adaptive response in mouse hematopoietic cells by whole-body low-dose radiation // *Toxicol. Sci.*, 2000. Vol. 53. № 2. P. 369-376.

## ВЛИЯНИЕ НЕСТЕРОИДНЫХ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGATSER*

А.А. Данилов<sup>1</sup>, М.В. Шапошников<sup>1,2</sup>, О.Г. Шевченко<sup>1</sup>, Н.В. Земская<sup>1,2</sup>,  
А.А. Москалев<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>3</sup>Московский физико-технологический институт (государственный университет)  
E-mail: [ritsuko1988@yandex.ru](mailto:ritsuko1988@yandex.ru)

Снижение функциональности организма часто связано с возраст-зависимыми заболеваниями, которые могут быть ассоциированы с процессами хронического воспаления. Нестероидные противовоспалительные препараты (НСПВП) уже давно и широко используются в медицине. Было показано, что они способны замедлять развитие возраст-зависимых патологий (Asanuma et al., 2004). В работе нами исследовались геропротекторный потенциал НСПВП на модельном организме *Drosophila melanogaster*, а также эффект, оказываемый этими веществами на продолжительность жизни дрозофил с нарушениями в *Pkh2-upk1-lem3-tat2* сигнального пути.

Цель работы – изучить геропротекторный потенциал нестероидных противовоспалительных препаратов. Мы исследовали 10 веществ (каждое в концентрации 0.05, 0.5 и 1 мкМ): аспирин, валерил-салицилат, транс-резвератрол, SC-560, APHS, NS-398, SC-58125, вальдекоксиб, SAU10404, ликофелон. Вещества добавлялись дрозофилам в пищу. Кроме параметров продолжительности жизни, анализировали локомоторную активность, плодовитость, устойчивость к стрессам (гипертермия, окислительный стресс, голодание), уровень вторичных продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). Также изучали антиоксидантную и мембранопротекторную активности НСПВП на эритроцитах.

Наблюдалось значительное увеличение медианной продолжительности жизни и возраста гибели 90% особей как у самцов, так и у самок при воздействии исследуемыми НСПВП.

Все вещества в концентрации 0.05 мкМ значительно увеличивали медианную продолжительность жизни самцов на 8.3-19.6%, а возраст гибели 90% особей – на 5.1-20.3%. Геропротекторная активность исследуемых веществ в концентрациях 0.5 и 1 мкМ при воздействии на самцов была ниже. В концентрации 0.5 мкМ, аспирин, SAU10404, APHS, NS-398, SC-58125 и ликофелон повышали медианную продолжительность жизни самцов на 4-8%, аспирин увеличивал возраст гибели 90% особей на 6.7%. При воз-

действии концентрации 1 мкМ аспирина, APHS, NS-398, SC-58125 увеличивали медианную продолжительность жизни на 6.8-16.9%, а NS-398 повысил возраст 90%-ной смертности на 3.9%.

При воздействии НСПВП в концентрации 0.05 мкМ на самок наблюдалось увеличение медианой продолжительности жизни на 5.9-12%. Также SC-560, транс-ресвератрол и валдекоксиб в этой концентрации повышали возраст гибели 90% особей на 3.4-6.9%, аспирин и NS-398 в концентрации 0.5 мкМ – медианную продолжительность жизни на 7.7 и 9.3% соответственно, а возраст гибели 90% особей – на 1.6 и 6.3%. APHS в концентрации 0.5 мкМ увеличивали медианную продолжительность жизни на 9.6%. Наиболее значительный геропротекторный эффект у самок наблюдался при воздействии НСПВС в концентрации 1 мкМ. Аспирин в этой концентрации повышал медианную продолжительность жизни на 32.7%, транс-резвератрол, SAУ10404, APHS, NS-398, валдекоксиб и ликофелон в концентрации 1 мкМ – на 9.6-15.4%. Все тестируемые вещества, кроме валерил-салицилата, увеличивали возраст гибели 90% особей на 4.1-13.7%.

Анализ двигательной активности показал рост этого показателя в тесте на отрицательный геотаксис у самцов в последней точке измерения на 45-й день, у самок никаких существенных изменений в тесте на отрицательный геотаксис при воздействии НСПВС не отмечено.

Снижение спонтанной активности самцов и самок в первой половине жизни наблюдали на 5-25-й день в большинстве вариантов исследования. Тем не менее, в 35 и 45 дней спонтанная активность в большинстве вариантов воздействия была равна или выше контрольных значений.

Исследуемые вещества по-разному повлияли на плодовитость самок. Выявилось увеличение плодовитости в середине времени измерений в большинстве вариантов эксперимента, но продление репродуктивного периода не наблюдалось. Можно отметить, что НСПВП в концентрации 0.05 мкМ и особенно 0.5 мкМ оказывали больше положительных эффектов на плодовитость самок, чем при 1 мкМ. Некоторые из исследуемых веществ, имеющие наиболее выраженные геропротектные свойства, часто негативно влияли на плодовитость. Это может быть связано с тем, что НСПВП ингибируют активность фермента *Pxt* у дрозофил, который участвует в процессах фолликулогенеза (Tootle, Spradling, 2008).

Известно, что продолжительность жизни связана со стрессоустойчивостью особей. Часто долгоживущие линии лучше сопротивляются стрессам (Harshman, 1999). В связи с этим изучено влияние НСПВП на стрессоустойчивость дрозофил. Было показана

но, что у самцов НСПВП в концентрации 0.05 мкМ значительно увеличивали устойчивость к прооксиданту параквату, а при 1 мкМ – к гипертермии. Устойчивость к голоданию повышалась не столь существенно. Воздействие САУ10404, аспирином, APHS, SC-560 и транс-резвератролом в концентрации 1 мкМ приводило к снижению выживаемости в условиях окислительного стресса, в то время как при воздействии SC-560, SC-58125, транс-резвератрола, ликофелона при 1 мкМ падала устойчивость к голоданию. При оценке устойчивости самок к экзогенным стрессам показано, что НСПВП в концентрации 1 и 0.05 мкМ способны значительно повышать выживаемость при воздействии паракватом, гипертермией и голоданием. Аспирин в концентрации 0.05 мкМ снижал выживаемость самок при тепловом шоке, при 1 мкМ – голодании, при 1 и 0.05 мкМ – окислительном стрессе. APHS значительно снижает выживаемость самок при тепловом шоке в концентрации 0.05 мкМ, а SC-560 и NS-398 – 1 мкМ. Валерил-салицилат снижает выживаемость самок при окислительном стрессе в концентрации 0.05 мкМ, а САУ10404, транс-резвератрол и ликофелон – 1 мкМ. Транс-резвератрол и ликофелон при 1 мкМ также значительно снижают устойчивость самок к голоданию.

В зависимости от концентрации и используемой экспериментальной модели НСПВП демонстрируют как анти-, так и прооксидантные свойства. Высокая антиоксидантная активность НСПВП в концентрации 1 мкМ продемонстрирована на модели пероксид индуцированного гемолиза эритроцитов. Однако в работе с дрозофилами не удалось обнаружить статистически значимой зависимости между антиоксидантными свойствами НСПВП и их способностью увеличивать продолжительность жизни модельного объекта.

Известно, что некоторые НСПВП, такие как ибупрофен и цефекоксиб, имеют мишени у дрожжей, нематод, которые задействованы в Pkh2-урк1-lem3-tat2 сигнальном пути (Casamayor et al., 1999). Поэтому была изучена роль Pkh2-урк1-lem3-tat2 сигнального пути в эффектах, оказываемых НСПВП на продолжительность жизни дрозофил. В нашем исследовании РНК-интерференция гена Pkh2/PDK1 привела к увеличению продолжительности жизни самок дрозофил. Возможно, воздействие НСПВП снижает положительный эффект РНК-интерференции Pkh2/Pdk1 на самок. При воздействии НСПВП на мух с РНК-интерференцией других элементов Pkh2-урк1-lem3-tat2 сигнального пути также наблюдалось снижение продолжительности жизни.

Таким образом, нами была продемонстрирована способность НСПВП оказывать геропротекторный эффект на особей *Drosophila*

*melanogaster*. Проведена сравнительная оценка мембранопротекторных и антиоксидантных свойств исследуемых веществ на клеточной модельной системе в условиях острого окислительного стресса. Также подтверждено, что геропротекторный эффект исследуемых НСПВП у дрозофил опосредуется Pkh2-урк1-lem3-tat2 сигнальным путем.

#### ЛИТЕРАТУРА

Asanuma M., Miyazaki I., Ogawa N. Neuroprotective effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on neurodegenerative diseases // Curr. Pharm. Des., 2004. № 10(6). P. 695-700.

Casamayor A., Torrance P.D., Kobayashi T. et al. Functional counterparts of mammalian protein kinases PDK1 and SGK in budding yeast // Curr. Biol., 1999. № 9. P. 186-197.

Harshman L.G., Moore K.M., Sty M.A., Magwire M.M. Stress resistance and longevity in selected lines of *Drosophila melanogaster* // Neurobiol. Aging., 1999. № 20. P. 521-529.

Tootle T.L., Spradling A.C. *Drosophila* Pxt: a cyclooxygenase-like facilitator of follicle maturation // Development, 2008. № 135(5). P. 839-847.

### ВЛИЯНИЕ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ РЕГУЛЯЦИИ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ НА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ И СУТОЧНУЮ АКТИВНОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е. Добровольская<sup>1</sup>, Е. Плюснина<sup>1,2</sup>, И. Соловьев<sup>2</sup>, А. Москалев<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>3</sup> Московский физико-технологический институт (государственный университет)

E-mail: dobrovol'sakaya.evgenia@gmail.com

С возрастом наблюдается усугубление нарушений ритмики физиологической активности, аperiodизма циклов сна и бодрствования. Процесс старения связан с изменениями уровня экспрессии различных генов. Не являются исключением и гены, формирующие систему «биологических часов» организма. Молекулярные часы можно обнаружить в каждой клетке периферических тканей многоклеточных организмов (Шноль, 1996). Основной экологический фактор, с которым связывается ритмика биологических процессов – свет. С суточными и годовыми колебаниями его интенсивности связаны такие явления, как сон, двигательная активность, покой, рост, размножение, половое поведение, линька, миграции.

Большинство генов циркадных ритмов человека – эволюционно консервативные и имеют ортологи у плодовой мушки *Drosophila*

*melanogaster*. Установлено, что у взрослых особей дрозофил наблюдается снижение экспрессии гена светочувствительного белка Cryptochrome, в то время как его сверхактивация у старых особей приводит к замедлению скорости старения (Rakshit, Giebultowicz, 2013). С другой стороны, дрозофилы с мутациями в генах циркадных ритмов характеризуются сниженной продолжительностью жизни (Kondratov et al., 2006). Сигнальный путь киназы TOR в присутствии избытка питательных веществ активизирует процессы роста и деления клеток, но подавляет стрессоустойчивость и ускоряет старение.

Цель данной работы – исследование влияния сверхактивации генов циркадных ритмов (*Period*, *Timeless*, *Clock*, *Cycle*, *Cryptochrome*) на стрессоустойчивость и суточную активность *Drosophila melanogaster*.

Структура системы осцилляторов иерархична. Ее функциональными единицами являются эволюционно консервативные транскрипционно-трансляционные петли обратной связи, найденные во множестве клеток различных органов. У плодовых мух с *Clock* (*Clk*) и *cycle* генов осуществляется транскрипция мРНК, с которых транслируются факторы, образующие CLK-CYC комплексы, стимулирующие, в свою очередь, экспрессию *period* (*per*) и *timeless* (*tim*). В последствие *per* и *tim* формируют гетеродимеры, которые осуществляют репрессию CLK-CYC, и, соответственно, свою собственную (Hardin, Panda, 2013). В другой петле отрицательной обратной связи комплекс CLK-CYC индуцирует экспрессию транскрипционных факторов *Par domain protein 1ε* (*Pdp1ε*) и *vri* (*vri*), первый из которых ведет себя как активатор *Clk*, а второй – как его репрессор (Sugan et al., 2003).

Циркадные часы вовлечены и в контроль над процессом старения. Доказательством этому может служить исследование Р. Кондратова, в котором мышь с недостаточностью продукта гена *BMAL1* (*cyc* – дрозофилиный ортолог) проявляла старческий фенотип (Kondratov et al., 2006).

### Материалы и методы

Для проведения экспериментов использовали следующие лабораторные линии *Drosophila melanogaster*: 1. *y, w; UAS-cry12/TM2*; 2. *y, w; UAS-cry24/CyO*; 3. *w; P{UAS-Clk.HA}*; 4. *w; UAS-per10*; 5. *w; UAS-per2.4*; 6. *y, w; P{tim-HA}*; 7. *w; P{UAS-CYC.HA}*; 8. *Elav*

Для кондиционной сверхэкспрессии генов циркадных ритмов скрещивали самок-носительниц с самцами линии ELAV, затем их



потомству сразу после вылета в корм с дрожжевой пастой вносили: опытной группе – RU486 (Mifepristone, «Sigma»), контрольной – спирт этиловый 96%-ный в разведении 1:100.

Для определения устойчивости к действию прооксидантов дрозофил рассаживали в банки с фильтровальной бумагой, пропитанной раствором 20 мМ параквата (Methyl Viologen, Sigma) в 5%-ной сахарозе при температуре 25 °С. Для оценки устойчивости к тепловому шоку мух содержали на стандартной агарно-дрожжевой питательной среде при температуре 35 °С. Для определения устойчивости к голоданию дрозофил помещали в банки с 2%-ным агаровым раствором при температуре 25 °С. Эксперименты вели до гибели последней дрозофилы. Два раза в день подсчитывали количество умерших особей, после чего анализировали показатели выживаемости: медианную и среднюю продолжительность жизни (ПЖ), процент умерших особей через 24 и 48 ч после начала воздействия.

### Результаты и обсуждение

В ходе эксперимента установлено, что индуцированная активация гена *Cryptochrome* у самцов и самок повысила стрессоустойчивость на 8-17% (табл. 1-6). Сверхэкспрессия генов *Period* (1 копия *Per*) и *Clock* в нервной системе *D. melanogaster* у самцов увеличила выживаемость на 8-27%. Кондиционная сверхэкспрессия генов циркадных ритмов на стадии имаго в нервной системе у самцов и самок снизила устойчивость к голоданию (табл. 1-6).

Снижение стрессоустойчивости у особей со сверхэкспрессией генов циркадных ритмов можно объяснить с позиций ритмики процессов, сопряженных с экспрессией генов (Rakshit, Giebultowicz, 2013).

### Выводы

Индукцированная активация гена *Cryptochrome* у самцов и самок увеличила стрессоустойчивость на 8-17%.

Сверхэкспрессия генов *Period* (1 копия *Per*) и *Clock* в нервной системе *D. melanogaster* у самцов повысила выживаемость на 8-27%.

Кондиционная сверхэкспрессия генов циркадных ритмов на стадии имаго в нервной системе у самцов и самок снизила устойчивость к голоданию.

При сверхэкспрессии генов циркадных ритмов (*Period*, *Clock*, *Cryptochrome*) суточные циклы у самцов с возрастом выражены сильнее, что говорит о взаимосвязи процессов старения и генов регуляции циркадных ритмов.

Таблица 1

## Параметры стрессоустойчивости у самок (окислительный стресс)

Генотипы	Median	90%	Max	n
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (контроль)	16	22	34	119
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (мифепристон)**	22**	54	78	150
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (контроль)	34	80	80	120
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (мифепристон)**	54**	78	78	96
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (контроль)	34	80	80	110
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (мифепристон)**	29	78	78	130
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (контроль)	34	59	78	81
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (мифепристон)**	54**	77*	78	132
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (контроль)	34	54	80	113
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (мифепристон)*	34	77**	78	100
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (контроль)	34	59	78	47
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (мифепристон)*	54**	77**	78	73
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	22	34	34	57
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)**	29*	78**	78	115

Здесь и далее: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.0005$  (Mediana – критерий по Гехану-Бреслоу-Вилкоксону, 90% – критерий по Ванг-Аллисону).

Таблица 2

## Параметры стрессоустойчивости у самцов (окислительный стресс)

Генотипы	Median	90%	Max	n
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (контроль)	16	29	59	106
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (мифепристон)**	16	34*	54	112
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (контроль)	34	59	59	120
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (мифепристон)**	54**	59	77	132
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (контроль)	22	54	77	90
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (мифепристон)*	54	59*	77	113
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (контроль)	54	77	77	83
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (мифепристон)*	54	59	77	80
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (контроль)	54	59	77	90
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (мифепристон)*	59	59	77	79
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	34	59	77	84
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)**	22	54	77	111

## ЛИТЕРАТУРА

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

Cyran S.A., Buchsbaum A.M., Reddy K.L. et al. vril1, Pdp1, and dClock form a second feedback loop in the Drosophila circadian clock // Cell, 2003. Т. 112. № 3. С. 329-341.

Таблица 3

## Параметры стрессоустойчивости у самок (голодание)

Генотипы	Median	90%	Max	n
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (контроль)	46	54	94	154
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (мифепристон)	46	54	94	140
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (контроль)	70	118	141	101
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (мифепристон)	54*	94**	128	113
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (контроль)	46	70	101	95
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (мифепристон)	46	70	94	134
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (контроль)	46	70	76	83
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (мифепристон)	46	70	94	140
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (контроль)	46	94	128	85
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (мифепристон)	46	54**	70	134
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (контроль)	46	70	70	136
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (мифепристон)	46	70	76	142
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	46	76	118	120
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)	46	46*	70	144

Таблица 4

## Параметры стрессоустойчивости у самцов (голодание)

Генотипы	Median	90%	Max	n
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (контроль)	46	70	101	119
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (мифепристон)	54	70	101	97
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (контроль)	54	70	94	122
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (мифепристон)	70	70	76	208
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (контроль)	46	76	118	119
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (мифепристон)	46	70	94	126
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (контроль)	54	70	94	104
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (мифепристон)	46	70	94	148
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (контроль)	54	70	70	112
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (мифепристон)	46	64*	70	135
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (контроль)	54	70	76	119
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (мифепристон)	54	76*	94	119
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	46	54	76	112
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)	46	46*	54	131

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

*Kondratov R.V., Kondratova A.A., Gorbacheva V.Y. et al.* Early aging and age-related pathologies in mice deficient in *BMAL1*, the core component of the circadian clock // *Genes & development*, 2006. Vol. 20. № 14. P. 1868-1873.

Таблица 5

## Параметры стрессоустойчивости у самок (тепловой шок)

Генотипы	Median	90%	Max	n
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (контроль)	96	144	176	141
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (мифепристон)	96	144	148	142
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (контроль)	148	195	196	117
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (мифепристон)	96*	195	197	134
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (контроль)	195	196	196	140
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (мифепристон)	144**	196	196	90
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (контроль)	195	195	196	101
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (мифепристон)	195	195	196	120
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (контроль)	195	195	195	98
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (мифепристон)	195	195	195	117
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (контроль)	155	196	196	152
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (мифепристон)	103**	195	197	145
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	195	196	196	115
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)	195	195	196	110

Таблица 6

## Параметры стрессоустойчивости у самцов (тепловой шок)

Генотипы	Median	90%	Max	n
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (контроль)	73	96	103	79
<i>UAS-cry12/ELAV</i> (мифепристон)	96*	144	195	106
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (контроль)	195	196	196	137
<i>UAS-HA-Clk/ELAV</i> (мифепристон)	196	197	197	153
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (контроль)	195	196	196	90
<i>UAS - cry 24/ELAV</i> (мифепристон)	195	196	197	109
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (контроль)	176	197	197	60
<i>UAS - per 10/ELAV</i> (мифепристон)	176	195	196	103
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (контроль)	195	195	195	99
<i>UAS - per 2.4/ELAV</i> (мифепристон)	195	195	196	81
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (контроль)	148	176	195	141
<i>UAS - cycle /ELAV</i> (мифепристон)	195**	196	196	75
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	195	195	196	97
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)	195	196	197	75

*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.

## ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗНЫХ ВИДОВ РОДА *DROSOPHILA* К ДЕЙСТВИЮ ПРООКСИДАНТА ПАРАКВАТА, ГИПЕРТЕРМИИ И ГОЛОДАНИЯ

Н.В. Земская<sup>1</sup>, А.А. Данилов<sup>2</sup>, Л.А. Шилова<sup>2</sup>, А.А. Москалев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: zemskaya@ib.komisc.ru

Неблагоприятные обстоятельства, ввергающие в стрессовое состояние, называют стресс-факторами. К экологическим факторам, вызывающим стресс, относят гипер- и гипотермию, гипо- и гипероксию, ионизирующие излучения, УФ, голодание, перенаселение. Стресс был определен как неспецифический ответ организма на любой внешний раздражитель (Ганс Селье, 1926; Burchfield, 1979).

Изменения, связанные со стрессом у насекомых, лежат в основе способности насекомых к адаптации и борьбе с последствиями изменяющихся условий. Например, у дрозофил высокий уровень устойчивости к высуханию связан с адаптацией к засушливым местам обитания, а морозостойкости – с адаптацией к обитанию в высоких широтах (David et al., 1983; Hoffmann, Parsons, 1991; Kimura, Verri, 1993). Для понимания этих адаптивных изменений необходимы исследования эволюционных стресс-зависимых признаков. Эти исследования могут осуществляться на видовом уровне, что поможет понять, как эволюционные процессы внутри популяции относятся к адаптивным изменениям между видами, которые подвергались воздействию различных климатических факторов.

