

Российская академия наук  
Уральское отделение  
Коми научный центр  
Институт биологии

XXI Всероссийская молодежная  
научная конференция

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

*(посвященная 70-летию А.И. Таскаева)*

Материалы докладов

7-11 апреля 2014 г.  
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар 2014

**XXI Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» (посвященная 70-летию А.И. Та-скаева).** Материалы докладов. Сыктывкар, 2014. 372 с. (Коми научный центр УрО РАН).

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

Редколлегия

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

*При поддержке Президиума Уральского отделения РАН*

ISBN 978-5-89606-530-2

## ПРЕДИСЛОВИЕ

XXI Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 7 по 11 апреля 2014 г. и была посвящена 70-летию А.И. Таскаева. Конференция собрала широкую аудиторию участников: аспиранты, кандидаты и доктора наук, сотрудники различных организаций и студенты высших учебных заведений, интересующиеся вопросами биологии и экологии и участвующие в научно-исследовательской работе.

Основная цель конференции – создание условий для общения молодых исследователей друг с другом, обмена опытом, поиска новых идей, возможности представить и 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 и Президиума Уральского отделения РАН.

В работе конференции приняло участие 146 чел., из них 63 – молодые ученые Института биологии, 23 – из других организаций Сыктывкара, 60 чел. – из других городов России.

На конференции прозвучало 100 сообщений, в том числе три пленарных. Конференцию открыл доклад д.б.н. С.В. Дегтевой, в котором она рассказала об основных вехах жизни Анатолия Ивановича Таскаева. О.А. Михайлов представил вниманию слушателей результаты исследования потоков парниковых газов в болотных экосистемах с использованием современного метода микровихревых пульсаций. С.П. Масловой освещены итоги исследований подземного метамерного комплекса многолетних растений, раскрыты вопросы структурно-функциональной организации, экологии и эволюции. Д.М. Шадрин сделал доклад о программе по изучению генетического разнообразия организмов на планете на основе изучения последовательностей ДНК, которая получила название «ДНК-штрихкодирование». Традиционно основная часть докладов затронула проблемы изучения, охраны и рационального использования животного и растительного мира. Это фауна и экология беспозвоночных животных, флора и растительность, биология растений, а также компьютерные средства анализа и систе-

матизации данных о растительном мире. Существенное внимание было уделено вопросам, связанным с исследованием почв и органического вещества в них, анализу последствий загрязнения окружающей среды поллютантами различной природы, функционирования лесных и болотных экосистем. 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 присланных 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, способствовала установлению новых связей и возможностей для сотрудничества.

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми научного центра и Президиум Уральского отделения РАН 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**  
**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА МИКРОВИХРЕВЫХ ПУЛЬСАЦИЙ**  
**ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ**  
**УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**  
**В БОЛОТНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ**

**О.А. Михайлов, М.Н. Мигловец**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: *mikter@mail.ru*

За последние 100 лет глобальное потепление климата Земли составило 0.74 °С (Изменение..., 2008). По данным многолетних наблюдений и модельных расчетов, в России с 1907 по 2006 г. среднегодовая температура в приземном слое атмосферы увеличилась на 1.29 °С (Оценочный доклад..., 2008). Одной из причин изменения климата является повышение концентрации в атмосфере парниковых газов, прежде всего диоксида углерода и метана (Влияние..., 2006; Изменение..., 2008).

Торфяные болота играют ключевую роль в углеродном цикле планеты. За несколько тысячелетий в болотах высоких широт северного полушария накоплено 400-500 Гт углерода, который в условиях изменения климата может стать источником активного поступления парниковых газов в атмосферу (Gorham, 1991; Davidson, Janssens, 2006).

Таким образом, количественная оценка баланса вертикальных потоков углеродсодержащих парниковых газов в болотных биогеоценозах таежной зоны является актуальной проблемой современной экологии.

Баланс вертикальных потоков диоксида углерода в болотной экосистеме определяется соотношением двух разнонаправленных процессов: фотосинтеза и дыхания. При оценке поглощенного растениями диоксида углерода из атмосферы используют показатель валовой первичной продукции ( $GPP$ ,  $P_{gross}$ ), который соответствует количеству углерода, поглощенного при образовании первичной продукции сосудистыми растениями, мхами, лишайниками и во-

дорослями (Пулы..., 2007). Обратный направленный процесс – суммарное выделение диоксида углерода в процессе дыхания автотрофов и гетеротрофов – называют «дыханием экосистемы» ( $R_{eco}$ ) или «валовым дыханием» (Карелин, Замолодчиков, 2008). Оно включает в себя дыхание растений (надземных и подземных органов), поток  $CO_2$  из почвы и подстилки.