Так, в нашей работе изучена устойчивость разных видов рода *Drosophila* к гипертермии, голоданию и окислительному стрессу. Перед нами стояли следующие задачи:

- оценить устойчивость дрозофил к гипертермии, голоданию и действию прооксиданта параквата;
- исследовать корреляционную зависимость между стрессоустойчивостью и продолжительностью жизни.

### Материалы и методы

Для оценки устойчивости особей разных видов дрозофил к действию стресс-факторов (прооксиданта параквата, гипертермии, голодания) отбирали пятидневных мух по 120-150 особей на каждый вариант эксперимента. Самок и самцов анализировали отдельно.

Для оценки устойчивости к действию прооксиданта дрозophil рассаживали в пробирки с фильтровальной бумагой, пропитанной раствором 20 мМ параквата (Methyl Viologen, 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 их помещали в пробирки с 2%-ным агаром и содержали в термостате при 25 °С. В таких условиях стресса дрозophil содержали до конца жизни. Дважды в день проводили подсчет числа умерших особей. Затем анализировали показатели выживаемости: медианная продолжительность жизни и время гибели 90% особей выборки, а также процент умерших особей каждые 24 ч. Эксперимент проведен в пяти биологических повторностях.

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных экспериментов получили, что наибольшая устойчивость к голоданию была у особей видов *D. virilis*, *D. saltans*, наименьшей – *D. erecta*, *D. biarmipes*, *D. kikkawai* (рис. 1). Выживаемость между данными видами отличалась примерно в четыре раза.

Наибольшей устойчивостью к окислительному стрессу обладали особи *D. virilis*, *D. saltans*, а наименьшей – *D. melanogaster*, *D. kikkawai*, *D. yakuba* (рис. 1). Выживаемость между данными видами различалась примерно в 3.5 раза.

Наибольшую устойчивость к гипертермии показали *D. virilis* и *D. melanogaster*, наименьшую – *D. kikkawai*, *D. pseudoobscura* (рис. 1). Различия в выживаемости между этими видами были примерно в 4.5 раза.

В работе Хоффманна показано, что устойчивость дрозophil к высыханию и голоданию может заметно отличаться на видовом уровне. Данные различия могут быть связаны с климатическими условиями, в которых изначально формировался каждый из видов со временем развития особей (Hoffmann, Harshman, 1999). Так, тропические виды менее устойчивы к высыханию, чем виды умеренных широт. Кроме того, они также менее устойчивы к голоданию, что подтверждается и в нашем исследовании (*D. erecta*, *D. biarmipes*, *D. kikkawai*). Виды умеренных широт в среднем тяжелее, с большим количеством липидных резервов и лучшей устойчивостью к голоду (Van Herrewege, David, 1997). Возможно, это и является причиной того, что *D. virilis*, *D. saltans* оказались более устойчивы к голоданию, а такие некрупные виды, как *D. biarmipes*, *D. kikkawai*, менее устойчивы как к голоданию, так и к действию прооксиданта параквата.

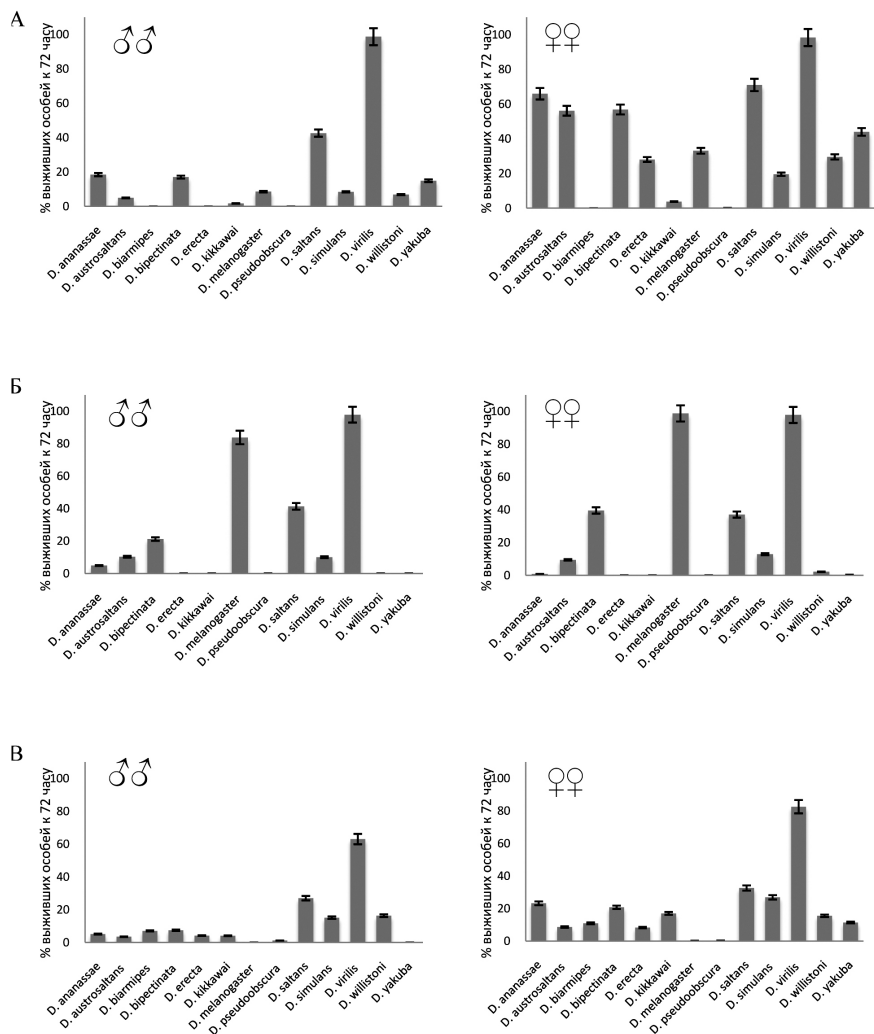


Рис. 1. Выживаемость особей разных видов рода *Drosophila* при воздействии стресс-факторов: голодание (А), гипертермия (Б), окислительный стресс (В).

Существует доказательство связи между стрессоустойчивостью и долголетием. Долгоживущие линии часто относительно более устойчивы к различным видам стресса. Устойчивость к любому физическому стрессу коррелирует с продолжительностью жиз-

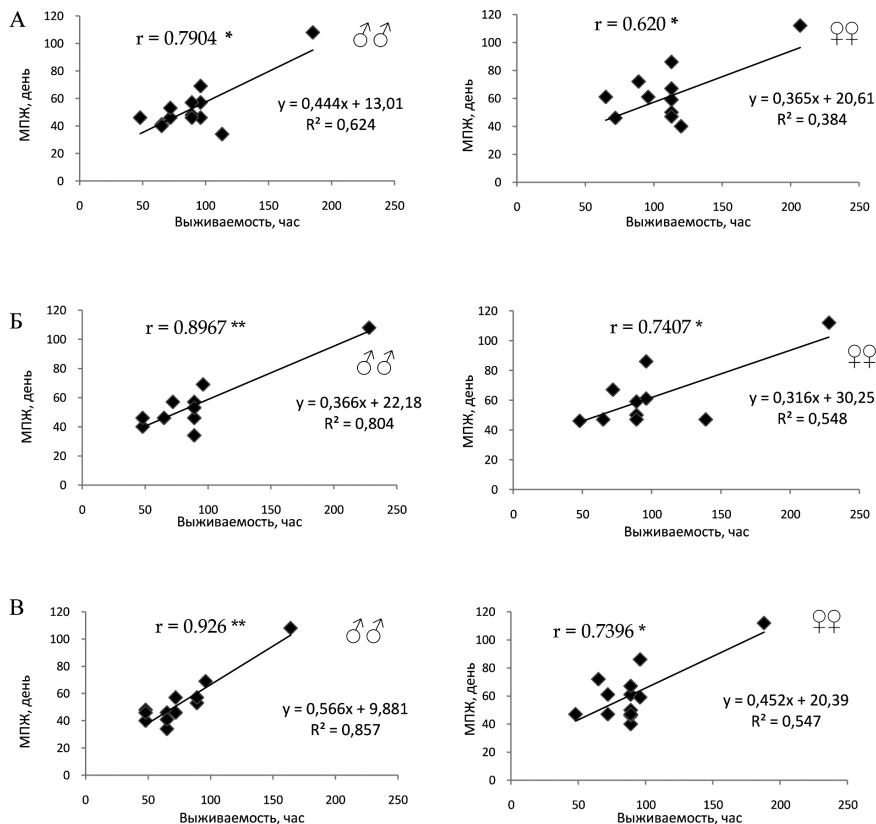


Рис. 2. Взаимосвязь максимальной продолжительности жизни особей разных видов рода *Drosophila* и их устойчивости к воздействию стресс-факторов: голодание (А), гипертермия (Б), окислительный стресс (В). \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.001$  по критерию Стьюдента.

ни у многих видов. Например, окислительное повреждение ускоряет старение, тогда как устойчивость к данному виду повреждения удлиняет жизнь (Москалев, 2008).

Нами проведен анализ зависимости между максимальной продолжительностью жизни и стрессоустойчивостью особей разных видов дрозофил (рис. 2). Подтверждено, что существует зависимость между этими двумя показателями практически во всех вариантах исследования. Можно сделать вывод, что долгоживущие виды более устойчивы к стрессовым условиям.



Во всех вариантах исследования наиболее сильно выделялся один вид дрозофил – *D. virilis*, который показал максимальное время выживания (гипертермия – 230 ч, голодание – 210, окислительный стресс – 190 ч). Такое резкое выделение данного вида по стрессоустойчивости может быть связано с его наибольшей максимальной продолжительностью жизни (до 140 дней) и размерами тела по сравнению с другими видами дрозофил в нашем исследовании. Кроме того, он обладает самым большим геномом среди исследованных видов дрозофил, что также может влиять на его высокую устойчивость к стресс-факторам различной природы.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы: разные виды одного рода *Drosophila* по-разному реагируют на такие стресс-факторы, как голодание, гипертермия и действие прооксиданта параквата; существует связь между продолжительностью жизни и стрессоустойчивостью.

Работа поддержана грантом ПРФ № МД-1090.2014.4 и грантом РФФИ № 14-04-01596.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Москалев А.А.* Старение и гены. СПб.: Наука, 2008. 359 с.
- Burchfield S.R.* The stress response: a new perspective // *Psychosom. Med.*, 1979. Vol. 41. № 8. P. 661-672.
- David R., Allemand R., Van Herrewege J., Cohet Y.* Ecophysiology: Abiotic factors. In the genetics and Biology of *Drosophila*. L.-N.-Y.: Academic Press, 1983. Vol. 3d. P. 105-170.
- Hoffmann A.A., Parsons P.A.* Evolutionary Genetics and Environmental Stress. Oxford: Oxford University Press, 1991. P. 284
- Hoffmann A.A., Harshman L.G.* Desiccation and starvation resistance in *Drosophila*: patterns of variation at the species, population and intrapopulation level // *Heredity (Edinb)*, 1999. Vol. 83 (Pt 6). P. 637-43.
- Kimura K., Beppu K.* Climatic adaptations in the *Drosophila* immigrans species group: seasonal migration and thermal tolerance // *Ecological Entomology*, 1993. Vol. 18. P. 141-149.
- Van Herrewege J., David R.* Starvation and desiccation tolerances in *Drosophila*: Comparison of species from different climatic origins // *Ecoscience*, 1997. Vol. 4. № 2. P. 151-157.

## ВНУТРИ- И МЕЖГРУППОВЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ У ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ, ОБИТАЮЩИХ В ПОЧВАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**А.В. Канева, Д.М. Шадрин, Я.И. Пылина, И.О. Велегжанинов**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [canewa.anuta@yandex.ru](mailto:canewa.anuta@yandex.ru)

Техногенное влияние на биосферу усиливается с каждым последующим десятилетием. Это приводит к появлению в окружающей среде новых, не характерных для нее источников различных видов воздействия либо увеличению в экосистемах абсолютного количества разнообразных загрязнителей, меняя саму среду обитания живых организмов. Значительное изменение природных факторов и дополнительное антропогенное давление вызывают временную или необратимую трансформацию биологических систем, в частности, популяций. Анализ генетической изменчивости позволяет установить, существуют ли внутри- и межгрупповые различия особей на импактных и фоновых территориях, и оценить влияние длительного техногенного воздействия на микроэволюционные процессы.

Цель исследования – оценка внутри- и межгрупповых генетических различий у дождевых червей, обитающих в почвах с разным уровнем техногенного загрязнения. Поставлены следующие задачи: 1) оценить генетические и географические расстояния между группами животных, обитающих на участках с разными уровнями загрязнения почвы; 2) оценить генетическое разнообразие внутри исследуемых групп.

Выбранные для исследования участки расположены вблизи пос. Водный (Республика Коми) и характеризуются разным уровнем техногенного загрязнения почв, обусловленного деятельностью предприятий по добыче радия в период с 1931 по 1956 г. (Иевлев, 2011). Участок 1 находится на левом берегу р. Ухты в 8 км выше по течению от хранилища радиоактивных отходов. Участок 2, расположенный на правом берегу р. Ухты в месте впадения р. Яреги в р. Ухту, выбран в качестве контрольного. Концентрации радионуклидов и тяжелых металлов в почвах этой территории соответствуют региональным фоновым значениям (Атлас почв Республики Коми, 2010). Участок 3 расположен на территории бывшего радиохимического завода в пойме рек Чуть и Ухта. Его загрязнение обусловлено разливом высокоминерализованных пластовых вод с повышенным содержанием  $^{226}\text{Ra}$  и продуктами их переработки. Участок 4 находится на территории необорудован-

ного хранилища радиоактивных отходов на левом берегу р. Ухты. Удельные активности тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) и концентрации тяжелых металлов в почвах исследуемых участков представлены в таблице.

В качестве фоновых значений содержания ТЕРН в почве выбраны соответствующие удельные активности элементов для контрольного участка 2. Превышения удельных активностей  $^{226}\text{Ra}$ ,  $\text{U}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  на участке 4 составили 667, 35, 94 и 495 раз по сравнению с фоновыми значениями. На участке 3 удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  превышает фоновое значение в 26 раз,  $\text{U}$  – в два,  $^{210}\text{Po}$  – в 12 и  $^{210}\text{Pb}$  – в шесть раз. На участке 1 удельные активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $\text{U}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  в почве выше, чем фоновые значения, однако не столь велики, как на участке 4. Таким образом, наиболее загрязненным по ТЕРН является участок 4.

Для оценки степени опасности загрязнения почвы на исследуемых участках использовали суммарный показатель загрязнения почвы (СПЗ,  $Z_c$ ) (Перельман, Касимов, 2000). В расчетах учитывали только тяжелые металлы, относящиеся к 1 классу опасности (Pb, Cd, Zn, Hg) (ГОСТ 17.4.1.02-83). Установлено, что участки 1, 2 и 3 характеризуются допустимым, а участок 4 – опасным уровнем загрязнения (рис. 1).

В качестве объекта исследования выбраны дождевые черви *Aporrectodea caliginosa*, широко распространенные в районе исследования, достаточно многочисленные, малоподвижные и тесно контактирующие с загрязненной средой.

Для оценки генетических различий в группах применяли AFLP-метод (метод полиморфизма длин амплифицированных фрагментов), состоящий из следующих этапов: 1) выделение ДНК;

#### Химическая характеристика почвы исследуемых участков

Элемент	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4
Удельные активности тяжелых естественных радионуклидов, Бк/кг				
$^{226}\text{Ra}$	559 ± 176	33 ± 3	878 ± 245	22260 ± 4779
$\text{U}$	12 ± 1	9 ± 1	17 ± 1	306 ± 120
$^{230}\text{Th}$	0,29 ± 0,04	9 ± 9	0.4 ± 0.1	2342 ± 629
$^{210}\text{Pb}$	117 ± 26	46 ± 9	286 ± 86	4337 ± 1653
$^{210}\text{Po}$	743 ± 153	129 ± 5	1602 ± 393	62454 ± 9809
Концентрации тяжелых металлов, мг/кг				
$\text{Pb}$	6.0 ± 0.3	7.1 ± 0.9	12.9 ± 0.4	408.2 ± 85.1
$\text{Zn}$	62.0 ± 2.8	52.7 ± 2.9	118.6 ± 3.3	140.5 ± 22.8
$\text{Cd}$	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.02	1.5 ± 0.1	14.0 ± 3.4
$\text{Hg}, \times 10^3$	23.0 ± 1.7	17.3 ± 0.9	49.0 ± 1.3	507.4 ± 94.9

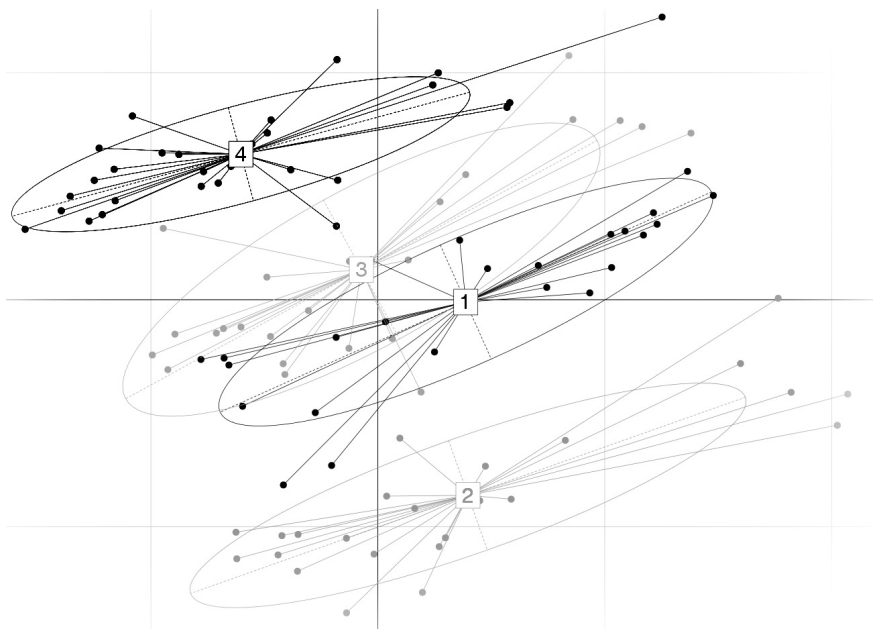


Рис. 1. Генетическое расстояние между индивидами и группами в пространстве главных координат, полученные на основе результатов AFLP анализа. Цифрами обозначены номера участков.

2) рестрикция ДНК с помощью рестриктаз *EcoRI* и *MseI*; 3) лигирование адаптеров; 4) неселективная амплификация; 5) селективная амплификация; 6) капиллярный электрофорез с высоким разрешением; 6) получение бинарной матрицы AFLP-данных; 7) обработка данных с использованием программы **R** и **GenAlEx (Peakall, Smouse, 2012)**.

С помощью AFLP-метода получено и проанализировано 300 аллелей с использованием двух AFLP-праймеров. Между особями в группах определяли генетические и географические расстояния. Согласно непараметрическому тесту Мантелла, зависимость между генетическим и географическим расстояниями в исследуемых группах не обнаружена ( $R = -0.027$ ).

Генетическая дифференциация групп, обитающих на значительно более загрязненных участках 3 и 4, не выше, чем между группами с контрольного участка 1 и менее загрязненного участка 2 (рис. 2).

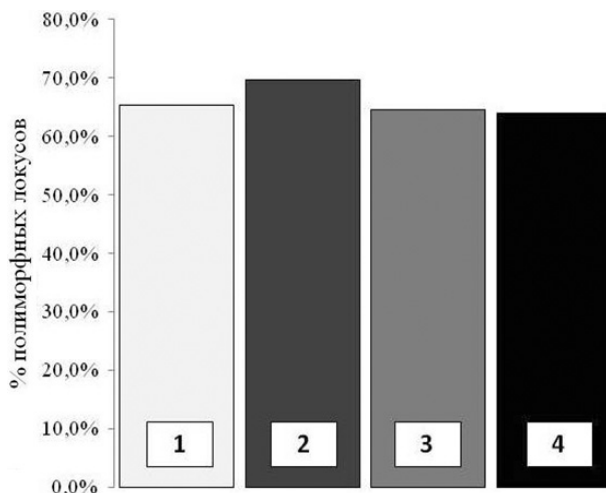


Рис. 2. Процент полиморфных локусов в группах особей, обитающих на участках с разным уровнем загрязнения почвы. Цифрами обозначены номера участков.

Для количественной оценки генетического разнообразия внутри групп дождевых червей использовали такие показатели, как процент полиморфных локусов и индекс Шеннона.

Процент полиморфных локусов в группах дождевых червей с разных участков варьирует от 65 до 70%. Различий в проценте полиморфных локусов между группами не обнаружено (рис. 2).

Показатели разнообразия исследуемых групп особей по индексу Шеннона очень близки. Отсутствие различий в генетическом разнообразии между группами дождевых червей с разных участков свидетельствует о том, что у особей с сильно загрязненных участков оно не претерпело изменений с момента возникновения источника техногенного загрязнения (рис. 3).

Представленные в литературе многочисленные исследования генетической структуры популяции дождевых червей показали неоднозначные, а зачастую и противоречивые результаты. Изучение популяций *Lumbricus terrestris*, собранных в разных районах Западной Германии и расположенных друг от друга на расстоянии более 70 км, выявило их генетическую дифференцированность (Kautenburger, 2006), а в популяциях этого же вида на Фарерских островах, отделенных друг от друга географическими барьерами, – ослабление зависимости между генетическим и географическим расстояниями (Enckell et al., 1986). В Гренландской, Канадской и Европейской популяциях *Dendrobaena octaedra* обна-

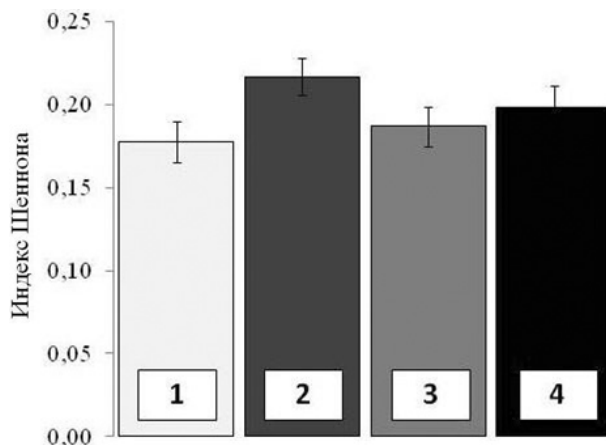


Рис. 3. Индекс разнообразия Шеннона в группах особей, обитающих на участках с разным уровнем загрязнения почвы. Цифрами обозначены номера участков.

ружена сильная генетическая дифференциация, авторы объясняют это более ограниченным расселением дождевых червей между Гренландией и континентами, чем внутри континентальных ареалов (Hansen et al., 2006).

Таким образом, в результате наших исследований выявлено отсутствие зависимости между генетическим и географическим расстояниями в популяциях дождевых червей, обитающих на участках с разным уровнем техногенного загрязнения, возникшим более 60 лет назад. В то же время полученные данные не позволяют говорить о том, что генетическое расстояние между исследованными группами обусловлено уровнем техногенного загрязнения. Внутреннее генетическое разнообразие в группах особей, обитавших в загрязненных и контрольных почвах, не различается.

#### ЛИТЕРАТУРА

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

Иевлев А.А. Водный промысел в Коми АССР – предтеча атомной промышленности Советского Союза // Военно-исторический журнал, 2011. № 2. С. 45-47.

ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. 1983.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: Учебное пособие. Издание 3-е, переработанное и дополненное. М.: Астрейя-2000. 768 с.

*Enckell P.H., Niklasson M., Stille B., Douwes P.* Insulation and isolation: factors influencing the genetic variation in *Lumbricus rubellus* Hoffm. (Lumbricidae) in the Faroe Islands // *Hereditas*, 1986. Vol. 104. P. 263-271.

*Hansen P.L., Holmstrup M., Bayley M., Simonsen V.* Low genetic variation for *Dendrobaena octaedra* from Greenland compared to populations from Europe and North America: refuge or selection? // *Pedobiologia*, 2006. Vol. 50. P. 225-234.

*Kautenburger R.* Genetic structure among earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) from different sampling sites in western Germany based on random amplified polymorphic DNA // *Pedobiologia*, 2006. Vol. 50. P. 257-266.

*Peakall R., Smouse P.E.* GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update // *Bioinformatics*, 2012. Vol. 28(19). P. 2537-2539.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СУБСТАНЦИИ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ХЛОРОФИЛЛА А

Я.И. Пылина<sup>1</sup>, Д.М. Шадрин<sup>1</sup>, И.О. Вележанинов<sup>1</sup>, И.С. Тарабукина<sup>2</sup>,  
О.М. Старцева<sup>2</sup>, Д.В. Белых<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup>Институт химии Коми НЦ УрО РАН

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

Низкомолекулярные биологически активные вещества наряду с биополимерами – основные химические компоненты клеток, которые принимают участие в биохимических и физиологических процессах обмена веществ в организме. Разнообразие свойств и функций биоорганических соединений обуславливает перспективность исследований биологической активности соединений природного происхождения. Подходы к решению проблем, связанных с комплексным изучением способности природных и полусинтетических низкомолекулярных соединений оказывать воздействие на биологические системы, отражены в ряде исследований (Mishra, Tiwari, 2011; Kalimuthu, Se-Kwon, 2013). Одной из важных задач этого направления в современной физико-химической биологии является поиск новых веществ, обладающих высокой биологической, в том числе противоопухолевой, активностью. В частности, некоторые производные хлорофилла *a* представляют собой перспективные диагностические противоопухолевые препараты, как правило, фотосенсибилизаторы для фотодинамической терапии онкологических заболеваний. В качестве перспективных субстанций для создания фотосенсибилизаторов могут быть олигоэтиленгликольные производные хлорофилла *a*.

Цель данной работы – исследование темновой и фотоиндуцированной цитотоксической активности новых олигоэтиленгликольных производных хлорофилла *a* при действии на культуры опухолевых клеток линии HeLa.

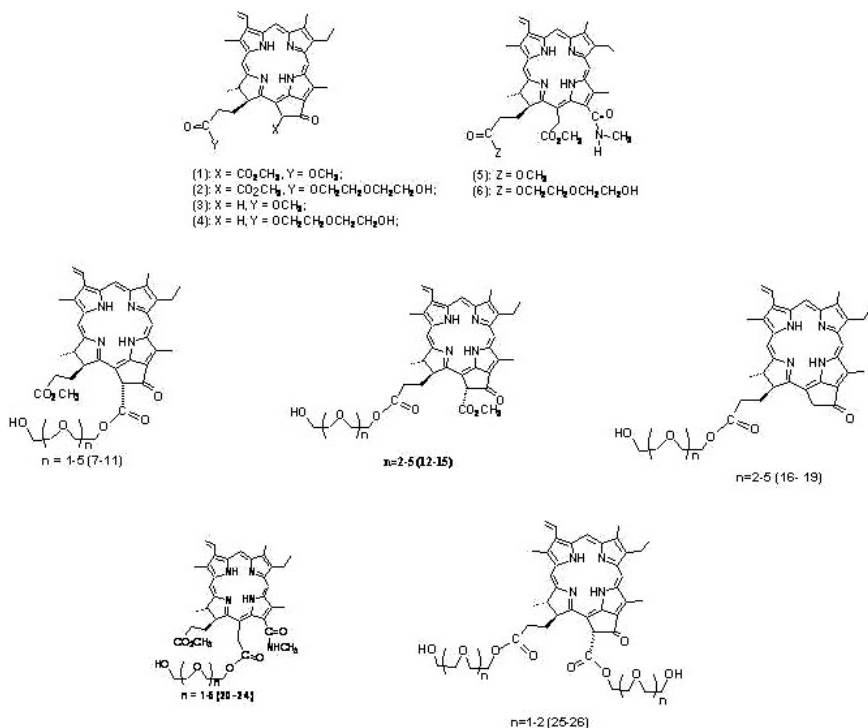
В работе были использованы культуры раковых клеток линии HeLa. Клетки культивировали в питательной среде DMEM/F12 (PAA Laboratories GmbH, Austria) с добавлением 10%-ной сыворотки крови эмбрионов телят (FBS) (Thermo Scientific HyClone, UK) при 37 °C и 5% CO<sub>2</sub>.

Флуориметрический анализ цитотоксичности в микрокультурах проводился согласно методике Lindhagen et al. (2008). Клетки с тестируемыми веществами в концентрациях 0.01, 0.1, 1, 10 и 100 мкмоль/л культивировали 72 ч при 37 °C, 100%-ной влажности в атмосфере, содержащей 5% CO<sub>2</sub>. Затем удаляли питательную среду, промывали монослойную культуру 200 мкл фосфатно-солевого буферного раствора. Добавляли 100 мкл раствора диацетата флуоресцеина (Sigma, USA) в лунки и инкубировали при 37 °C/5% CO<sub>2</sub> в течение 40 мин., после чего производили измерения на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама» (ООО «Люмэкс», Санкт-Петербург) при длине волны 485 (возбуждение)/520 (регистрация) нм. Индекс выживаемости рассчитывали как отношение флуоресценции клеток в лунке с веществом к флуоресценции клеток в контрольной лунке (содержащей 0.5% ДМСО), выраженное в процентах.

Фотоиндуцированная цитотоксическая активность. Клетки с тестируемыми веществами в концентрации 1 мкмоль/л инкубировали в течение 2 ч. Затем их подвергали действию света длиной волны 660 нм в течение 20 мин. В качестве источника света использовали светодиоды (60 мВт). Далее клетки инкубировали 70 ч при 37 °C, 100%-ной влажности в атмосфере, содержащей 5% CO<sub>2</sub>. После удаляли питательную среду, промывали монослойную культуру 200 мкл фосфатно-солевого буферного раствора. Добавляли 100 мкл раствора диацетата флуоресцеина (Sigma, USA) в лунки и инкубировали при 37 °C/5% CO<sub>2</sub> в течение 40 мин., после чего производили измерения на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама» (ООО «Люмэкс», Санкт-Петербург) при длине волны 485 (возбуждение)/520 (регистрация) нм.

В экспериментах использовали от девяти до 18 повторов. Полученные данные анализировали на предмет наличия артефактов методом Граббса. Различия токсичности веществ оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента для соответствующих значений концентрации.



Рис. 1. Структурные формулы производных хлорофилла *a*.

На темновую и фотоиндуцированную цитотоксическую активность было протестировано 26 производных хлорофилла *a* (рис. 1). Можно отметить, что влияние внедрения олигоэтиленгликольного фрагмента на темновую цитотоксичность неоднозначно и зависит от строения макроцикла и положения полиэфирного заместителя. Внедрение одного и того же олигоэтиленгликольного фрагмента в молекулы разных производных хлорофилла *a* приводит как к усилению, так и ослаблению темновой цитотоксичности. Так, например, внедрение фрагмента диэтиленгликоля в положение 17 метилфеофорбида *a* (2) приводит к уменьшению токсичности соответствующего производного, а при внедрении этого же фрагмента в положение 17 метилпирофеофорбида *a* (4) и метиламида (6) – к увеличению (рис. 2А). Усиление токсичности при концентрации 100 мкмоль/л происходит и в случае производного метилфеофорбида *a* с фрагментом диэтиленгликоля в положении 13(2). Разный характер влияния внедрения фрагмента одного и того же

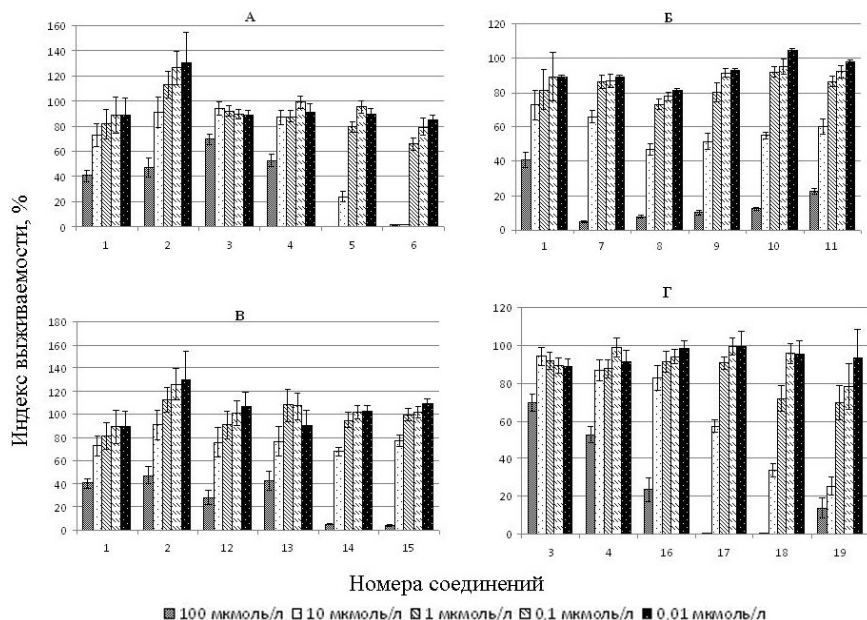


Рис. 2. Темновая цитотоксическая активность производных хлорофилла *a*.

олигоэтиленгликоля свидетельствует о том, что гидролиз сложноэфирной связи с ферментами клетки не происходит и действует молекула в целом.

Удлинение полиэфирной цепочки приводит к некоторому снижению токсичности в ряду 13(2)-эфиров метилфеофорбида *a* (7-11) (рис. 2Б) и в то же время – росту токсичности в рядах эфиров метилфеофорбида *a* (12-15) (рис. 2В) и метилпирофеофорбида *a* по положению 17 (16-19) (рис. 2Г).

В случае метиламидных производных с полиэфирными фрагментами в положении 15 производные с четным количеством звеньев в полиэфирной цепочке значительно токсичнее, чем с нечетным (20-24). На примере производного с двумя фрагментами диэтиленгликоля (25) показано, что второй фрагмент меняет токсичность слабо, а в случае внедрения второго фрагмента триэтиленгликоля (26) токсичность снижается.

Таким образом, исследование темновой цитотоксичности производных хлорофилла *a* с фрагментами олигоэтиленгликолей показывает, что внедрение фрагмента олигоэтиленгликоля в некоторых случаях приводит к заметному увеличению темновой токсичности.

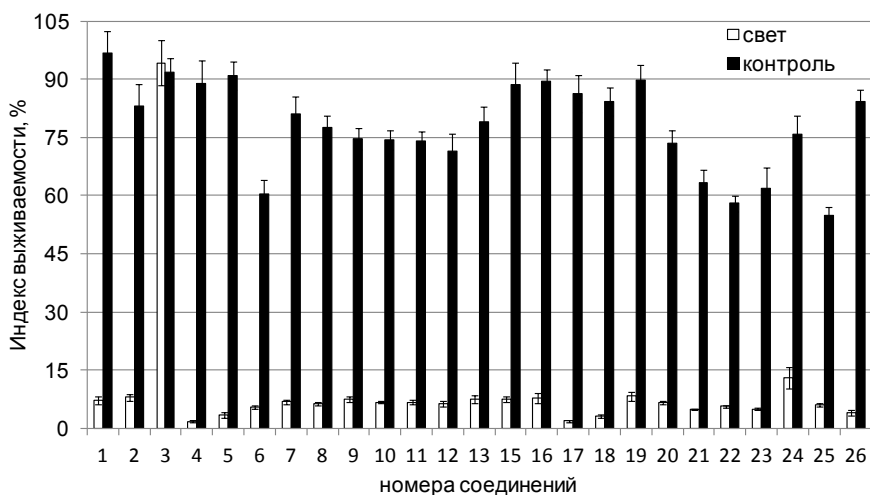


Рис. 3. Фотоиндуцированная цитотоксическая активность производных хлорофилла *a*.

В результате проведенного эксперимента на клетках линии HeLa было установлено, что большинство исследуемых олигоэтиленгликольных производных хлорофилла *a* в концентрации 1 мкмоль/л при действии света длиной волны 660 нм обладают фотоиндуцированной токсичностью (рис. 3). Отметим, что вещества 2, 4 и 16 характеризуются относительно невысокой темновой цитотоксической активностью при концентрации 10 мкмоль/л (индекс выживаемости составил более 80%), в то время как при концентрации 1 мкмоль/л данные соединения оказывают сильный фотоиндуцированный цитотоксический эффект. Запас между темновой и фотоиндуцированной токсичностью как минимум в один порядок дает основание рассматривать данные соединения в качестве перспективных субстанций для разработки новых препаратов для фотодинамической терапии онкологических заболеваний.

Таким образом, исследована темновая и фотоиндуцированная цитотоксическая активность олигоэтиленгликольных производных хлорофилла *a* на раковых клетках линии HeLa. Выявлены наиболее перспективные фото- и темновые цитотоксиканты, которые в дальнейшем будут изучены более подробно.

## ЛИТЕРАТУРА

*Kalimuthu S., Se-Kwon K.* Cell Survival and Apoptosis Signaling as Therapeutic Target for Cancer: Marine Bioactive Compounds // *Int. J. Mol. Sci.*, 2013. Vol. 14. № 2. P. 2334-2354.

*Lindhagen L., Nygren P., Larsson R.* The fluorometric microculture cytotoxicity assay // *Nature protocols*, 2008. Vol. 3 № 8. P. 1364-1369.

*Mishra B.B., Tiwari V.K.* Natural products: an evolving role in future drug discovery // *European J. of Medic. Chem.*, 2011. Vol. 46. № 10. P. 4769-4807.

**ВЛИЯНИЕ СВЕРХАКТИВАЦИИ ГЕНОВ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ  
В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ОСОБЕЙ  
*DROSOPHILA MELANOGASTER***

**И.А. Соловьев<sup>1</sup>, Е.В. Добровольская<sup>2</sup>, Е.Н. Плюснина<sup>1,2</sup>, А.А. Москалев<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

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

Процесс старения организма ассоциирован с изменениями уровней экспрессии различных генов в тканях и органах (McCarroll et al., 2004). Исключением не являются и гены циркадных ритмов, которые образуют систему молекулярных «часов» организма, генерирующую периодические колебания экспрессии многих других генов, ответственных, например, за поддержание ритмичности метаболизма или формирование своевременных поведенческих реакций. С возрастом у различных видов наблюдаются нарушения этих функций (Archer, 2014). Структура системы осцилляторов иерархична, ее функциональные единицы – эволюционно консервативные транскрипционно-трансляционные петли обратной связи, найденные во множестве клеток различных систем организма, у плодовых мух продукты генов *clock (clk)* и *cycle (cyc)* образуют димеры *CLK-CYC* комплексы, стимулирующие, в свою очередь, экспрессию *period (per)* и *timeless (tim)*. В последствии *per* и *tim* формируют гетеродимеры, которые осуществляют репрессию *CLK-CYC*, и, соответственно, свою собственную (Hardin, 2013). В другой петле отрицательной обратной связи *CLK-CYC* индуцирует экспрессию транскрипционных факторов *Par domain protein 1ε (Pdp1ε)* и *vriille (vri)*, первый из которых ведет себя как активатор *Clk*, а второй – как его репрессор. Продукт гена *Clk* является гистонацетилтрансферазой, но ацетилюет «седа» по K537, а вовсе не гистоны, что само по себе чрезвычайно интересно и важно (Hirayama et al., 2007).

Клеточные часы дрозофилиного мозга автономны и представлены всего примерно полутора сотнями клеток. Выделяют семь основных групп нейронов, названных в зависимости от анатомического расположения. Так, присутствуют одна-три группы дорсальных и четыре – латеральных, помимо этого отмечают несколько сот глиальных клеток, экспрессирующих *Per* и *Tim* в мозгу мухи (Helfrich-Förster et al., 2007)

Отметим, что циркадные часы вовлечены и в контроль процесса старения, доказательством этому может служить исследование Р. Кондратова, в котором мышь с недостаточностью продукта гена *BMAL1* (*cyc* – дрозофилиный ортолог), вызванной мутацией, имела подобный прогерическому фенотип (Kondratov et al., 2006), отсюда идея о сверхэкспрессировании ортолога данного гена у дрозофил на протяжении всего имагинального периода онтогенеза в качестве компенсации возраст-зависимого снижения уровня экспрессии. Согласно новым данным (Khapre et al., 2014), циркадная система сопряжена с TOR-S6K сигналингом именно посредством упомянутого гена, который является, по словам авторов, одним из важнейших регуляторов активности киназы TOR, выступающей, в свою очередь, «переключателем» между анаболической и катаболической программами клетки, во всяком случае, у млекопитающих. Роль дрозофилиного гена ортолога *cyc* заключается в ингибировании dTOR, что супрессирует метаболизм, предотвращая бесконтрольный расход ресурсов организма и, вероятно, продлевает жизнь. У мух выявлена регуляция циркадных часов компонентами dTOR пути (Giebultovicz and Kapahi, 2010), если подобный механизм присутствует у млекопитающих, то можно говорить о существовании еще одной петли обратной связи в системе, а значит, и о возможности снижения вероятности возникновения рака и многих возрастзависимых патологий вмешательством в качественный состав поступающих пептидов.

**Линии *Drosophila melanogaster*.** Линии *y, w; UAS-cry2.4/CyO, w; UAS-HA-clk #sit* и *y, w; UAS-cry12/TM2*. Линии *w; UAS-per10* и *w; UAS-per24*, а также *w; UAS-cyc #6* и *y, w; tim<sup>+</sup>; P{tim+HA}-2*. Драйверная линия с мифепристон-индуцибельным транскрипционным фактором *y; P{ELAV-GeneSwitch-GAL4}*. Для кондиционной сверхэкспрессии генов интереса самок-носительниц скрещивали с самцами линии ELAV, затем их потомству, сразу после лета разделенному по половому признаку, в корм с дрожжевой пастой вносили: опытной группе – RU486 (Mifepristone, «Sigma») и контрольной – спирт этиловый 98%-ный в разведении 1:100. Мух содержали при 25 °C и 12-часовом режиме освещения на стандартной агарно-дрожжевой среде. По возможности ежедневно подсчи-

тывали число умерших мух. Для статистической оценки достоверности различий между выборками использовали критерий Колмогорова-Смирнова, чтобы обнаружить воздействие веществ. Критериями Гехана-Бреслоу-Вилкоксона и Мантела-Кокса пользовались для оценки различий между медианами продолжительности жизни. При выявлении различий между показателями 90%-ной смертности применен тест Ванг-Элисона. Эксперимент был поставлен в трех биологических повторностях, полученные данные объединены для произведения статистических расчетов.