Суммарный поток диоксида углерода, формирующийся из валовой первичной продукции экосистемы ( $P_{gross}$ ) и валового дыхания ( $R_{eco}$ ), представляет собой чистый экосистемный обмен (net ecosystem exchange,  $NEE$ ) и рассчитывается по формуле:

$$NEE = P_{gross} + R_{eco}. \quad (1)$$

Баланс вертикальных потоков метана в болотной экосистеме также определяется соотношением двух разнонаправленных процессов: выделения  $CH_4$  в результате деятельности метанпродуцирующих бактерий и его поглощения почвенными метанотрофами.

Для оценки роли болот бореальной зоны в процессах поглощения и стока углерода атмосферы в условиях меняющегося климата на европейском севере России необходимо пополнение недостающих знаний о сезонной и многолетней динамике потоков углекислого газа и метана в болотных экосистемах.

Цель данной работы – выявление закономерностей сезонной динамики нетто-обмена углекислого газа и метана в приземном слое атмосферы на мезоолиготрофном болоте средней тайги.

Исследования потоков диоксида углерода проводили с 15 мая по 30 сентября 2012 г., метана – с 1 апреля по 28 октября 2013 г. на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр, расположенном в подзоне средней тайги на европейском северо-востоке России, в 40 км на северо-запад от г. Сыктывкара (Республика Коми,  $61^{\circ}56'$  с.ш.  $56^{\circ}13'$  в.д.; Торфяные ресурсы..., 2000).

На участке болота, где проводили измерения, преобладают типы растительных сообществ: 1) *Carex rostrata* Stokes–*Oxycoccus palustris* Pers.–*Carex limosa* L.–*Sphagnum* sp.; 2) *Andromeda polyfolia* L.–*Oxycoccus palustris*–*Scheuchzeria palustris* L.–*Sphagnum* sp. Незначительную площадь (до 5%) занимают олиготрофные сообщества *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench–*Oxycoccus palustris*–*Andromeda polyfolia*–*Sphagnum* sp.

Измерения вертикальных потоков диоксида углерода и метана выполнены методом микровихревых пульсаций. Теоретическую основу метода составляет уравнение Навье-Стокса, осредненное по Рейнольдсу. Оно используется для описания турбулентных течений, включая воздушные течения, имеющие вид вихрей

и двигающиеся с высокой скоростью. Метод осреднения Рейнольдса заключается в замене случайно изменяющихся характеристик газового потока (скорость, концентрация) суммами их осредненных и пульсационных составляющих (Baldocchi, 2003; Burba, Anderson, 2010):

$$F_c = (\bar{p}_c + p'_c)(\bar{w} + w'), \quad (2)$$

где  $p_c$  – концентрация исследуемого газа,  $w$  – вертикальная скорость ветра,  $F_c$  – поток исследуемого газа. Черта сверху означает осреднение за некоторый промежуток времени, апостроф – пульсационную составляющую потока.

После преобразования и ряда допущений выражение (2) приобретает вид:

$$F_c = w'p'_c, \quad (3)$$

где  $w'$  – это отклонение вертикальной скорости ветра,  $p'_c$  – отклонение концентрации исследуемого газа,  $F_c$  – поток исследуемого газа.

Таким образом, вертикальный поток вычисляется как значение совместной вариации (ковариации) между флуктуациями вертикальной скорости ветра и концентрацией исследуемого газа в воздухе. Флуктуации происходят с высокой частотой (порядка десятка герц), поэтому для их регистрации необходимо чувствительное и точное оборудование.

Измерительная система включала ультразвуковой анемометр (CSAT3, Campbell Scientific Inc, USA) и инфракрасные газоанализаторы открытого типа (Li-7500A и Li-7700, Li-Cor Inc., USA). Отбор проб воздуха проводили на высоте 3.93 м. Регистрация данных производилась с частотой 10 Hz, полученные результаты обрабатывали в программе EddyPro (Li-Cor Inc., USA).

Программный анализ состоял из математической и статистической обработки первичных данных. Для корректного расчета указывали информацию о высоте расположения приборов над поверхностью болота и расстояние между центральной частью рабочего пространства анемометра и рабочим пространством газоанализатора. При анализе учитывали скорость и направление ветра в трех проекциях, температуру воздуха, измеренную анемометром, среднее значение концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  за 30-минутный период измерений, атмосферное давление. Обработка данных включала также анализ и нивелировку временной разницы между измерениями скорости ветра и концентраций исследуемых газов для каждого 30-минутного периода.