Кондиционная мифепристон-индуцибельная сверхэкспрессия генов циркадных ритмов в центральной нервной системе дрозофил не привела к появлению драматических изменений в значениях медиан продолжительности жизни, как, впрочем, и во времени 90%-ной смертности особей обоих полов. Прирост медианной продолжительности жизни (ПЖ) составил по 4% у самцов линий со сверхэкспрессией генов *per24* ( $p < 0.05$ ) и *cyc* ( $p < 0.001$ ). Равное указанным выше значениям увеличение времени 90%-ной смертности отмечалось лишь во втором случае ( $p < 0.001$ ). На самцах со сверхэкспрессией гена *tim* был получен интереснейший эффект достоверного равенства медиан ПЖ в опыте и контроле при ничтожном снижении времени 90%-ной смертности ( $p < 0.01$ ). Самки со сверхактивированным *tim* показали 10%-ный прирост медианной ПЖ ( $p < 0.0001$ ) и 4%-ный – времени 90%-ной смертности ( $p < 0.001$ ). Самки линии со сверхэкспрессией гена *per10* жили на 5.4% дольше контрольной группы ( $p < 0.0001$ ), 5% составил у них и прирост времени 90%-ной смертности ( $p < 0.001$ ). Увеличение медианной ПЖ на 10% было обнаружено и в случае со сверхактивацией у самок гена *cry12* ( $p < 0.01$ ). Отдельно следует отметить эффект 10%-ного снижения медианной ПЖ у самок линии, сверхэкспрессирующей при кормлении мифепристоном *clk* ( $p < 0.01$ ).

Небольшие значения приростов продолжительности жизни при сверхэкспрессии генов циркадных ритмов, вероятно, можно объяснить с позиций ритмики процессов, сопряженных с экспрессией генов интереса. Так, кондиционная сверхэкспрессия одной последовательности, индуцируемая мифепристоном в течение всей жизни имаго, не когерентна волнам экспрессии участников корепрессорного комплекса или, напротив, комплекса факторов транскрипции (гетеродимера). В результате этого создается излишек не взаимодействующего с мишенью белка, на трансляцию которого безвозвратно тратится энергия, депонированная в макроэргических связях различных соединений. Кроме этого, повышает вероятность связывания полипептида с альтернативными мишенями. Усиления эффекта, предположительно, можно добиться

Таблица 1  
Влияние сверхэкспрессии на параметры продолжительности жизни самцов *Drosophila melanogaster*

	Min	Mean±SE	Median	90%	Max	MRDT	a	R	n
<i>UAS-cy12/ELAV</i> (контроль)	1	41.4±0.9	46	61	73	8.89	0.06367	0.00293	407
<i>UAS-cy12/ELAV</i> (мифепристон)	3	43.5±0.7	46	60	74	8.08	0.07878	0.00153	479
<i>UAS-clk/ELAV</i> (контроль)	1	46.8±0.9	49	70	81	11.63	0.05958	0.00237	439
<i>UAS-clk/ELAV</i> (мифепристон)	1	46.3±0.7	46	69*	78	10.52	0.06589	0.00196	531
<i>UAS-cy2.4/ELAV</i> (контроль)	1	52.1±0.8	56	71	92	9.28	0.07466	0.00089	507
<i>UAS-cy2.4/ELAV</i> (мифепристон)	3	53.1±0.7	57	70	87	8.89	0.07798	0.00072	557
<i>UAS-per10/ELAV</i> (контроль)	3	56.7±0.7	58	72	85	7.85	0.08828	0.00033	569
<i>UAS-per10/ELAV</i> (мифепристон)*	2	57±0.7	60	74	85	8.08	0.08574	0.00036	568
<i>UAS-per24/ELAV</i> (контроль)	2	45±0.7	51	61	76	8.65	0.08011	0.00125	601
<i>UAS-per24/ELAV</i> (мифепристон)****	2	44.7±0.8	53*	61	74	9.52	0.07278	0.00162	553
<i>UAS-cyc/ELAV</i> (контроль)	1	50.3±0.7	55	67	75	7.75	0.08939	0.00055	552
<i>UAS-cyc/ELAV</i> (мифепристон)****	2	52.2±0.7	57***	70***	90	9.42	0.07361	0.00091	577
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	1	45±0.8	50	65	75	9.94	0.06973	0.00184	495
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон)****	1	46.2±0.8	50**	64**	73	9.45	0.07335	0.00144	512

Примечание. Здесь и в табл. 2: Min – минимальная продолжительность жизни; Mean±SE – средняя и ошибка средней; Median – медианная продолжительность жизни; 90% – время 90%-ной смертности в популяции; MRDT – время удвоения смертности; а и R – параметры уравнения Гомпертца; \* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001, \*\*\*\* p < 0.0001 (первый столбик по критерию Колмогорова-Смирнова, четвертый – Гехана-Бреслоу-Вилкоксона, пятый – Ванг-Элисона).

Таблица 2  
Влияние сверхэкспрессии на параметры продолжительности жизни самок *Drosophila melanogaster*

	Min	Mean±SE	Median	90%	Max	MRDT	a	R	n
<i>UAS-cy12/ELAV</i> (контроль)	6	47.7±0.7	50	64	80	9.11	0.07609	0.00121	453
<i>UAS-cy12/ELAV</i> (мифепристон) <sup>****</sup>	1	49.8±0.7	55**	66	82	8.71	0.07961	0.00087	524
<i>UAS-clk/ELAV</i> (контроль)	1	60.4±0.9	68	81	90	10.23	0.06774	0.00063	517
<i>UAS-clk/ELAV</i> (мифепристон) <sup>****</sup>	1	58.4±0.8	61**	80	96	10.84	0.06392	0.00091	564
<i>UAS-cy2.4/ELAV</i> (контроль)	2	59.2±0.6	59	75	87	7.62	0.091	0.00024	536
<i>UAS-cy2.4/ELAV</i> (мифепристон)	1	58.6±0.6	60	75	92	9.13	0.07596	0.00053	564
<i>UAS-per10/ELAV</i> (контроль)	4	68.3±0.8	73	85	94	7.98	0.0869	0.00012	551
<i>UAS-per10/ELAV</i> (мифепристон) <sup>****</sup>	5	71.3±0.8	77****	89***	98	8.28	0.08376	0.00011	599
<i>UAS-per24/ELAV</i> (контроль)	2	56.4±0.8	61	74	89	9.63	0.07196	7.00E-04	530
<i>UAS-per24/ELAV</i> (мифепристон)	3	58±0.7	62	77	94	9.28	0.07471	0.00056	644
<i>UAS-cyc/ELAV</i> (контроль)	3	65.5±0.8	70.5	83	91	8.07	0.07965	0.00023	562
<i>UAS-cyc/ELAV</i> (мифепристон)	3	66.8±0.7	70	83	90	7.51	0.09233	0.00011	562
<i>UAS-tim/ELAV</i> (контроль)	1	53.7±0.7	55	70	81	8.14	0.08513	0.00051	410
<i>UAS-tim/ELAV</i> (мифепристон) <sup>****</sup>	1	57.3±0.8	60.5****	73****	83	8.74	0.07927	0.00048	408



ся, синхронизировав экспрессию гена интереса посредством драйверов *tim-GAL4* и *pdf-GAL4*, подобранных в зависимости от функции объекта исследования в транскрипционно-трансляционной петле обратной связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Archer S.N., Laing E.E., Möller-Levet C.S. et al.* Mistimed sleep disrupts circadian regulation of the human transcriptome // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014. P. 682-691.

*Giebultowicz J., Kapahi P.* Circadian clocks and metabolism: the nutrient-sensing AKT and TOR pathways make the link // *Current Biology*, 2010. Vol. 20. № 14. P. R608-R609.

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

*Helfrich-Förster C., Shafer O.T., Wulbeck C. et al.* Development and morphology of the clock-gene-expressing lateral neurons of *Drosophila melanogaster* // *Journal of Comparative Neurology*, 2007. Vol. 500. № 1. P. 47-70.

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

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

*Kondratov R.V., Kondratova A.A., Gorbacheva V.Y. et al.* Early aging and age-related pathologies in mice deficient in BMAL1, the core component of the circadian clock // *Genes & development*, 2006. Vol. 20. № 14. P. 1868-1873.

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

### ТОКСИЧЕСКИЙ СТРЕСС И ДИНАМИКА БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕСС-РЕАКЦИИ В ВЫБОРКЕ ИЗ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА В УСЛОВИЯХ ПОДГОТОВКИ К ЗИМНЕЙ ДИАПАУЗЕ

Л.А. Сыртланова, К.А. Китаев, Л.З. Ахмадишина  
Институт биохимии и генетики Уфимского НЦ РАН  
E-mail: [SLian4ik@mail.ru](mailto:SLian4ik@mail.ru)

Существование периода покоя на различных стадиях развития насекомых является одной из важнейших адаптивных стратегий, а многообразие форм физиологического покоя, наблюдаемое именно для этого класса членистоногих, обеспечивает высочай-

ший уровень экологической пластичности. Отдельные виды насекомых отличаются особенно выраженным разнообразием периодов покоя, классифицируемых как конзекутивный и проспективный типы (Саулич, 1999).

Способность к переходу в покоящееся состояние под действием неблагоприятных условий и к немедленному выходу из него при изменении условий (конзекутивный тип) обеспечивает виду возможность сохранения части популяции в любых резко изменяющихся обстоятельствах, тогда как формирующаяся в качестве адаптации к циклическим повторениям неблагоприятных условий способность к длительному глубокому покою (проспективный тип) может стать не только базой сохранения вида, но и основой для изоляции отдельных групп (популяций), что способствует дифференциации вида, возникновению и формированию сложной пространственно-временной популяционной структуры и развития ее подразделенности (Беньковская и др., 2012). Знание особенностей этих состояний необходимо для того, чтобы понять и преодолеть высокую адаптационную способность колорадского жука, благодаря которой он является одним из опаснейших вредителей картофеля (Ушатинская, 1981).

В лабораторных условиях смоделирован эксперимент, чтобы выяснить, как выборка, неоднородная по подготовленности к зимней диапаузе, реагирует на токсический стресс. Выборку из популяции колорадского жука (летняя генерация) Буздякского р-на Республики Башкортостан, для которой характерно единичное количество особей, устойчивых к фипронилю, содержали в лабораторных условиях при отсутствии освещения и при повышенной (комнатной) температуре. Как было показано ранее (Беньковская и др., 2012), способность в таких условиях к переживанию диапаузы отмечена для выборок из популяций с формирующейся множественной резистентностью.

Задача эксперимента – выявить связи между типом фототаксиса в условиях яркого направленного освещения, типом двигательной реакции при воздействии фипронила, изменением активности ферментов фенолоксидазного комплекса и ацетилхолинэстеразы, маркирующими развитие стресс-реакции, и выживанием после обработки.

Опыт проводили на выборке из 64 самок и 40 самцов, до начала эксперимента в течение месяца содержавшихся на свежем зеленом корме. За 24 ч до эксперимента имаго были рассажены раздельно по полу (по 10 особей в чашки Петри с кормом). В день исследования чашки Петри 2 ч держали в полной темноте, затем открывали чашки в присутствии направленного освещения (мощ-

Таблица 1

**Структура выборки из популяции колорадского жука  
(Будякский р-н, Республика Башкортостан, летняя генерация)  
с учетом направленности фототаксиса  
(доли к сумме особей того или другого пола, %)**

Пол	Неактивные	Положительный фототаксис	Отрицательный фототаксис
Самки	40.63	25.0	34.37
Самцы	50.0	22.5	27.5

ность лампы 120 лк) и на протяжении 5-10 мин. определяли индивидуально тип фототаксиса, разделяя в соответствии с типом группы (табл. 1). Спустя 7 сут. содержания в тех же условиях каждая группа была разделена на контроль и опытную группы, обработанных индивидуально диагностической дозой фипронила (0.001% д.в.) особей, причем на протяжении первых минут после обработки регистрировали двигательную реакцию, различавшуюся следующим образом: 1) моментально развивающаяся гиперактивность, сохраняющаяся не менее 15 мин. после обработки; 2) «норма» – стресс-реакция с выраженной фазой замирания от 30 сек. до 1.5 мин., сменяющейся гиперактивностью; 3) «нокдаун-эффект», т.е. стадия замирания, превышающая по длительности 3-5 мин. В каждой группе особей у пяти-семи насекомых из спинного сосуда было взято по 5 мкл гемолимфы для анализа биохимических параметров стресс-реакции. Остальные особи были помещены в чашки Петри с водой и кормом, наблюдения за выживанием исследуемых жуков вели 10 сут.

Результаты оценки успеха переживания диапаузы в лабораторных условиях имаго *L. decemlineata* представлены на рис. 1. Самцы в данном эксперименте оказались чувствительнее, чем сам-

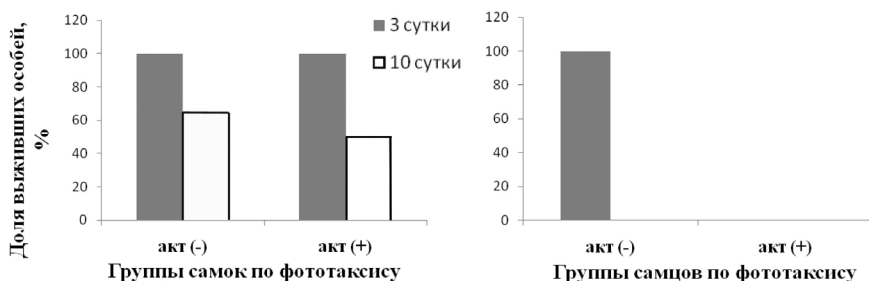


Рис. 1. Выживаемость самок и самцов после воздействия фипронила: акт (-) – особи с отрицательным фототаксисом, акт (+) – с положительным.

Таблица 2

Распределение по типу срочной реакции на действие токсиканта (фипронила, 0.001%, 1 мкл/особь) в группах самок из выборки популяции колорадского жука (Буздякский р-н, Республика Башкортостан, летняя генерация) с учетом направленности фототаксиса (доли, %)

Направленность фототаксиса	Гиперактивные		Нормальная стресс-реакция		«Нокаун-эффект»	
	Доля в группе	% выживших	Доля в группе	% выживших	Доля в группе	% выживших
Положительный	0	-	50.0	100	50.0	0
Отрицательный	28.57	0	50.0	28.6	21.43	50.0

ки, и погибли уже к 3-м сут. после обработки, тогда как среди самок удалось выявить особей, способных переносить действие токсиканта, причем мы установили связь между типом реакции и выживанием особей (табл. 2). Как показали данные, гиперактивные особи наиболее чувствительны к действию фипронила. Судя по тому, что максимальное количество устойчивых к действию токсиканта особей демонстрируют при развитии стресс-реакции выраженную фазу замириания либо подобие «нокаун-эффекта», это деление на группы можно считать экспресс-тестом для предварительной оценки вероятности формирования резистентной популяции. Деление на группы по направленности фототаксиса связано, по-видимому, со степенью готовности к наступлению диапаузы. Адаптивной в этом случае следует считать реакцию отрицательного фототаксиса либо сохранение неактивного состояния.

Анализ биохимических параметров стресс-реакции показал, что для адаптивного типа реакции у самок характерен повышенный уровень активности тирозиназы (рис. 2), ДОФА-оксидазы (рис. 3), ацетилхолинэстеразы в гемолимфе (рис. 4), уровень содержания катехоламинов при этом остается сниженным.

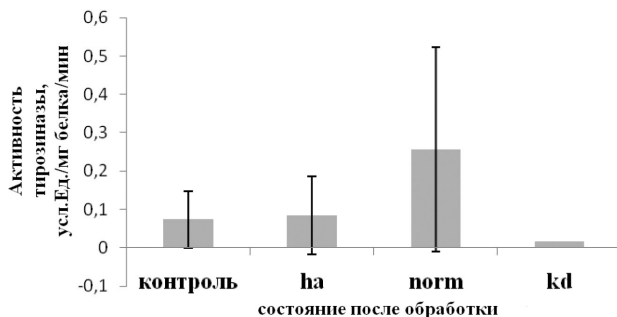


Рис. 2. Активность тирозиназы в гемолимфе самок с положительным фототаксисом. Здесь и далее деление на группы: ha – гиперактивные особи, norm – особи с нормальной реакцией, kd – особи с «нокаун-эффектом».

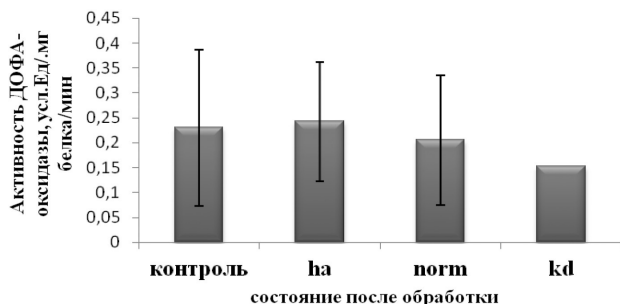


Рис. 3. Активность ДОФА-оксидазы в гемолимфе самок с положительным фототаксисом.

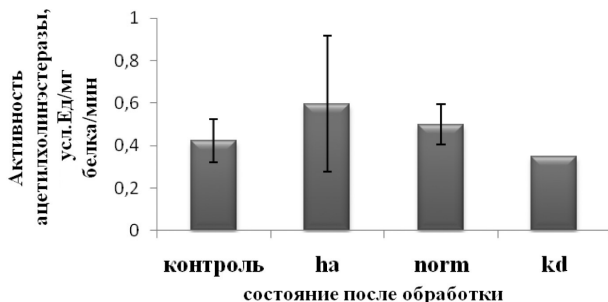


Рис. 4. Активность ацетилхолинэстеразы в гемолимфе самок с положительным фототаксисом.

Как следует из полученных результатов, такой компонент приспособленности фенотипа, как способность формирования диапаузы, может стать одной из основ неспецифической устойчивости (Удалов, Беньковская, 2011), повышающей вероятность ускоренного формирования резистентности к химическим инсектицидам и длительного сохранения ее в популяциях колорадского жука.

#### ЛИТЕРАТУРА

Беньковская Г.В., Китаев К.А., Удалов М.Б. Успех переживания экспериментальной диапаузы и резистентность к инсектицидам в популяциях колорадского жука // Экология, эволюция и систематика животных: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Рязань, 2012. С. 45-46.

Саулич А.Х. Сезонное развитие насекомых и возможности их расселения. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 248 с.

Удалов М.Б., Беньковская Г.В. Популяционная генетика колорадского жука: от генотипа до фенотипа // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2011. Т. 15. № 1. 156-172.

*Ушатинская Р.С.* Состояние активной жизнедеятельности и физиологического покоя колорадского жука, их место и роль в жизненном потенциале вида // Колорадский картофельный жук. М.: Наука, 1981. С. 202-250.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ *NOSTOC LINSKIA* ПРИ БИОТЕСТИРОВАНИИ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЯ МЕДИ

**А.И. Фокина<sup>1</sup>, Е.И. Лялина<sup>1</sup>, Е.А. Горностаева<sup>2</sup>, А.С. Олькова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт естественных наук Вятского государственного гуманитарного университета

<sup>2</sup>Вятская государственная сельскохозяйственная академия  
E-mail: [annushka-fokina@mail.ru](mailto:annushka-fokina@mail.ru), [g\\_lentochka@mail.ru](mailto:g_lentochka@mail.ru)

При стрессовых воздействиях у цианобактерий (ЦБ) возникает комплекс разнообразных изменений, которые нередко приводят к различным внутриклеточным и тканевым функциональным изменениям. Среди всех ферментов особенно интенсивный отклик у ЦБ выявлен для каталазной и дегидрогеназной активностей (Домрачева и др., 2011). Ксенобиотики изменяют интенсивность биолюминесцентного сигнала – интенсивность биохемилюминесценции (ИБХЛ). Неотъемлемой частью физиологических процессов при действии большинства стресс-факторов являются показатели перекисного окисления липидов, степень которых также может быть маркером на загрязнение. Таким образом, в группу исследуемых физиолого-биохимических показателей входили: каталазная активность, жизнеспособность, интенсивность биохемилюминесценции, вторичные продукты перекисного окисления липидов. Физиолого-биохимический отклик может служить тест-функцией в биомониторинге сред, загрязненных различными поллютантами, в том числе и медью.

Цель работы – исследовать влияние соединений меди на некоторые биохимические системы почвенных цианобактерий.

Кроме того, многие авторы отмечают в качестве показателя загрязнения окружающей среды уровень накопления тяжелых металлов (ТМ) в организме (Скугорева, Ашихмина, 2012). Преимущество такого способа индикации загрязнения солями ТМ состоит в том, что цианобактериальные популяции, имея относительно короткий срок жизни и способность к концентрированию ТМ, позволяют оценить уровень загрязнения произошедшего за короткий промежуток времени.

Объектом исследования была чистая культура *Nostoc linckia* (Roth.) Born. et Flah № 271, взятая из коллекции кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии (г. Киров). Организмы перед началом опыта выращивали в жидкой среде Громова № 6 в течение 2 мес. в люминостате при постоянной температуре (+25 °C) и 12-часовом освещении (3 тыс. лк). (Титр =  $1.16 \cdot 10^8$  кл./см<sup>3</sup>).

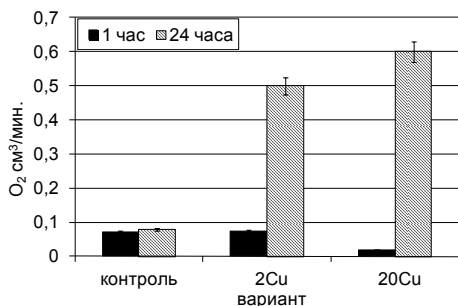
**Исследование физиолого-биохимического отклика ЦБ на действие сульфата меди (II).** Суспензию микроорганизмов вносили в раствор  $\text{CuSO}_4$  с концентрацией  $\text{Cu}^{2+}$  2 и 20 мг/дм<sup>3</sup>. Через 1 и 24 ч определяли физиолого-биохимические показатели культуры. Для количественного определения активности дегидрогеназы в качестве субстрата использовали бесцветный 2,3,5-трифенилтетразольный хлорид, который, акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в 2,3,5-трифенилформазан, имеющий красную окраску (Домрачева и др., 2008). Каталазную активность определяли газометрическим методом (Хазиев, 2005) в модификации для ЦБ. Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в культурах ЦБ анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом, образующимся в процессе ПОЛ. За основу была взята методика определения ПОЛ в растительных тканях в нашей модификации (Лукаткин, 2002). Содержание ионов меди (II) в растворе и организмах находили методом инверсионной вольтамперометрии на приборе Экотест-ВА с датчиком «Модуль ЕМ-04» (Сборник методик..., 2004).

**Исследование влияния восстановленного глутатиона на токсичность растворов  $\text{CuSO}_4$  и накопление меди ЦБ *N. linckia*.** Культуру помещали в три типа растворов, содержащих сульфат меди (концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  = 1 мг/дм<sup>3</sup>) в смеси с глутатионом (GSH) в мольных соотношениях Cu:GSH, равных 1:0, 1:1 и 1:4. Через 1 и 7 сут. определяли содержание меди в различных фракциях ЦБ. О токсичности судили по активности дегидрогеназ и ИБХЛ.

Выявлено, что в растворе с  $\text{Cu}^{2+}$  ЦБ дают существенный физиолого-биохимический отклик по определяемым показателям (жизнеспособность клеток, каталазная активность, интенсивность ПОЛ, ИБХЛ).

Каталазная активность контрольного варианта не меняется на протяжении 24 ч. Через 1 ч наблюдается обратная зависимость между каталазной активностью и концентрацией соли меди в растворе. Действие меди выражается в угнетении каталазы. Однако через 24 ч происходит резкое увеличение каталазной активности в присутствии токсиканта и чем выше концентрация, тем интенсивнее отклик ферментативной системы (см. рисунок).

Через сутки экспозиции по отношению к каталазной активности жизнеспособность имеет коэффициент корреляции, приближающийся к «-1», т.е. тесная обратная корреляция. Такой показатель, как жизнеспособность, оказывается более чувствительным к действию ионов меди. Так, при действии на культуру *N. linckia* раствора с концентрацией  $\text{Cu}^{2+}$  20 мг/дм<sup>3</sup> в течение суток каталазная активность изменяется



Влияние сульфата меди (II) на каталазную активность *N. linckia*.

в шесть раз, а жизнеспособность – в 40. Выявлено значительное влияние на жизнеспособность ЦБ *N. linckia* восстановленного глутатиона (GSH), который, образуя комплексные соединения с ионами двухвалентной меди, влияет на биодоступность металла. Липофильность соединений способствует биоаккумуляции и усилению токсического эффекта. Такое явление отрицательно сказывается на жизнеспособности ЦБ, однако может использоваться в биотестировании для увеличения чувствительности метода. Значения такого показателя, как интенсивность ПОЛ, через сутки практически не отличается от контроля, но в присутствии других тяжелых металлов, например, никеля, усиливается почти в два раза.

Интенсивность биохемилюминесценции – достаточно чувствительный показатель, но сильно зависящий от времени. Ионы меди в обеих концентрациях снижают ИБХЛ и чем продолжительнее экспозиция, тем более выражено ослабление ИБХЛ (см. таблицу). Применение ИБХЛ в качестве тест-функции перспективно, однако известно, что у *N. linckia* при концентрациях  $\text{Cu}^{2+}$  1 мг/дм<sup>3</sup> и ниже появляются эффекты, не имеющие четкой зависимости между силой сигнала и концентрацией токсиканта.

Опыты показывают, что *N. linckia* из раствора с концентрацией ионов  $\text{Cu}^{2+}$  равной 2 мг/дм<sup>3</sup> поглощает в 13-15 раз меньше меди,

чем из раствора с концентрацией 20 мг/дм<sup>3</sup>, что указывает на зависимость между концентрацией ионов меди в растворе и степенью биоаккумуляции.

Таким образом, изучены некоторые показатели физио-

#### Влияние сульфата меди (II) на ИБХЛ *N. linckia*

[Cu <sup>2+</sup> ], мг/дм <sup>3</sup>	<i>N. linckia</i>	
	1 ч	24 ч
Контроль	1869 ± 67	1823 ± 25
Cu <sup>2+</sup> , 2	1500 ± 33	1428 ± 201.3
Cu <sup>2+</sup> , 20	1400 ± 20	212 ± 13



лого-биохимического отклика ЦБ на действие ионов меди в концентрациях 2 и 20 мг/дм<sup>3</sup>. Изменения физиолого-биохимических показателей может быть использовано в качестве тест-функций при тестировании сред, загрязненных соединениями меди. Наиболее чувствительными являются методы, основанные на исследовании жизнеспособности почвенных ЦБ, каталазной активности и ИБХЛ. Желательно не ограничиваться результатами одного метода, а провести исследования токсичности несколькими методами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3964.2015.5.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю.* и др. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязненных средах // Биологический мониторинг природно-техногенных систем. Сыктывкар, 2011. С. 113-120.

*Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я.* и др. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности ЦБ в загрязненных средах // Теоретическая и прикладная экология, 2008. № 2. С. 23-28.

*Лукаткин А.С.* Холодное повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2002. 208 с.

Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. 61 с.

*Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я.* Содержание ртути в компонентах природной среды на территории вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината // Известия Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2012. Вып. 3(11). С. 39-45.

*Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

#### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ХИМИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ АГЕНТЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОПОРФИРИНОВ

**Д.М. Шадрин<sup>1</sup>, И.О. Велегжанинов<sup>1</sup>, Я.И. Пылина<sup>1</sup>, И.С. Тарабукина<sup>2</sup>,  
Д.В. Белых<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup>Институт химии Коми НЦ УрО РАН

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

Многообразие молекулярных структур соединений порфиринового ряда, в том числе металлокомплексов, обуславливает разнообразие физико-химических свойств этой группы веществ.

В свою очередь это приводит к разноплановому применению порфиринов в различных областях, в том числе и медицине. Вниманию привлекают такие свойства порфиринов, как тропность к опухолям, флуоресценция в видимой области света, возможность введения радиоактивной метки, способность сенсibilизировать фотоокислительные процессы. Широкие перспективы использования порфиринов связаны с их способностью избирательно накапливаться в быстрорастущих и регенерирующихся тканях, что послужило основой для клинического применения природных и синтетических порфиринов и их производных в диагностике и лечении онкологических заболеваний (Bonnett, 2000; Nyman, Hynninen, 2004). Отмечается перспективность применения металлопорфиринов и хлоринов в комплексной радио- и химиотерапии (Vujaskovic et al., 2002). Поэтому изучение цитотоксической активности порфиринов и выявление закономерностей влияния структуры этих новых химических соединений на их активность является актуальной задачей современной науки.

Цель данной работы – исследование темновой цитотоксической активности порфиринов переходных металлов при действии на культуры опухолевых и нормальных клеток.

В работе были использованы культуры раковых клеток линии HeLa, A549, HEK293 и нормальные фибробласты легкого эмбриона человека ФЛЭЧ-104. Клетки культивировали в питательной среде DMEM/F12 (PAA Laboratories GmbH, Austria) с добавлением 10% -ной сыворотки крови эмбрионов телят (FBS) (Thermo Scientific HyClone, UK) при 37 °C и 5% CO<sub>2</sub>.

Флуориметрический анализ цитотоксичности в микрокультурах проводился согласно методике Lindhagen et al. (2008).

Уровень повреждений ДНК оценивали с помощью щелочной версии метода ДНК комет (Tice et al., 2000). Клетки HeLa в количестве 20 тыс. ед. в лунке инкубировали с веществом в концентрации 2.7 и 5 мкмоль/л в стерильном культуральном планшете при 37 °C/5% CO<sub>2</sub> в течение 8 ч. В качестве контрольных использовали суспензию клеток с этопозидом в концентрации 100 мкмоль/л и суспензию клеток с чистым ДМСО (0.5% (v/v)). Дальнейшие процедуры осуществляли согласно методике. Полученные данные визуализировали и обрабатывали с помощью флуоресцентного микроскопа Axioscop-40 FL (CarlZeiss, Германия), видеокамеры AxioCamICm 1 и программного обеспечения AxioVision, CarlZeiss. Целостность структуры ДНК оценивали по показателю процентного содержания ДНК в «хвосте» с помощью программы CometScorePro (TriTekCorp, США) в полуавтоматическом режиме. На каждом препарате анализировали от 50 до 80 клеток. Экспери-

мент проводили в шестикратной повторности. Для каждого препарата рассчитывали медиану распределения значений выбранного показателя.

Измерение активности каспазы-3 осуществляли, используя набор Caspase 3 Assay Kit Fluorimetric (Sigma, USA). Клетки HeLa в количестве 15 тыс. ед. в лунке инкубировали с веществом в концентрации 1 и 2.7 мкмоль/л в стерильном культуральном планшете при 37 °C/5% CO<sub>2</sub> в течение 24 ч. В качестве контрольных применяли суспензию клеток с этопозидом в концентрации 100 мкмоль/л и суспензию клеток с чистым ДМСО (0.5% (v/v)). Затем удаляли среду, промывали 200 мкл PBS, добавляли 25 мкл лизирующего буферного раствора из набора Caspase 3 Assay Kit Fluorimetric и далее – по инструкции производителя. Эксперимент проводили в шестикратной повторности.

Ранее было показано влияние природы центрального атома и строения лиганда на темную токсичность производных хлорофилла *a* и их металлопорфиринов меди, палладия, никеля, цинка и кобальта (Пылина и др., 2014). Установлено, что наибольшей темновой цитотоксичностью обладали комплексы с цинком, токсичность которых изменялась с почти нулевой при концентрации комплекса 1 мкмоль/л до почти полного уничтожения раковых клеток при концентрации 10 мкмоль/л. Подобный эффект наблюдался и для некоторых металлокомплексов кобальта, меди и никеля, однако резкий рост токсичности происходил при переходе от концентрации от 10 до 100 мкмоль/л. В данной работе проведено исследование темнового цитотоксического действия наиболее токсичного из веществ – порфирина цинка – на культуры раковых клеток линии HeLa, A549, HEK293 и нормальных фибробластов легкого эмбриона человека ФЛЭЧ-104 (рис. 1).

Зависимости индекса выживаемости клеток от концентрации веществ приведены на рис. 2. Можно отметить, что показатель выживаемости при действии исследуемого вещества на культуры нормальных клеток ФЛЭЧ-104 концентрацией 50 мкмоль/л составляет чуть более 50%, однако для положительного контроля – этопозида – эта величина составляет более 90% (рис. 2). Таким образом, исследуемое вещество обладает большим токсическим действием по сравнению с этопозидом. Кроме того, токсичность от минимальных до мак-

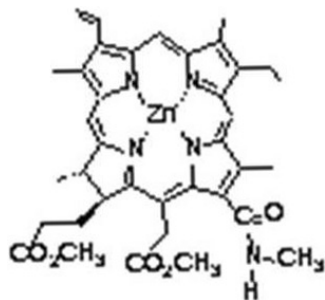


Рис. 1. Структурная формула порфирина цинка.

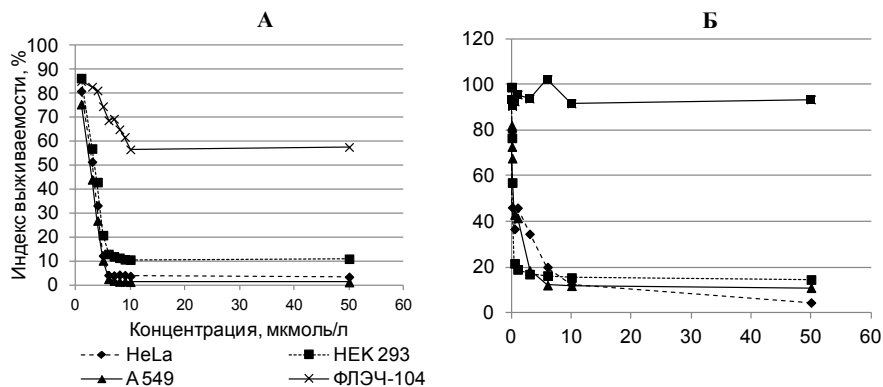


Рис. 2. Зависимость индекса выживаемости клеток линии HeLa, A549, HEK293 и ФЛЭЧ-104 от концентрации веществ (А – для порфирината цинка; Б – этопозида).

симальных значений нарастает в пределах одного порядка изменения концентрации, в отличие от всех остальных протестированных нами и подавляющего большинства описанных в литературе цитотоксических агентов, в том числе этопозида, для которых диапазон достижения максимальной цитотоксичности растягивается более чем на два порядка в рамках функции от концентрации. Малые различия между неактивной и высокоактивной концентрациями токсического агента увеличивают его потенциал для самостоятельных или специфически доставляемых химиотерапевтических агентов.

С целью выявления мишеней цитотоксического действия порфирината цинка проведены дополнительные эксперименты на

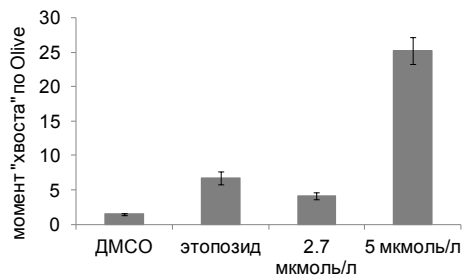


Рис. 3. Уровень повреждений ДНК клеток линии HeLa при действии порфирината цинка в течение 8 ч, определяемый с помощью щелочной версии метода ДНК-комет.

клетках линии **HeLa**: измерение активности эффекторного фермента апоптоза – каспазы-3 и определение уровня повреждения ДНК. С помощью метода ДНК-комет проанализирован уровень повреждения ДНК клеток при действии порфиринатом цинка в концентрациях 5 и 2.7 мкмоль/л (рис. 3). Полученные данные указывают на высокий уровень индукции повреждений ДНК при дей-

ствии исследуемым веществом в концентрации 5 мкмоль/л по сравнению с положительным контролем этопозидом, который, как известно, обладает цитотоксическим действием за счет повреждения ДНК. Также было выявлено отсутствие активации каспаза-зависимого апоптоза (рис. 4), что, вероятно, свидетельствует о том, что клетки либо не успевали отреагировать на полученное воздействие, либо механизм гибели клеток идет по иному пути.

Таким образом, показана темная цитотоксическая активность порфирина цинка на культурах раковых и нормальных клеток. Установлен высокий уровень индукции повреждения ДНК при действии на клетки **HeLa порфирином цинка в концентрации 5 мкмоль/л** при одновременном отсутствии активации каспаза-зависимого апоптоза. Исследование механизма темного цитотоксического действия данного вещества продолжается.

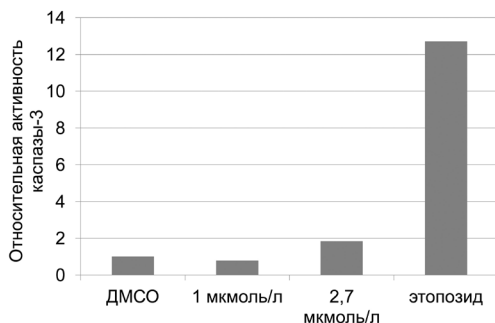


Рис. 4. Относительная активность каспазы-3 при действии порфирином цинка на клетки линии HeLa в течение 24 ч.

#### ЛИТЕРАТУРА

Пылина Я.И., Велегжанинов И.О., Шадрин Д.М. и др. Цитотоксическая активность новых производных хлорофилла *a* // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл XXI Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2014. С. 353-358.

Bonnett R. Chemical Aspects of Photodynamic Therapy // Advanced Chemistry Texts. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 2000. Vol. 1. 305 p.

Lindhagen L., Nygren P., Larsson R. The fluorometric microculture cytotoxicity assay // Nature protocols, 2008. Vol. 3. № 8. P. 1364-1369.

Nyman E. S., Hynninen P. H. Research advances in the use of tetrapyrrolic photosensitizers for photodynamic therapy // J. of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2004. Vol. 73. P. 1-28.

Vujaskovic Z., Batinic-Haberle I., Rabbani Z.N. et al. A small molecular weight catalytic metalloporphyrin antioxidant with superoxide dismutase (SOD) mimetic properties protects lungs from radiation-induced injury // Free radical biology & medicine, 2002. Vol. 33. №. 6. P. 857-863.

Tice R.R., Agurell E., Anderson D. et al. Single cell gel/comet assay: guidelines for in vitro and in vivo genetic toxicology testing // Environ. Mol. Mutagen., 2000. Vol. 35. P. 206-221.

## ВЛИЯНИЕ ПРООКСИДАНТА ПАРАКВАТА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И ВОЗРАСТНУЮ ДИНАМИКУ ПЛОДОВИТОСТИ И НЕЙРО-МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ОСОБЕЙ ЛИНИИ ДИКОГО ТИПА *CANTON-S*

Л.А. Шилова<sup>1</sup>, А.А. Москалев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

E-mail: lyubov.schilova@yandex.ru

Паракват (PQ) – соединение I класса токсичности, гербицид с широким спектром действия. Он попадает в компоненты экосистем и приводит к их загрязнению и деградации. Токсичность PQ связана с производством свободных радикалов кислорода и энергетическим кризисом, который ведет к апоптозу (Schmuck et al., 2002). На сегодняшний день, имеются противоречивые данные о токсичности PQ (Shimizu et al., 2003), а также неполно исследованы реакции целого организма на его воздействия. Острую и хроническую токсичность PQ исследуют на различных клеточных культурах и млекопитающих. На модели дрозофилы применяют «Тест сопротивления к PQ». В связи с этим было интересно исследовать эффекты дозо-зависимого острого воздействия PQ на параметры жизнеспособности дрозофил.

Для проведения экспериментов использовали линию дикого типа *Canton-S*. Особей каждого варианта содержали в термостате при 25 °C и 12-часовом режиме освещения в пробирках с 5 мл агарно-дрожжевой питательной среды.

**Обработка паракватом.** Спустя 5 сут. после вылета имаго помещали в пустые пробирки на 3 ч, далее мух переносили на 24 ч в пробирки с фильтровальной бумагой, смоченной 250 мкл раствора PQ (Methyl Viologen, Sigma), содержащего 5% сахарозы. Применяли следующие концентрации: 0, 5, 20, 40 мМ.

**Анализ продолжительности жизни (ПЖ).** Ежедневно проводили подсчет числа умерших мух. По полученным данным строили кривые выживаемости и рассчитывали медианную ПЖ, время гибели 90% особей. Для сравнения распределения смертности в выборках применяли критерий Колмогорова-Смирнова, для сравнения различий по медианной ПЖ – Гехана-Бреслоу-Вилкоксона. Достоверность различий по максимальной ПЖ оценивали с помощью метода Ванг-Аллисона. Анализ данных выполняли в статистических пакетах Statistica 8.0 (StatSoft), R 3.0.1 (R Core Team).

**Исследование двигательной активности.** Измерения осуществляли с помощью аппаратно-программного комплекса *Drosophila*

**Population Monitor (TriKinetics).** Для оценки спонтанной активности мухи находились в состоянии покоя в течение 30 сек., после чего в течение 3 мин. проводили измерения. Для проведения теста на отрицательных геотаксис мух предварительно стряхивали на дно пробирки и в течение 20 сек. проводили измерение. Этот тест повторяли трижды для пробирки с интервалом в 10 сек. между измерениями. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью критерия хи-квадрат.

**Оценка плодовитости самок.** Раз в неделю считали количество яиц, отложенных самками за одни сутки, и куколок, развившихся из яиц на 10-е сут. после кладки. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью критерия хи-квадрат.

Существует положительная корреляция между ПЖ и антиоксидантным статусом у дрожжей, нейроспор, нематод, дрозофил и некоторых млекопитающих. На дрозофиле было показано, что устойчивость к PQ может являться биомаркером для увеличения ПЖ (Arking et al., 1991). В наших исследованиях обработка PQ в концентрациях 5, 20 и 40 мМ снижала параметры ПЖ самцов *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*. Медианная ПЖ уменьшилась на 4-82% ( $p < 0.01$ ), возраст 90%-ной смертности – 3-31% ( $p < 0.01$ ) по сравнению с контролем (рис. 1). У самок в первой повторности наблюдали эффект гормезиса. В остальных вариантах воздействие PQ снижало медианную ПЖ на 5-57% ( $p < 0.01$ ), возраст 90%-ной смертности – 4-18% ( $p < 0.01$ ) по сравнению с контролем (рис. 1).