Статистическую обработку первичных данных проводили согласно методике (Vickers, Mahrt, 1997), которая включала нахождение физически значимых пределов разброса данных, выявление и удаление артефактов, вызванных случайными электронными помехами, возникающими вследствие скопления воды на преобразователях ультразвукового анемометра. Из общего массива также удаляли данные со слабой дисперсией, возникающей вследствие низкой турбулентности атмосферы или технических проблем.

В результате получали среднюю величину потока диоксида углерода и метана за 30-минутный период, а также информацию, позволяющую оценить условия турбулентности в пограничном с поверхностью болота слое атмосферы ( $u^*$ ), стабильность атмосферных условий в момент измерения ( $z/L$ ) и время, за которое сменяется порция воздуха в рабочем пространстве газоанализатора ( $\tau$ ). Для определения площади покрытия измерениями пространства на исследуемом болоте («следа») использовали модель, описанную в литературе (Kljun et al., 2004).

Параметры микроклимата (температуру и влажность воздуха, интенсивность ФАР, падающей и отраженной солнечной радиации) регистрировали автоматической метеостанцией (Campbell Scientific Inc., США).

Баланс вертикальных потоков диоксида углерода за сутки рассчитывали по формуле:

$$NEE_{сут} = 0.0036 \times [(NEE_{ср. день} \times N_{день}) + (NEE_{ср. ночь} \times N_{ночь})], \quad (4)$$

где  $NEE_{ср. день}$  – средний нетто-обмен диоксида углерода за светлое время суток, когда значения ФАР  $\geq 20$  мкмоль  $m^{-2}c^{-1}$ ,  $NEE_{ср. ночь}$  – средний нетто-обмен вертикальных потоков диоксида углерода за темное время суток, когда значения ФАР  $\leq 20$  мкмоль  $m^{-2}c^{-1}$  (ночь),  $N_{день}$  – продолжительность светлого периода суток (ч),  $N_{ночь}$  – продолжительность темного периода суток (ч). 0.0036 – коэффициент конвертирования скорости  $CO_2$ -газообмена из мкг  $m^{-2}c^{-1}$  в г  $m^{-2}сут^{-1}$ . Баланс вертикальных потоков  $CO_2$  за месяц рассчитывали, умножая среднее значение суточных  $NEE$  за месяц на количество дней в каждом месяце.

Результирующий поток диоксида углерода между болотом и атмосферой ( $NEE$ ) разделяли на дыхание экосистемы ( $R_{eco}$ ) и gross-фотосинтез ( $P_{gross}$ ) по общепринятой методике (Lloyd, Taylor, 1994; Lasslop et al., 2010). Для расчета интенсивности дыхания экосистемы использовали уравнение:

$$R_{eco} = R_{10} \times \exp^{308.6 \times \left( \left( \frac{1}{56.02} \right) - \left( \frac{1}{T_{surf} + 46.02} \right) \right)}, \quad (5)$$

где  $R_{eco}$  – дыхание экосистемы ( $\text{мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ),  $R_{10}$  – дыхание экосистемы при температуре воздуха  $10^\circ\text{C}$  ( $\text{мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ),  $T_{surf}$  – температура поверхности почвы ( $^\circ\text{C}$ ). Коэффициент  $R_{10}$  рассчитывали отдельно для каждого периода измерений.

Значение gross-фотосинтеза вычисляли, используя выражение (1):

$$P_{gross} = NEE - R_{eco}.$$

Суммарный поток метана за месяц вычисляли по формуле:

$$V_{\text{CH}_4 \text{ мес}} = F_{\text{средн}} \times N_{\text{мес}}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{CH}_4 \text{ мес}}$  – суммарный поток метана за месяц,  $F_{\text{средн}}$  – средняя за сутки скорость вертикального потока метана ( $\text{мг м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ ),  $N_{\text{мес}}$  – количество дней в месяце.

Статистическую обработку значений вертикальных потоков диоксида углерода и метана проводили в программе STATISTICA 10 (лицензия Института биологии Коми НЦ УрО РАН).