В исследованиях на *Drosophila melanogaster* (Chaudhuri et al., 2007), *Rattus norvegicus* (Kuter et al, 2007) и *Mus musculus* (Prasad et al, 2009) было показано, что PQ является нейротоксином, который вызывает повреждение дофаминергических нейронов из-за его способности проникать через гематоэнцефалический барьер (Shimizu et al., 2003). При этом повторное воздействие на дрозофил сублетальными дозами PQ приводит к селективной дегенерации дофаминергических нейронов и, как следствие, – к двигательным расстройствам (Chaudhuri, 2007). Нами получены противоречивые результаты, возможно, это связано с методикой обработки PQ. Показано, что показатели двигательной активности (спонтанная динамика активности, отрицательный геотаксис) у самцов, которые подвергались воздействию различных концентраций параквата на 5-е сут. после вылета, достоверно не отличаются от показателей контроля по критерию хи-квадрат. В то же время тест на спонтанную динамику активности самок показал достоверное различие для варианта 5 мМ PQ ( $p < 0.01$ ). При остальных концентрациях достоверных различий не выявлено. Тест на отрицатель-

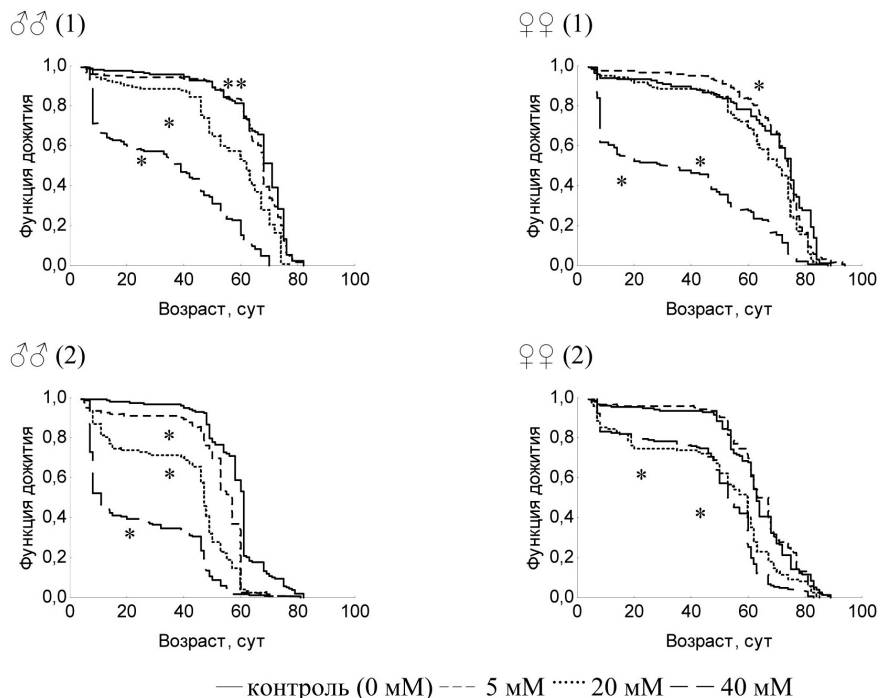


Рис. 1. Влияние раствора параквата в разной концентрации на продолжительность жизни самцов (♂♂) и самок (♀♀) особей линии дикого типа *Canton-S* в двух независимых повторностях (1, 2). \*  $p < 0.01$  \*\*  $p < 0.05$  по критерию Колмогорова-Смирнова.

ный геотаксис самок выявил достоверные снижения показателя у вариантов 20 и 40 мМ PQ (рис. 2).

При исследовании влияния раствора PQ в разной концентрации на плодовитость самок дрозофил линии дикого типа *Canton-S* наблюдали снижение яйцекладки и способность производить жизнеспособное потомство (показатель количества куколок на самку) у самок, обработанных 5, 20 и 40 мМ растворами PQ, по сравнению с контролем ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) (рис. 3).

Токсичность PQ является следствием генерации АФК: пероксидов водорода, гидроксильного и супероксидного анион радикалов (Suntres, 2002; Marino et al., 2006).

PQ повреждает митохондрии, их набухание является ранним ультраструктурным изменением в ответ на воздействие (Yumino et al., 2002). Он транспортируется через переносчик дофамина (Shimizu et al., 2003). После обработки PQ в острой дозе в ми-



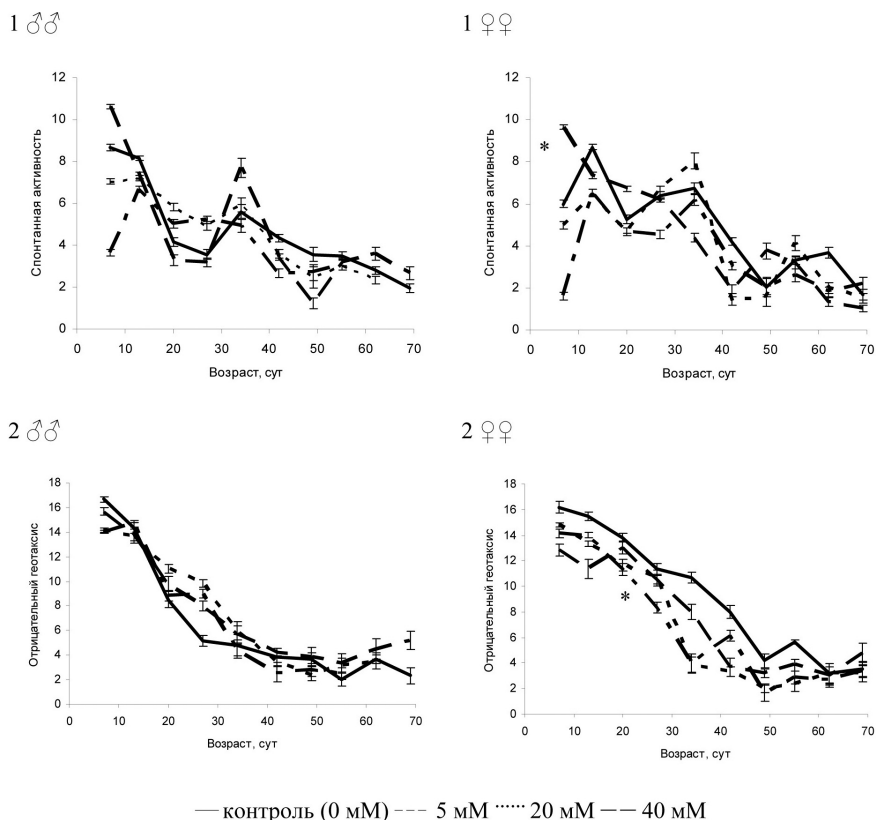


Рис. 2. Влияние раствора параквата в разной концентрации на спонтанную динамику активности (1) и отрицательный геотаксис (2) самцов (♂♂) и самок (♀♀) *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*. \*  $p < 0.01$  по критерию хи-квадрат. Планками погрешности обозначены ошибки средних.

тохондриях происходит значительное снижение активности комплексов I-III,  $Mg^{+2}$  и АТФ-аз (Yumino et al., 2002; Dawson, Dawson, 2003; Hosamani, Muralidhara, 2013), а после обработки дрозофил PQ во фракциях митохондрий – повышение концентрации супероксидов, супероксиддисмутазы, глутатион-трансферазы, малондальдегида. В течение 24 ч воздействия PQ происходит индукция окислительного стресса и в цитозольной фракции: повышается значение отношения гидропероксидной активности каталазы/ супероксиддисмутазы и увеличивается потребность клетки в антиоксидантных молекулах, таких как глутатион и тиол (Hosamani, Muralidhara, 2013). При этом изменения, наблюдаемые в митохон-

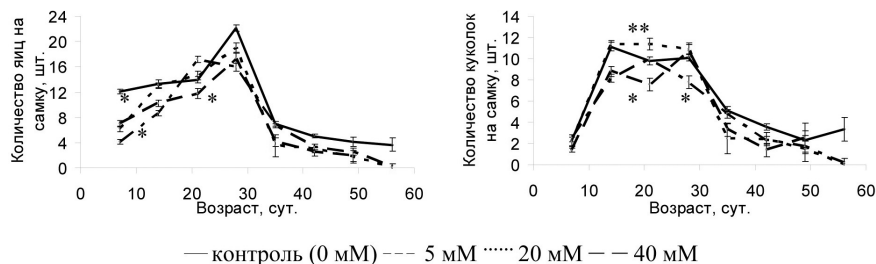


Рис. 3. Влияние раствора параквата в разной концентрации на плодовитость самок особей линии дикого типа *Canton-S*. \*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$  по критерию хи-квадрат. Планками погрешности обозначены ошибки средних.

дриях, производят больший негативный эффект, чем в цитозоле. Так, например, экспрессия пероксиредоксина-5 в митохондриях повышает устойчивость дрожжей к PQ более эффективно, чем его экспрессия в цитозоле (Tien Nguynnhu, Knoops, 2003). Дрозофилы со сверхэкспрессией каталазы в митохондриях более устойчивы к PQ, в то время как ее сверхэкспрессия в цитозоле не способствует повышению резистентности (Mockett et al., 2003). Другое исследование показало, что мыши-гетерозиготы по Mn-SOD более чувствительны к PQ, чем мыши дикого типа (Van Remmen et al., 2004). После воздействия PQ уменьшается деятельность сукцинатдегидрогеназы и цитратсинтазы, что указывает на специфическое влияние PQ на цикл лимонной кислоты (Hosamani, Muralidhara, 2013).

Также после острого воздействия PQ значительно увеличивается уровень железа в тканях (Rival et al., 2009). Известно, что он является сильным прооксидантом и участвует в реакции Фентона, а также в апоптозе, поскольку регулирует активность каспаз. Имеются данные о существовании железо-опосредованной дегенерации дофаминергических нейронов у *Drosophila* (Peng et al., 2007).

Наши результаты показали, что обработка PQ в концентрациях 5, 20 и 40 mM снижает продолжительность жизни самцов *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*, но при этом не происходит уменьшение параметров двигательной активности, а обработка PQ в концентрациях 20 и 40 mM снижает длительность жизни самок *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S* и понижает показатели плодовитости и значения отрицательного геотаксиса, но не спонтанной активности. Для концентрации 5 mM в первой повторности наблюдали проявление эффекта гормезиса по продолжительности жизни и снижение значений спонтанной динамики активности у самок.

Работа поддержана грантом РФФИ N 14-04-01596 и грантом ПРФ MD-1090.2014.4.

#### ЛИТЕРАТУРА

Arking R., Buck S., Berrios A. et al. Elevated PQ activity can be used as a biomarker for longevity in a selected strain of *Drosophila* // *Devel. Gen.*, 1991. Vol. 12. P. 362-370.

Chaudhuri A., Bowling K., Funderburk C. et al. Interaction of genetic and environmental factors in a *Drosophila* parkinsonism model // *J. Neurosci.*, 2007. Vol. 27. P. 2457-2467.

Dawson T., Dawson V. Molecular pathways of neurodegeneration in Parkinson's disease // *Science*, 2003. Vol. 302. № 5646. P. 819-822.

Hosamani R., Muralidhara. Acute exposure of *Drosophila melanogaster* to PQ causes oxidative stress and mitochondrial dysfunction // *Arch. Insect. Biochem. Physiol.*, 2013. Vol. 83. № 1. P. 25-40.

Kuter K., Smialowska M., Wieronska J. et al. Toxic influence of subchronic PQ administration on dopaminergic neurons in rats // *Brain. Res.*, 2007. Vol. 1155. P. 196-207.

Marino D., Gonzalez E., Arrese-Igor C. Drought effects on carbon and nitrogen metabolism of pea nodules can be mimicked by PQ // *J. Exp. Bot.*, 2006. Vol. 57. №3. P. 665-673.

Mockett R., Bayne A., Kwong L. et al. Ectopic expression of catalase in *Drosophila* mitochondria increases stress resistance but not longevity // *Free Radic. Biol. Med.*, 2003. Vol. 34. № 2. P. 207-217.

Peng J., Peng L., Stevenson F. et al. Iron and PQ as synergistic environmental risk factors in sporadic Parkinson's disease accelerate age-related neurodegeneration // *J. Neurosci.*, 2007. Vol. 27. № 26. P. 6914-6922.

Prasad K., Tarasewicz E., Mathew J. et al. Toxicokinetics and toxicodynamics of PQ accumulation in mouse brain // *Exp. Neurol.*, 2009. Vol. 215. P. 358-367.

Rival T., Page R., Chandrarathna D. et al. Fenton chemistry and oxidative stress mediate the toxicity of the beta-amyloid peptide in a drosophila model of Alzheimer's disease // *Eur. J. Neurosci.*, 2009. Vol. 29. № 7. P. 1335-1347.

Schmuck G., Rohrdanz E., Tran-Thi Q. et al. Oxidative stress in rat cortical neurons and astrocytes induced by PQ *in vitro* // *Neurotoxicol. Res.*, 2002. Vol. 4. № 1. P.1-13.

Shimizu K., Matsubara K., Ohtaki K. et al. PQ induces long-lasting dopamine overflow through the excitotoxic pathway in the striatum of freely moving rats // *Brain Res.*, 2003. Vol. 976. P. 243-252.

Shimizu K., Matsubara K., Ohtaki K. et al. PQ leads to dopaminergic neural vulnerability in organotypic midbrain culture // *Neurosci. Res.*, 2003. Vol. 46. № 4. P. 523-532.

Suntres Z. Role of antioxidants in PQ toxicity // *Toxicol.*, 2002. Vol. 180. P. 65-77.

Tien Nguyennhu N., Knoops B. Mitochondrial and cytosolic expression of human peroxiredoxin 5 in *Saccharomyces cerevisiae* protect yeast cells

from oxidative stress induced by PQ // FEBS Letter., 2003. Vol. 544. № 1-3. P. 148-152.

*Van Remmen H., Qi W., Sabia M.* et al. Multiple deficiencies in antioxidant enzymes in mice result in a compound increase in sensitivity to oxidative stress // Free Radic. Biol. Med., 2004. Vol. 36s. № 12. P. 1625-1634.

*Yumino K., Kawakami I., Tamura M.* et al. PQ and diquat-induced oxygen radical generation and lipid peroxidation in rat brain microsomes // J. Biochem., 2002. Vol. 131. P. 565-570.

## Секция 5 ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПОЧЕК *VACCINIUM MYRTILLUS* ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ВЫХОДЕ ИЗ ПОКОЯ

Р.В. Малышев, М.А. Шелякин  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: malrus@ib.komisc.ru

Для многолетних растений умеренного климатического пояса характерно чередование периода активного вегетативного роста и покоя. Покой растений – это физиологическое состояние, при котором существенно снижаются интенсивность метаболических процессов и отсутствует видимый рост.

Типичным компонентом почвенного покрова хвойных лесов Республики Коми является кустарничек *Vaccinium myrtillus* L. Данный вид относится к растениям с глубоким покоем, завершающимся в апреле-мае (Серебряков, 1959). Некоторые авторы указывают на способность черники к более раннему возобновлению ростовых процессов при достижении порогового значения температуры (Карпухина и др., 2007). Дополнительное прогревание кустарничков черники в течение осени и зимы способствует существенному сокращению период покоя (Taulavuori et al., 1997). Однако остается неясной степень восстановления функциональной активности в побегах черники при преждевременном выходе из покоя.

Цель работы – исследовать биоэнергетику распускающихся почек *Vaccinium myrtillus* при вынужденном и естественном выходе из покоя.

Объектом исследования являлись вегетативные побеги *Vaccinium myrtillus* на начальном этапе роста (раскрывшиеся почки), 5-7 мм. Сбор растений черники проводили в феврале и марте. Собранные ветви кустарничка адаптировали при температуре 20 °С.

Функциональную активность отрастающих побегов оценивали с помощью биологической микрокалориметрии в сочетании с моделью роста (Хансен и др., 1996). Дыхание измеряли полярографическим методом при 20 °С на системе Oxytherm (Великобритания). Способность дыхательных путей определяли методом специфических ингибиторов (Bahg et al., 1973).

Результаты измерений показали, что количество энергии, используемой на рост в отрастающих побегах, в феврале и марте достоверно не различалось и составляло около 6-7 мкВт/мг сухой массы (рис. 1).

По нашим данным, интенсивность запасаения энергии на рост побегов в марте в два раза меньше по сравнению с аналогичным показателем в мае, когда происходит естественный рост побегов (рис. 1). Согласно модели роста (Хансен и др., 1996), интенсивность запасаения энергии на рост является разницей между процессом дыхания как основным поставщиком энергии и метаболическим тепловыделением. Меньшая скорость роста побегов в феврале, марте обусловлена менее интенсивным дыханием и тепловыделением, которые по сравнению с майскими показателями были соответственно на 40 и 30 % ниже (рис. 1).

Отношение количества образуемой в дыхании энергии к диссипируемой позволяет оценить эффективность использования энергии дыхания на рост. В феврале, марте доля запасаемой энер-

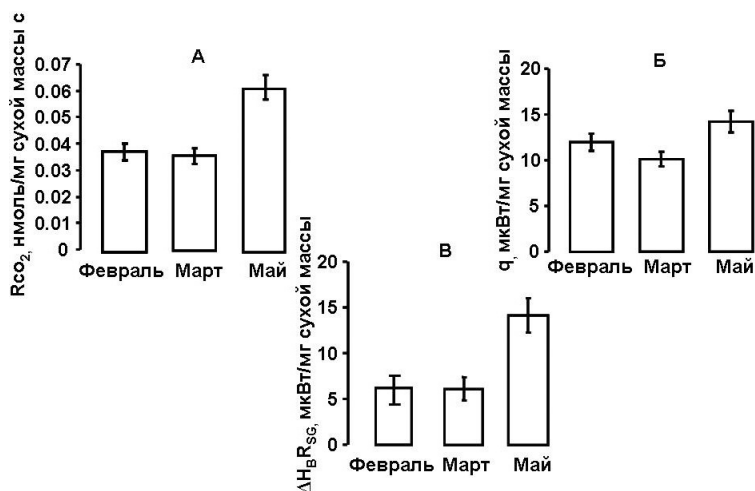


Рис. 1. Скорость дыхания (А), тепловыделения (Б) и роста (В) побегов *V. myrtillus*.

гии в побегах составляла 35-40%, в то время как в мае усваивалось не менее 50% (рис. 2). Меньшая эффективность использования энергии на рост может быть результатом сдвига энергетического баланса растений с нарушенным периодом покоя в сторону больших энергетических затрат.

Результаты определения интенсивности дыхания и его составляющих методом специфических ингибиторов показали, что в феврале-марте до 45-50% от общего дыхания составляло энергетически малоэффективное альтернативное дыхание, а цитохромного не превышало 42% (рис. 3). На основании результатов, полученных при оценке эффективности запасаения энергии, можно предположить, что в мае доля альтернативного дыхания будет ниже, чем в марте.

Полученные нами высокие значения доли альтернативного дыхания для *V. myrtillus* в целом свойственны для интенсивно растущих органов. У молодых листьев *Ajuga reptans* и *Triticum aestivum* были отмечены близкие значения доли альтернативного дыхания (Головкин, Пыстина, 2001; Гармаш и др., 2011). Считается, что альтернативный путь транспорта электронов существенно способствует поддержанию цикла Кребса как поставщика метаболитов и сни-

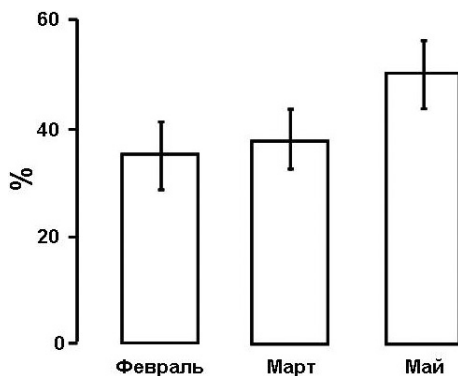


Рис. 2. Количество запасенной энергии в побегах *V. myrtillus* на начальном этапе внепочечного роста (% от образуемой при дыхании).

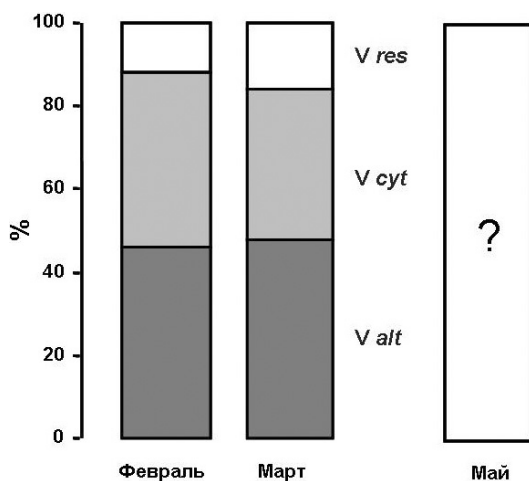


Рис. 3. Соотношение дыхательных путей в побегах *V. myrtillus*, % поглощения  $O_2$ .

жению активных форм кислорода в клетке (Maxwell et al., 1999; Millenaar, Lambers, 2003). Однако повышенная активность альтернативной оксидазы может быть вызвана не только интенсивными ростовыми процессами, но стрессовым воздействием, например, преждевременным выходом из покоя (ттт).

Таким образом, нами установлено, что при преждевременном выходе из покоя (февраль-март) почки *V. myrtillus* характеризовались более низкой интенсивностью дыхания, тепловыделения и вдвое меньшей скоростью роста по сравнению с вышедшими из покоя в мае. В побегах с нарушенным покоем доля низкоэнергетически эффективного цианидустойчивого альтернативного дыхания составляла 45-50%, основного цитохромного – не превышала 42% от общего поглощения  $O_2$ . Нарушение покоя почек в феврале-марте приводит к снижению эффективности запасаения энергии в отрастающих побегах на 12-15%, что обусловлено повышенной диссипацией энергии в форме тепла.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гармаш Е.В., Мальшев Р.В., Головкин Т. К. Дыхание листьев и вовлечение альтернативного пути в связи с ростом и фенологической стратегией растений // Вестник Института биологии, 2011. № 7-8. С. 21-25.

Головкин Т.К., Пыстина Н.В. Альтернативный путь дыхания в листьях *Rhodiola rosea* и *Ajuga reptans*: возможная физиологическая роль // Физиология растений, 2001. Т. 48. № 6. С. 846-853.