В течение периода измерений скорость эмиссии диоксида углерода варьировала в широких пределах (рис. 1). Переключение с эмиссии на сток в болотной экосистеме наблюдали в мае, что совпало с началом вегетационного сезона. В этом месяце средняя за сутки величина стока составляла  $-1.1 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ , в июне возрастала до  $-3.9 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ . Максимальные средние величины стока (до  $-6.3 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ ) наблюдали в июле и августе, в период наибольшего развития зеленой массы растений. Осенний переход болота от поглощения к выделению  $\text{CO}_2$  совпал с началом отмирания травянистых растений, опадом листьев у кустарничков. В этот период усиление эмиссионного потока диоксида углерода может быть связано с разложением органического вещества «свежего» опада (Попов и др., 2006). В сентябре средняя эмиссия  $\text{CO}_2$  составила  $2.7 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ .

Корреляционный анализ показал, что в течение вегетационного периода наблюдается экспоненциальная зависимость дыхания экосистемы в ночное время от температуры поверхности почвы ( $r = 0.63$ ,  $p = 0.000$ ,  $n = 490$ ), зависимость gross-фотосинтеза от интенсивности ФАР – логарифмическая ( $r = 0.59$ ,  $p = 0.000$ ,  $n = 2400$ ), а от температуры поверхности почвы – линейная ( $r = 0.71$ ,  $p = 0.000$ ,  $n = 2400$ ).

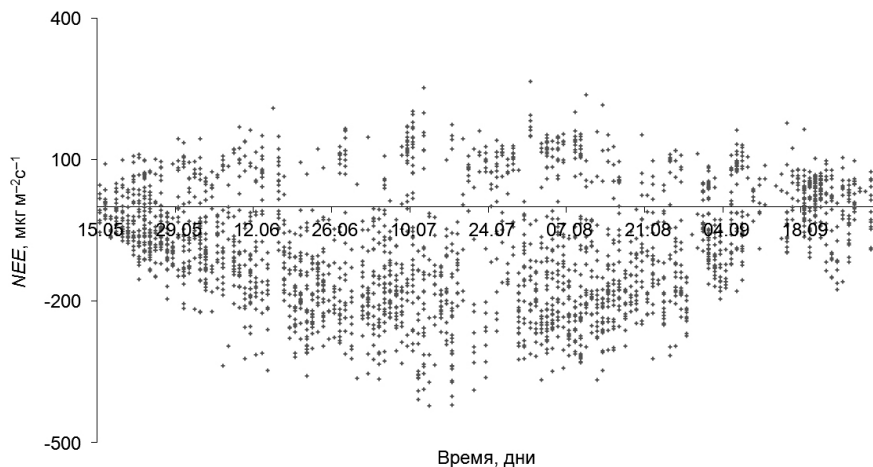


Рис. 1. Сезонная динамика  $NEE$  на болоте с 15 мая по 30 сентября 2012 г.

В течение периода измерений в 2013 г. скорость эмиссии метана существенно варьировала (рис. 2). В период 20-28 апреля после схода снега происходило активное таяние линз льда в торфяной залежи, что привело к кратковременному всплеску выбросов накопленного в почве за зиму метана. В эти дни максимальные значения суммарной эмиссии достигали  $0.16 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ . В мае, с началом периода вегетации, выбросы  $\text{CH}_4$  в атмосферу удвоились. Максимальное среднее значение эмиссии в июле составило  $0.25 \text{ г м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ . Однако следует отметить, что в конце июня – начале июля и в первой декаде августа, когда наблюдался недостаток осадков, отмечено кратковременное снижение скорости эмиссии метана (рис. 2). Со второй половины августа этот процесс начал замедляться, а в конце октября поток метана достиг весенних значений.

Нами установлен высокий уровень корреляции скорости вертикальных потоков метана с уровнем воды на болоте. Регрессионный анализ показал высокую зависимость в сезонной динамике средней за сутки скорости эмиссии метана от УГВ ( $r = 0.81$ ,  $p = 0.000$ ,  $n = 90$ ), эта связь описывается линейным уравнением. В сезонной динамике средняя за сутки скорость эмиссии зависит также от среднесуточной температуры почвы на глубине 10-20 см ( $r = 0.81$ ,  $p = 0.000$ ,  $n = 200$ ), эта связь описывается экспоненциальной функцией. Согласно нашим исследованиям, экспоненциальный рост эмиссии метана с поверхности болота продолжается при увеличении температуры почвы до  $+14 \text{ }^\circ\text{C}$ .