Карпухина Е.А., Жмылев П.Ю., Жмылева А.П. Зимний покой и весеннее распускание почек лесных растений // Вестник РУНД, 2007. № 1. С. 5-10.

Серебряков И.Г. Период покоя у некоторых травянистых и древесных растений Подмосковья // Вопросы биологии, 1959. Т. 100. Вып. 5. С. 39-51.

Хансен Л.Д., Тейлор Д.С., Смит Б.Н., Кридл Р.С. Связь между ростом растения и дыханием: экологические аспекты и отбор лучших сортов культурных растений // Физиология растений, 1996. Т. 43. № 6. С. 805-812.

Bahr J.T., Bonner W.D.-Jr. Cyanide-insensitive respiration // J. Biol. Chem., 1973. Vol. 248. P. 3441-3450.

Maxwell D.P., Wang Y., McIntosh L. The alternative oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cells // Proc. Nat. Acad. Sci., USA, 1999. Vol. 96. P. 8271-8276.

Millenaar F.F., Lambers H. The alternative oxidase: in vivo regulation and function // Plant Biol., 2003. Vol. № 1. 5. P. 2-15.

Taulavuori K., Laine K., Taulavuori E. et al. Accelerated dehardening in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) induced by a small elevation in air temperature // Environmental Pollution., 1997. Vol. 98. № 1. P. 91-95.



## ПРОТИВООПУХОЛЕВАЯ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ *A. SCHOENOPRASUM L.*

**Н.В. Матистов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина  
E-mail: [matistov@ib.komisc.ru](mailto:matistov@ib.komisc.ru)

Проживание человека в неблагоприятных экологических условиях вызывает изменения целого ряда обменных процессов и сказывается на состоянии функциональных систем, а также ведет к пропорциональному возрастанию его потребности в ряде микронутриентов (Проблемы..., 2009). Для профилактики дефицитных микронутриентных состояний качество питания играет исключительно важную роль. Употребление определенных продуктов питания может восполнить недостающий пул эссенциальных нутриентов.

В последние годы возросло внимание исследователей к пищевым растениям рода *Allium*, способным продуцировать необходимые для человека микронутриенты в биодоступной форме. Одним из таких представителей является *Allium schoenoprasum* (лук скороды, резанец, шнитт), который имеет широкий ареал распространения, введен в культуру и широко используется населением в качестве пищевого и лекарственного растения.

Проведенные нами исследования показали, что *A. schoenoprasum* является продуцентом аскорбиновой кислоты (до 100 мг/100 г сырой массы). Листья шнитт-лука содержат от 0.75 до 1.94% нейтральных липидов, основными компонентами которых являются эссенциальные жирные кислоты – линолевая и линоленовая. *A. schoenoprasum* содержит богатый набор микро- и макроэлементов, необходимых человеку для нормального функционирования организма. Наличие таких элементов, как **Se, Cr, Cu и Zn**, антиоксидантным и антиканцерогенным свойствам которых в последнее время уделяется большое внимание, позволяет отнести его к перспективным объектам профилактического и здорового питания (Ширшова, Бешлей, 2009).

Республика Коми, как и многие регионы России, относится к селенодефицитным регионам, поэтому проблема недостатка селена у населения северных регионов стоит достаточно остро (Проблемы..., 2009; Паршукова, 2010). Как показали наши исследования, *A. schoenoprasum* является аккумулятором селена в биодоступных для человека формах (Ширшова и др, 2011).

К настоящему времени получены экспериментальные и эпидемиологические доказательства того, что некоторые БАВ, вхо-

дящие в состав лука, могут подавлять пролиферацию опухолевых клеток разного генеза, а также снижать риск развития неоплазий некоторых органов, например, толстой кишки и желудка, репродуктивных органов (Viru et al., 2011). Разработано несколько способов получения препаратов с противоопухолевым действием, содержащих эфирные масла чеснока и лука репчатого. Совсем недавно французскими и японскими учеными был выявлен цитотоксический эффект некоторых компонентов стероидной природы, выделенных из лука *A. schoenoprasum*, на клеточных линиях опухолей толстой кишки человека НСТ-116 и НТ-29 (Timité et al., 2013).

Цель исследования – экспериментальное повышение селенового статуса растений *A. schoenoprasum* и оценка биохимических показателей, антиоксидантной и противоопухолевой активности обогащенных селеном растений и их экстрактов.

Объект исследования – лук *A. schoenoprasum*, выращенный на экспериментальных площадках лаборатории биохимии и биотехнологии из семян, полученных из коллекции Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сбор растений первого и второго года жизни производили в 2013 г.

Для экспериментального повышения содержания селена в растениях проводили намачивание семян *A. schoenoprasum* в 0.001 и 0.005% -ных водных растворах селената натрия ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ). Лабораторную всхожесть семян определяли по методике М.Г. Николаевой с соавторами (1999). Наблюдение за жизнеспособностью и всхожестью семян проводили в течение 21 дня. Семена проращивали в полиэтиленовых ящиках, заполненных торфяно-песчаной смесью. Рассаду высаживали на экспериментальные площадки. Количество семян – 500 шт. в каждой группе, в трехкратной повторности. Контроль – семена, не обработанные раствором  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ .

Растения собирали, измельчали и сушили при комнатной температуре и постоянном вентилировании. Высушенное сырье использовали для получения водно-этанольных экстрактов. Содержание металлов в кислоторастворимой форме определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Spectro. Комплексная оценка антиоксидантной активности экстрактов *A. schoenoprasum* была проведена в лаборатории физиологии и генетики микроорганизмов Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (д.б.н., профессор О.Н. Октябрьский, г. Пермь). Исследование противоопухолевой активности экстрактов *A. schoenoprasum* проводили в НИИ канцерогенеза Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина РАМН (с.н.с.,

к.б.н. В.П. Дерягина, с.н.с., к.б.н. Н.И. Рыжова, г. Москва). Использовали мышей разводки питомника лабораторных животных Столбовая РАМН. Штаммы опухоли карциномы Эрлиха (КЭ) были получены из банка Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина Российской академии медицинских наук.

На начальном этапе онтогенеза – перехода семян растений от покоя к активной жизнедеятельности, максимальный пик силы роста наблюдался на 3-и сут. эксперимента. Намачивание семян в растворах  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  значительно повышало их всхожесть (20%) и силу роста (15%) по сравнению с контролем. Максимальная всхожесть (89%) выявлена для семян, прошедших намачивание в 0.001%-ном водном растворе  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ . Семена контрольной группы имели минимальную всхожесть (69%).

Дополнительное введение селена оказывало очень сильное ингибирующее действие на усвоение растением других микроэлементов. В листьях *A. schoenoprasum* отмечали значительное снижение содержания микроэлементов во всех образцах, получивших дополнительно селен, по сравнению с контролем.

Результаты исследования антиоксидантной активности показали, что экстракты шнитт-лука обладают антиоксидантной активностью, достаточной для защиты бактерий *Escherichia coli* от пероксидного стресса. Обнаружено, что экстракты могли оказывать антиоксидантное действие на бактерии одновременно несколькими разными путями, включая прямое ингибирование АФК, хелатирование ионов железа и индукцию антиоксидантных генов. Впервые доказано, что в культурах бактерий существенный вклад в антиоксидантное действие изучаемых экстрактов вносит их способность активировать гены OxyR-регулона и влиять на активность RpoS-контролируемой системы общего стрессового ответа в условиях окислительного стресса. Обнаружено значительное повышение радикалсвязывающей и хелатирующей активности по сравнению с контролем экстрактов растений, семена которых прошли намачивание в 0.005%-ном растворе  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ .

Исследование противоопухолевой активности *A. schoenoprasum* показало, что водный и водно-спиртовый экстракты листьев лука проявляют тенденцию к ингибированию роста подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха (КЭ) у мышей-самцов BDF на стадии ее интенсивного развития.

Таким образом, использование зелени лука с экспериментально повышенным содержанием селена в пище может служить дополнительным источником биодоступного селена, полифенолов и растительных антиоксидантов и может быть рекомендован в качестве профилактики селено-дефицитных состояний и онкологических заболеваний.

В выполнении работы принимал активное участие н.с. лаборатории биохимии и биотехнологии к.б.н. И.В. Бешлей.

#### ЛИТЕРАТУРА

Проблемы адаптации человека к экологическим и социальным условиям / Под ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар-СПб., 2009. 264 с.

Паршукова О.И. Влияние климато-географических факторов на содержание селена в сыворотке крови жителей европейского севера // Изв. Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 51-53.

Ширшова Т.И., Бешлей И.В. Содержание макро- и микроэлементов в луке *Allium schoenoprasum* L. (Alliaceae) // Растительные ресурсы, 2009. Т. 45. Вып. 2. С. 97-105.

Ширшова Т.И., Голубкина Н.А., Бешлей И.В., Матистов Н.В. Селе-нодефицит и возможности его сокращения. Аккумулирующие свойства некоторых представителей рода *Allium* L. по отношению к селену // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2011. № 3(7). С. 48-54.

Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Дерягина В.П. и др. Изучение химического состава листьев *A. schoenoprasum* L. и ингибирующего действия их экстрактов на опухолевый рост у мышей // Хим.-фарм. журн., 2012. Т. 46. № 11. С. 30-33.

Viry E., Anwar A., Kirsch G. et al. Antiproliferative effect of natural tetrasulfides in human breast cancer cells is mediated through the inhibition of the cell division cycle 25 phosphatases // International Journal of Oncology, 2011. Vol. 38. № 4. P. 1103-1111.

Timité G., Mitaine-Offer A.-C., Miyamoto T. et al. Structure and cytotoxicity of steroidal glycosides from *Allium schoenoprasum* // Phytochem., 2013. Vol. 88. P. 61-66.

### ПРИМЕНЕНИЕ БИОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

А.И. Некрасова<sup>1</sup>, Д.В. Тарабукин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [peace.anna@yandex.ru](mailto:peace.anna@yandex.ru), [dim1822@yandex.ru](mailto:dim1822@yandex.ru)

Основным способом очистки сточных вод малых предприятий от нефти является фильтрование через специальные установки с наполнителями (уголь, торф, целлюлоза, базальтовое волокно, нетканые материалы и др.). Однако нефтеудерживающая способность данных материалов небольшая, поэтому предприятиями обычно сбрасываются слабо очищенные сточные воды. Повысить уровень очистки можно за счет введения в очистную систему нефтеокисляющих микроорганизмов, которые будут разлагать углеводороды нефти. К ним относятся бактерии, дрожжи, а так-

же многие виды микроскопических водорослей. Микроводоросли как фототрофные организмы обогащают водную среду кислородом, способствуя тем самым ускорению окислительных процессов и минерализации органических примесей в сточных водах (Горюнова, 1996). Применение специально подобранных штаммов микроорганизмов в данных системах очистки требует решения проблемы закрепления клеток микроорганизмов-нефтедеструкторов на фильтрующих носителях.

Цель работы – разработка и исследование искусственной биосистемы на основе нетканых волокнистых материалов и иммобилизованных на них микроорганизмов для использования в очистке сточных вод от нефтепродуктов.

Для создания искусственной биосистемы применяли структуру флокулы активного ила очистных сооружений, которая представляет собой сложный комплекс, состоящий из органических и неорганических частиц, внеклеточного полимерного вещества, филаментных, свободных и закрепленных на органическом волокне одиночных и колониальных бактерий (Козлов, 2012)

Культуры микроводорослей *Acutodesmus obliquus* и *Chlorella vulgaris* (SykoA Ch-010-09) (Новаковская, 2012) из коллекции SykoA Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) выращивали на среде Тамия следующего состава: на 1 дм<sup>3</sup> воды: KNO<sub>3</sub> – 5 г, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O – 2.5, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O – 1.25, FeSO<sub>4</sub> – 0.003 г. Культуры нарабатывали в режиме освещения фитолампой OSRAM L 18W/77 при постоянной аэрации и комнатной температуре. Далее была проведена работа по оценке закрепления данных микроводорослей на полимерных волокнистых материалах из нетканки. Ввиду того, что материал нетканых волокон является довольно инертным материалом, применяли модифицирующие агенты, такие как катионный крахмал (КК), а также приготовленный собственноручно полиакриламидный гель. Перед закреплением культуры *Acutodesmus obliquus* образец волокнистого нетканого материала массой 1 г помещали в раствор катионного крахмала концентрацией 0.5 мг/см<sup>3</sup> на 1 ч и выдерживали при комнатной температуре. Далее образец вынимали и высушивали при 100 °С до воздушно-сухого состояния. После этого образец материала помещали на 24 ч в культуральную жидкость штамма микроводоросли. По окончании замачивали образцы в 1 дм<sup>3</sup> водопроводной воды, перемешивали и оценивали смыв клеток на микроскопе.

На первом этапе взвешивали три образца волокнистого материала из нетканки по 3 г каждый. Первый раствор геля наносили на один образец, частично гидролизованный – на другой и образцы сушили. Далее помещали три образца в стаканы вместе

мостью 100 см<sup>3</sup>, приливали по 100 см<sup>3</sup> культуральной жидкости одноклеточной микроводоросли *Chlorella vulgaris* и оставляли на сутки для закрепления. После этого их замачивали в 1 дм<sup>3</sup> водопроводной воды, перемешивали и оценивали смыв клеток на микроскопе.

На следующем этапе использовали культуру штамма микроводоросли *Chlorella vulgaris* и культуру нефтеокисляющих дрожжей *Rhodotorulla glutinis* (*Rhodotorula sp.* 28-18-2), выделенную из нефтезагрязненных почв Усинского р-на Республики Коми и проявляющую способность к деструкции широкого спектра нефтяных углеводов. Препараты на основе испытуемого штамма получали методом глубоинной ферментации на стерильной полусинтетической среде, содержащей минеральные соли (из расчета на 1 л воды NaNO<sub>3</sub> – 3; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 1; MgSO<sub>4</sub> – 0.5; KCl – 0.5; FeSO<sub>4</sub> – 0.01) и в качестве источника углерода – сахарозу 20 г/дм<sup>3</sup>. Титр клеток в готовом препарате составлял 10<sup>7</sup> клеток на 1 см<sup>3</sup>. Условия культивирования: температура 30 °С, естественное освещение, при 180 об./мин.

Далее образцы высушивали и оценивали смыв закрепленных клеток, пропуская через каждый образец в колонке по 1 дм<sup>3</sup> водопроводной воды. После этого их помещали в плоскодонные колбы вместимостью 150 см<sup>3</sup>, приливали 100 см<sup>3</sup> водопроводной воды, затем добавляли в каждую колбу по две капли нефти (примерно 100 мг) и инкубировали на качалке в течение одной недели. По окончании визуально оценивали состояние и распределение нефти на волокнистых образцах.

Для образцов нетканого волокна, обработанных катионным крахмалом, после смыва характерно наличие на волокне как одиночных клеток *Acutodesmus obliquus*, так и небольших колоний. Причем в первом случае закрепление, возможно, происходит за счет микродефектов на самом волокне, во втором – за счет концентрации клеток вокруг частиц КК. Для культуры клеток *Chlorella vulgaris* без модификации волокна также наблюдается наличие

#### Условия экспериментов

Образец	Условия
1	Крупное волокно + <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Rhodotorulla glutinis</i>
2	Крупное волокно + <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Rhodotorulla glutinis</i> + ПАА
3	Крупное волокно + <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Rhodotorulla glutinis</i> + частично гидролизированный ПАА
4	Тонкое волокно + <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Rhodotorulla glutinis</i>
5	Тонкое волокно + <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Rhodotorulla glutinis</i> + ПАА
6	Тонкое волокно + <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Rhodotorulla glutinis</i> + частично гидролизированный ПАА

лишь единичных клеток, причем в основном в межволоконном пространстве. Наличие полиакриламида (ПАА) на волокне обеспечивает после смыва сравнительно большее количество клеток в форме колоний, что говорит о достаточно сильных взаимодействиях между данным неионогенным полимером и поверхностью микроводорослей (возможно, за счет водородных связей). Наибольшее количество клеток *Chlorella vulgaris*, закрепленных на нетканом волокне, наблюдали при использовании в качестве модификатора частично гидролизованного ПАА, и переведенного таким образом в анионную форму. Итак, использование высокомолекулярных ионогенных модификаторов для нетканого волокна достаточно эффективно с целью иммобилизации и последующим использованием в проточных системах.

Как и в случае с водорослями (см. опыт выше), применение ПАА в качестве модификатора способствует закреплению на нетканом волокне крупных колоний нефтеокисляющих микроорганизмов, а также микроводорослей. После опыта со смывом на необработанном волокне с трудом можно найти одиночные клетки, на обработанных – достаточно большие колонии в местах концентрации ПАА. Как следствие, в опытах с нанесением нефти образцы, характеризующиеся наибольшим смывом клеток микроорганизмов, наблюдается наименьшее изменение исходного состояния нефтяных включений. Значительное воздействие на нефтяные капли выявлено для образцов нетканого волокна с модификатором, что, безусловно, является следствием оставшихся после смыва микроорганизмов. Сильное расслоение нефти для образцов 3 и 6, возможно, обусловлено наличием дополнительных ионных групп, имеющихся у частично гидролизованного ПАА. Анализ образцов после инкубирования выявил следующее: на образцах волокна с микроорганизмами, закрепленными с помощью частично гидролизованного ПАА, было меньше всего нефтепродуктов. В то же время в воде после удаления волокнистых образцов оказалось больше всего нефтепродуктов, однако суммарная степень разложения оказалась наибольшей.

Были созданы и исследованы искусственные биосистемы, на основе нетканых волокнистых материалов и иммобилизованных на них микроорганизмов для применения в очистке сточных вод от нефтепродуктов. Было обнаружено, что при использовании ПАА после смыва на волокне остается значительное количество клеток микроводорослей в форме колоний, чем с волокном без ПАА. Больше количество клеток *Chlorella vulgaris* видно на волокнах, обработанных частично гидролизованным ПАА. Это говорит о том, что закрепление микроводорослей на волокне про-

исходит лучше, чем при использовании ионогенных модификаторов. Нефтеокисляющие микроорганизмы, а также микроводоросли эффективно закрепляются на нетканом волокне при применении ПАА в качестве фиксатора, который способствует сохранению больших колоний после смыва на обработанных волокнах. Содержание нефтепродуктов снижается на толстом и тонком волокнах при обработке их ПАА, еще больше оно уменьшается при обработке их частично гидролизованым ПАА, что, возможно, обусловлено тем, что дополнительные ионогенные группы способствуют закреплению большего количества микроорганизмов после смыва. ПАА является эффективным связующим звеном между микроорганизмами и неткаными волокнами в искусственной биосистеме по аналогии с внеклеточными полимерными веществами природной флоккулы активного ила.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Баринова С.С., Медведева Л.А.* Атлас водорослей – индикаторов сапробности (российский дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.

*Винберг Г.Г., Сивко Т.Н.* Участие фотосинтезирующих организмов фитопланктона в процессах самоочищения загрязненных вод // Гидробиология и ихтиология внутренних водоемов Прибалтики / Тр. Ин-та биол. АН Латв. ССР. Рига, 1963. Т. 23. № 7. С. 61-65.

*Горюнова С.В., Ржанова Г.Н., Орлеанский В.К.* Синезеленые водоросли (биохимия, физиология, роль в практике). М.: Наука, 1996. 300 с.

*Козлов М.Н., Дорофеев А.Г., Асеева В.Г.* Микробиологический контроль активного ила биореакторов очистки сточных вод от биогенных элементов. М.: Наука, 2012. 80 с.

*Новаковская И.В., Патова Е.Н.* Коллекция живых штаммов микроводорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН и перспективы ее использования // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2012. № 2 (10). С. 36-41.

Фауна аэротенков (Атлас) / Под ред. Л.А. Кутиковой. Л.: Наука, 1984. 264 с.

## МИКРООРГАНИЗМЫ И СОРБЕНТЫ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

**Ж.Л. Пантюхина<sup>1</sup>, Д.В. Тарабукин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина

<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

При современном развитии промышленности безопасность воды – одна из основных экологических проблем мира. Существует множество способов очистки сточных вод: механическая, термическая, электро- и биохимическая. В большинстве случаев исполь-



зуют комплексные способы очистки. Обычно после механической следует биологическая, суть которой состоит в том, что из сточных вод за счет микроорганизмов удаляются растворенные, коллоидные и оставшиеся после механической очистки взвешенные вещества (Голубовская, 1978). В результате нейтрализуется патогенная микрофлора, а также происходит снижение содержания основных загрязняющих веществ, характерных для сточных вод очистных сооружений разных предприятий промышленности. Методы биологической очистки включают применение микроорганизмов в различных сочетаниях, таких как биосорбенты, биофильтры, биологические пруды. Подбор микроорганизмов зависит от природы основных загрязняющих веществ (см. таблицу).

**Возможности очистки вод  
с помощью иммобилизованных микроорганизмов-деструкторов  
(Синицын, Райнина, 1994)**

Загрязняющие вещества	Микроорганизм	Носитель
Гексаметилендиамин	<i>Bacillus subtilis</i>	Стекловолокно, глинистые минералы
Красители	<i>Pseudomonas</i> sp.	Древесный уголь, створки мидий, морской песок
Ароматические углеводороды, гетероциклические амины, фенолсодержащие стоки металлургических заводов	<i>Pseudomonas</i> sp., <i>Trichosporon outaneum</i> , активный ил	Ерши из стекловолокна, стеклянные шарики
Поверхностно-активные вещества, красители, морфолинсодержащие стоки	<i>Pseudomonas</i> sp., <i>Bacillus</i> sp.	Ерши из стекловолокна Волокно из природных минералов
Этилкетон, этилацетат, пропионовый альдегид, кретоновый альдегид, ацетальдегид, стирол	<i>Pseudomonas fluoresoens</i> <i>Bacillus</i> sp.	Активированный уголь
Капролактам	<i>Aohromobacter guttatus</i>	Поролон, стеклоткань, стеклянные бусы, стеклоерши
Жирные кислоты	<i>Alkaligenes</i> sp.	Целит
Нафталин-2-сульфонат	<i>Pseudomonas</i> sp.	Песок
Фенол	<i>Candida tropicalis</i>	Включение в Са-альгинат, гели на основе полистирола, ПААГ, адсорбция на активированном угле
Бензол	<i>Pseudomonas putida</i>	Включение в ПААГ, Са-альгинат
а-Метилстирол	<i>P. aerugenosa</i> <i>B. c oagulans</i> ,	Са-альгинат
Кретоновый альдегид, ацетальдегид, этанол, бутанол, этилацетат	<i>B. subtilis</i> , <i>Ps. alcaligens</i>	Флоки клеток (флокулянт – латекс дивинилстирольного типа)

В проточной системе очистки и в загрязненных водных объектах наиболее эффективно применение биосорбентов или биофильтров, что осуществляется посредством иммобилизации микроорганизмов на матрицу носителя. Преимущества иммобилизованных микроорганизмов: высокая устойчивость клеток и их продуктивность по сравнению с традиционной ферментацией, длительная эксплуатация биокаталитических свойств клеток. Выбранный штамм микроорганизмов должен иметь повышенную скорость роста и давать высокий выход продукта за короткое время; обладать способностью развиваться на относительно недорогих сорбентах; быть резистентным к патогенным микроорганизмам; иметь малый выход побочных продуктов (Синицын, Райнина, 1994). При выборе сорбентов и сорбирующих материалов необходимо обратить внимание на их безопасность для окружающей среды, плавучесть, трудоемкость и стоимость.

Цель работы – оценка возможности создания биосорбента для проточных нефтезагрязненных стоков, способного не только поглощать нефть, но и утилизировать ее на месте.

Объектами исследований служили модельная нефтезагрязненная вода, биопрепарат нефтеокисляющего действия «Универсал», состоящий из микроорганизмов *Rhodotorula glutinis*, штамм В-1115, *Rhodococcus equi*, штамм В-1116, *Rhodococcus equi*, штамм В-1117, *Rhodococcus equi*, штамм Р-72-00 и микроводоросль *Chlorella vulgaris*. В качестве подложки-сорбента использовали обезвоженный осадок активного ила с лесопромышленного комбината ОАО «Монди СЛПК» (г. Сыктывкар). Активный ил – это искусственно выращенный биоценоз при аэрации антропогенно загрязненных вод, населенных гелепродуцирующими бактериями-гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции, биохимического окисления, выедания бактерий и простейших. Очистка сточных вод происходит за счет поглощения органических веществ простейшими бактериями, биосорбции и биохимического окисления. Активный ил способен в короткие сроки переработать значительные массы органических загрязняющих веществ (Жмур, 2003). Активный ил в очистных сооружениях находится в аэротенках, его биомасса постоянно продуцирует за счет поступающей со сточными водами органики. На вторичных отстойниках убирают избыток активного ила, который в дальнейшем обезвоживают и вывозят на полигон-свалку.

Обоснованность применения активного ила в качестве подложки обусловлена тем, что он способен в значительной мере сорби-

ровать нефтепродукты за счет липополисахаридных компонентов, продуцируемых входящими в него микроорганизмами (Жмур, 2003). Нами также подтверждена способность активного ила концентрировать нефтяную пленку.

На основании ранее проведенной работы (Щемелинина, Маркарова, 2014) установлено, что разработанный альгобактериальный консорциум на основе биопрепарата «Универсал» и микроводоросли *Chlorella vulgaris* может быть использован для биологического этапа очистки нефтезагрязненных сточных вод промышленных предприятий и при нефтеразливах в водных средах. Для применения в системе очистки загрязненных водных объектов и сточных вод нефтепродуктами необходимо альгобактериальный комплекс иммобилизовать на носителе и провести контроль созданного биосорбента на эффективность очистки от нефтепродуктов.

Первый этап исследования включал проверку закрепления клеток микроорганизмов, входящих в состав альгобактериального комплекса на обезвоженном осадке активного ила. Иммобилизовывали микроорганизмы методом адсорбции на матрицу носителя (Егоров, 1989). Обезвоженный осадок активного ила обрабатывали альгобактериальным комплексом, после чего сушили осадок при комнатной температуре. Далее было проведено микроскопирование для определения фиксации вносимого комплекса на флоккулах активного ила. Выявлено, что к флокулам крепятся клетки бактерий биопрепарата и микроводорослей.

Полученный комплекс биосорбент–микроорганизмы в перспективе может использоваться в отстойниках и маслоуловителях, которые являются одним из первоначальных узлов очистных сооружений. Наличие стационарной фазы над проходящим потоком позволяет вносить разработанный комплекс, который способен обеспечивать разложение поглощенных нефтепродуктов за счет иммобилизованных микроорганизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. М.: Высшая школа, 1978. 268 с.

Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М., 2003. 506 с.

Егоров Н.С. Промышленная микробиология. М.: Высшая школа, 1989. 688 с.

Синицын А.П., Райнина Е.И. Иммобилизованные клетки микроорганизмов. М.: Изд-во МГУ, 1994. 288 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. № 2. С. 18-22.

## ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСОВ ГЛИКОЗИЛГИДРОЛАЗ НА ПОЛИСАХАРИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

И.Г. Синельников

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова  
E-mail: [Sinelnikov.i@list.ru](mailto:Sinelnikov.i@list.ru)

В последние годы возрос интерес к применению биокатализаторов для разрушения клеточных стенок растений с целью получения высококачественных углеводных субстратов. В результате ферментативной биоконверсии полисахаридных комплексов растений получают пентозы и гексозы, которые могут быть как конечным целевым продуктом, так и субстратом для получения биоэтанола, биобутанола, органических кислот и прочих продуктов.

Множество работ посвящено биоконверсии растительного сырья и сельскохозяйственных отходов, однако особый интерес представляют именно полисахаридные комплексы (ПСК) древесного происхождения с высоким содержанием целевого субстрата – целлюлозы – и более качественным полисахаридным составом.

Цель нашей работы – оценка реакционной способности полисахаридов клеточных стенок древесных растений, полученных в ходе щелочной делигнификации.

Ферментативный гидролиз целлюлозосодержащих материалов (ЦСМ) проводили при 50 °С с концентрацией субстрата 5-10%, рН среды регулировалась 0.1 М натрий-ацетатным буфером до рН 5.0. Расход ферментного препарата 10 мг белка на 1 г сухого вещества субстрата. Продолжительность обработки ЦСМ комплексами гликозилгидролаз – 48 ч. Гидролиз осуществлялся в ферментере Biostat Aplus (Sartorius) объемом 1 л, оснащенный рамной мешалкой, который обеспечивал равномерное распределение ферментативного препарата в субстрате на ранних этапах гидролиза.

В работе использовались субстраты, полученные из хвойных и лиственных пород древесины после воздействия различных химикатов в щелочной и нейтральной среде. Предобработка необходима для разрушения структуры клеточной стенки и удаления лигнина – одного из главных ингибиторов ферментативного процесса. Полная делигнификация полисахаридного комплекса достигалась отбелкой либо воздействием азотной кислоты (табл. 1).

Для биоконверсии ПСК применялись современные ферментные препараты гликозилгидролаз – промышленные (Cellic CTec2 – Novozymes, Дания) и лабораторного производства. Лабораторный комплекс гликозилгидролаз, продуцируемый рекомбинантными грибами рода *Penicillium verruculosum* (ИБФМ РАН г. Пу-

Таблица 1

## Компонентный состав полисахаридных комплексов

Порода древесины	Субстрат	Содержание компонента, % к а.с.с.		
		Полисахариды	Целлюлоза	Лигнин
Ель	Беленая целлюлоза	99.0	82.5	–
Ель	Небеленая целлюлоза	96.0	80.3	2.8
Береза/осина	Беленая целлюлоза	99.0	70.5	–
Береза/осина	Небеленая целлюлоза	97.0	69.4	2.0
Береза/осина	Полуцеллюлоза после варки с зеленым щелоком	81.5	50.0	17.6
Береза/осина	Нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза	80.2	51.0	18.2

щино), с повышенным содержанием целлюлаз и ксиланаз, необходим для осахаривания полисахароидных комплексов растений (Проскура, 2013). Биокатализаторы, созданные на основе штаммов *P. verruculosum*, имеют более высокие каталитические активности, чем у повсеместно используемых коммерческих биокатализаторов на основе штамма *Trichoderma*, что на практике позволяет достигать на 30% более высоких выходов продуктов гидролиза при биодеструкции ПСК.

Гидролиз проводился при стандартных условиях в течение 48 ч комплексами гликозилгидролаз, продуцируемыми *P. verruculosum*, затем методами Шомоди-Нельсона и глюкозооксидазными методами в ферментолизатах определялись концентрации растворимых продуктов гидролиза. Реакционная способность субстрата оценивалась как степень конверсии абсолютно сухого субстрата в восстанавливающие сахара (ВС) и глюкозу (табл. 2).

Гидролиз древесины осины без предобработки дал крайне малые выходы восстанавливающих сахаров и глюкозы. Плотная упакованная микрофибрилярная структура целлюлозы, связанная с неразрушенным лигнином и ксиланом, является крайне инертным субстратом для ферментативного гидролиза.

Образцы полуцеллюлозы, полученные нейтрально-сульфитным методом и варкой с зеленым щелоком (ЗЩ), несмотря на примерно одинаковый полисахаридный состав, показали разную реакционную способность. Выходы ВС и глюкозы для полуцеллюлозы после варки с ЗЩ на 18% выше, что может быть объяснено тем, что варка с ЗЩ проходит при гораздо более высоких значениях pH, что приводит к набуханию микрофибрил целлюлозы, что как следствие улучшает доступность волокон целлюлозы для ферментного препарата. Учитывая содержание лигнина (около 20%), следует отметить довольно высокую реакционную способность обоих субстратов (Новожиллов, 2014; Jin, 2010).

Таблица 2

## Степень полисахаридных субстратов

Субстрат	Выход ВС от субстрата, %	Выход глюкозы от субстрата, %
Опилки осины	3.2	2.4
Лиственная небеленая целлюлоза	56.0	43.0
Лиственная беленая целлюлоза	65.0	54.0
Хвойная беленая целлюлоза	78.0	68.0
Хвойная небеленая целлюлоза	66.5	54.0
Полуцеллюлоза после варки с зеленым щелоком	53.0	47.0
Нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза	35.0	26.0
Полуцеллюлоза после варки с зеленым щелоком и делигнификации	72.6	60.2

Беленая и небеленая целлюлоза, полученная в ходе сульфатной варки хвойных или лиственных пород древесины, имеет наибольшее количество целлюлозы при минимальном содержании лигнина. Однако наиболее высокую реакционную способность проявляет хвойная беленая целлюлоза, за 48 ч около 78% субстрата перешло в растворимое состояние, причем 68% из них – глюкоза. Использование лиственной целлюлозы менее привлекательно за счет меньшего количества целлюлозы в субстрате и высокого содержания ксилана (до 25%), что затрудняет доступ гликозилгидролаз к волокнам целлюлозы. Более того, продукты гидролиза ксилана способны весьма существенно ингибировать действие целлобиогидролаз, одного из главных компонентов ферментных препаратов. Наличие остаточного лигнина в небеленых образцах целлюлозы также существенно уменьшает степень конверсии субстратов. Так, при содержании лигнина 2-3% выход ВС и глюкозы уменьшается на 10-15%.

В качестве вывода следует отметить высокую активность ферментативного комплекса *P. verruculosum* по отношению ко всем субстратам, изучаемым в рамках данной работы. Показана относительно высокая реакционная способность субстратов, полученных в ходе относительно мягкой нейтрально-сульфитной обработки и обработки ЗЩ. Несмотря на низкую степень делигнификации, данные полуцеллюлозы показали относительно высокие выходы растворимых продуктов гидролиза, что делает их привлекательными объектами для получения углеводных субстратов, учитывая высокий выход данных субстратов из древесины.

Показано, что хвойная и лиственная целлюлоза сульфатной варки независимо от степени отбелки являются наиболее привлекательными субстратами для получения углеводных субстратов

высокого качества с большим содержанием глюкозы. Высокая реакционная способность в сочетании с минимальным количеством ароматических компонентов позволяет за 48 ч гидролизовать субстраты более чем на 70%. Однако следует учитывать, что наличие большего количества ксилана в лиственной целлюлозе существенно снижает выход растворимых продуктов гидролиза.

Работа выполнена при финансовой поддержке базовой части государственного задания (проект «Биотехнология возобновляемых ресурсов растительного происхождения» САФУ им. М.В. Ломоносова, 2015 г.) Минобрнауки РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

Новожилов Е.В., Аксенов А.С., Демидов М.Л. и др. Применение комплексных биокатализаторов на основе рекомбинантных ферментных препаратов *penicillium verruculosum* для гидролиза полуцеллюлозы из лиственной древесины // Катализ в промышленности, 2014. № 5. С. 65-73.

Проскурина О.В., Короткова О.Г., Рожкова А.М. и др. Применение технологии «фьюжн» для создания высокоэффективных биокатализаторов на основе рекомбинантных штаммов *Penicillium verruculosum* для конверсии целлюлозосодержащей биомассы // Катализ в промышленности, 2013. № 5. С. 65-73.

Jin Y., Jameel H., Chang H., Phillips R. Pretreatment of mixed hardwood for ethanol production in a repurposed kraft pulp mill // Journal of wood chemistry and technology, 2010. Vol. 30. P. 86-104.

## РЕЗОЛЮЦИЯ

### XXII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии»

XXII Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 6 по 10 апреля 2015 г. и собрала довольно широкую аудиторию участников: аспирантов, кандидатов и докторов наук, сотрудников различных организаций и студентов высших учебных заведений, интересующихся вопросами биологии и экологии и участвующих в научно-исследовательской работе.

Основная цель конференции заключалась в создании условий общения молодых исследователей для обмена опытом, поиска новых идей, в представлении 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.

В работе конференции приняли участие 103 чел., из них 68 – молодые ученые Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 12 – студенты и аспиранты вузов г. Сыктывкара (Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, Сыктывкарский лесной институт), остальные участники прибыли из других городов России. Они представляли Ботанический сад УрО РАН (г. Екатеринбург), Вологодскую лабораторию ФГБНУ «ГосНИОРХ» (г. Вологда), Вологодский государственный университет (г. Вологда), Вятский государственный гуманитарный университет (г. Киров), ФГБУГЦАС «Кировский» (г. Киров), Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (пос. Борок), Институт биологии Карельского НЦ РАН (г. Петрозаводск), Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН (г. Уфа), Институт экологии растений и животных УрО РАН (г. Екатеринбург), Пущинский государственный естественно-научный институт (г. Пущино), Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (г. Москва), Санкт-Петербургский государ-



ственный университет (г. Санкт-Петербург), Северный (Арктический) федеральный университет (г. Архангельск), Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск).

Среди участников – четыре доктора наук, 40 кандидатов наук разных специальностей, 10 аспирантов и 24 студента.

На конференции прозвучало 74 доклада, в том числе четыре пленарных. На пленарной сессии Д.А. Филиппов дал характеристику разнотипных болотных водоемов и их структурных компонентов. В докладе Т.В. Тихоновой показано значение экосистемных услуг на особо охраняемых природных территориях и оценены перспективы их развития в современной России. Роль микоризы в динамике растительных сообществ освещена в сообщении Д.В. Веселкина. Данные о кислотности почв таежной зоны, ее изученности и перспективах исследований представлены в докладе Е.В. Шамриковой.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира», где прозвучало 13 докладов, были рассмотрены итоги инвентаризации разнообразия водорослей, грибов, растительных сообществ; изучение индикаторной роли и особенности интродукции перспективных видов для лесопромышленного комплекса, жизненных стратегий видов, отклика растительности на колебания климата.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» прозвучало 14 докладов, посвященных биологии, таксономическому составу и экологии различных групп водных организмов, комплексов почвенных и наземных беспозвоночных, а также миграции птиц на европейском северо-востоке России.

Традиционно основная часть докладов (27) затронула вопросы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем. Молодые ученые представили результаты исследований морфологии, физико-химических свойств температурного режима почв, последствия их загрязнения поллютантами различной природы, особенностей функционирования микробиоты почвы и закономерностей эмиссии парниковых газов с ее поверхности. Обсуждены вопросы влияния пожаров, ветровалов и рубок на лесные экосистемы.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (семь докладов) и «Морфолого-физиологические и молекулярно-генетические аспекты влияния экологических факторов на организмы» (13 докладов) рассмотрены биотехнологические, молекулярно-генетические и физиолого-биохимические механизмы устойчивости и продуктивности организмов.

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

Программа научного форума выполнена в полном объеме. Участники отметили как высокий уровень организации и проведения конференции, актуальность обсуждаемых проблем и значимость полученных научных результатов, так и насыщенную и интересную культурную программу.

Подводя итог обсуждению основных рассмотренных проблем, конференция рекомендует:

1. Институту биологии Коми НЦ УрО РАН издать материалы докладов, представленных на XXII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» тиражом 150 экз;

2. Совету молодых ученых разместить электронную версию материалов докладов на сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН;

3. Провести XXIII Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2016 г.;

4. Организовать во время XXIII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» мастер-классы, способствующие повышению квалификации молодых ученых.

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН за помощь и финансовую поддержку при проведении конференции.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Александрова А.М.	85	Матвеева Е.И.	132
Ахмадишина Л.З.	241	Матистов Н.В.	265
Белых Д.В.	231, 249	Матурина М.А.	60
Благодатская Е.В.	181	Мигловец М.Н.	138
Боднарь И.С.	199	Михайлов О.А.	141
Болотник Е.В.	204	Михайлова Е.Н.	144
Бондаренко Н.Н.	89	Москалев А.А.	212, 215, 221, 236, 254
Бурдо А.Ю.	12	Мостовая А.С.	148
Бушуева Е.А.	57	Мостовая М.А.	79
Василевич М.И.	97	Некрасова А.И.	268
Василевич Р.С.	92, 97, 172	Низовцев Н.А.	152
Васильева Е.А.	60	Никифорова О.В.	156
Вележанинов И.О.	208, 226, 231, 249	Новаковский А.Б.	42
Габов Д.Н.	192	Олькова А.С.	246
Гончарова Н.Н.	47	Осипов А.Ф.	160, 164
Горностаева Е.А.	246	Островский А.М.	67
Гусев Е.С.	5	Паламарчук М.А.	21
Гутий Л.Н.	17	Пантюхина Ж.Л.	272
Данилов А.А.	212, 221	Пастухов А.В.	47, 118
Добровольская Е.В.	215, 236	Перминова Е.М.	156, 168
Дубровский Ю.А.	42, 102	Плюснина Е.Н.	215, 236
Дымов А.А.	102, 144, 152, 176	Пылина Я.И.	226, 231, 249
Ермакова А.В.	208	Рафиков Р.Р.	71
Жангуров Е.В.	102, 176	Романис Т.В.	5
Жук Е.А.	79	Самойлова А.С.	172
Зайцева В.Л.	5	Сизоненко Т.А.	52
Земская Н.В.	212, 221	Синельников И.Г.	276
Истомина Г.И.	57	Соколова А.А.	75
Каверин Д.А.	47, 102	Соловьев И.А.	215, 236
Канева А.В.	226	Старцев В.В.	176
Кириллов Д.В.	21	Старцева О.М.	231
Китаев К.А.	241	Стройнов Я.В.	5
Ковалев М.Н.	107, 160	Сыртланова Л.А.	241
Ковалева В.А.	112, 168	Тамуленис А.Ю.	79
Кочанова Е.С.	65	Тарабукин Д.В.	268, 272
Кубик О.С.	89, 118	Тарабукина И.С.	231, 249
Курганова И.Н.	181	Тропин Н.Ю.	75
Кутявин И.Н.	123	Филиппов Д.А.	5
Лобуничева Е.В.	5	Фокина А.И.	246
Лопес де Гереню В.О.	181	Хорошаев Д.А.	181
Лопичева О.Г.	26	Чурова М.В.	85
Лукашева М.В.	138	Шадрин Д.М.	226, 231, 249
Лялина Е.И.	246	Шапошников М.В.	212
Макаренкова Н.Н.	31	Шахтарова О.В.	187
Малышев Р.В.	261	Шевченко О.Г.	212
Манов А.В.	36, 160	Шелякин М.А.	261
Маркушин М.А.	128	Шилова Л.А.	221, 254
		Юрченко В.В.	5
		Яковлева Е.В.	132, 192

ISBN 978-5-89606-539-5



*Научное издание*

XXII Всероссийская молодежная научная конференция  
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»

Материалы докладов

*Рекомендовано к изданию  
Ученым советом Института биологии Коми НЦ УрО РАН*

Редактор Л.А. Федорова  
Оригинал-макет – Е.А. Волкова  
Художник О.П. Велегжанинов

Лицензия № 0047 от 10.01.99.

Компьютерный набор. Подписано в печать 02.09.2015. Формат 60x90<sup>1/16</sup>. Печать офсетная.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 17.75. Уч.-изд. л. 17.5. Тираж 150. Заказ №

---

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика  
в полном соответствии с предоставленными материалами  
в .....