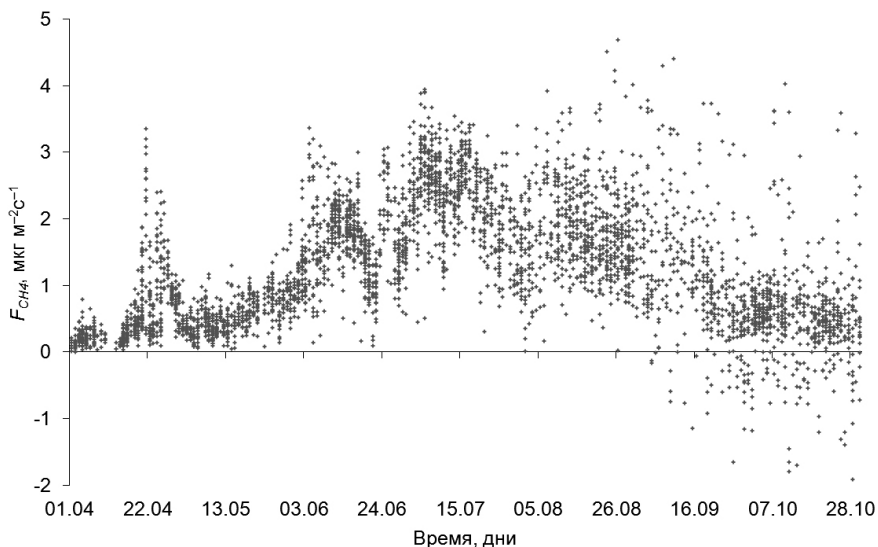


Рис. 2. Сезонная динамика скорости вертикального потока метана с поверхности мезоолиготрофного болота в атмосферу в 2013 г.

По данным измерений с использованием метода микровихревых пульсаций, средняя за сутки величина  $NEE$  составила в 2012 г. в мае  $-0.4$ , июне  $-3.9$ , июле  $-6.3$ , августе  $-6.1$ , сентябре  $-2.7$  г  $CO_2$   $m^{-2}$ , а для всего вегетационного периода  $-2.8$  г  $m^{-2}$ . За вегетационный период 2012 г. на охватываемом приборами участке болотный биогеоценоз ассимилировал  $442.4$  г  $m^{-2}$  диоксида углерода. В 2013 г. за период измерений (211 дней) суммарная эмиссия метана в атмосферу на исследованном нами болоте составила  $22.4$  г  $m^{-2}$ , а за вегетационный период с мая по сентябрь  $-19.6$  г  $m^{-2}$ .

Таким образом, применение современного метода микровихревых пульсаций позволило количественно оценить баланс вертикальных потоков углеродсодержащих парниковых газов в экосистеме мезоолиготрофного болота, а также установить зависимость потоков от основных экологических факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Влияние изменения климата на экосистемы бассейна реки Амур / Под ред. Ю.А. Дармана, А.О. Кокорина, А.А. Минина. М., 2006. 128 с.

Изменение климата, 2007 г. Обобщающий доклад / Под ред. Э. Райзингера, Р.К. Пачаури. Женева, 2008. 104 с.

*Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г.* Углеродный обмен в криогенных экосистемах. М., 2008. 344 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2008. 29 с.

*Попов Э.Г., Таланов А.В., Курец В.К.* Эколого-физиологические характеристики ряда автохтонных видов древесных растений и мхов Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2006. Вып. 10. С. 105-110.

Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М., 2007. 315 с.

Торфяные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар, 2000. 613 с.

*Baldocchi D.D.* Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future // *Global change biology*. 2003. №9. P. 479-492.

*Burba G., Anderson D.* Eddy covariance flux measurements. LI-COR, Inc. USA, 2010. 213 p.

*Davidson E.A., Janssens I.A.* Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change // *Nature*. 2006. Vol. 440. P. 165-173.

*Gorham E.* Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming // *Ecological applications*. 1991. Vol. 1. № 2. P. 182-195.

*Kljun N., Calanca P., Rotach M.W., Schmid H.P.* A simple parameterization for flux footprint prediction // *Boundary layer meteorology*. 2004. №112. P. 503-523.

*Lloyd J., Taylor J.A.* On the temperature dependence of soil respiration // *Functional ecology*. 1994. Vol. 8. №3. P. 315 – 323.

*Lasslop G., Reichstein M., Papale D., Richardson A.D., Arneth A., Barr A., Stoy P., Wohlfahrt G.* Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach: critical issues and global evaluation // *Global change biology*. 2010. №16. P. 187-208.

*Vickers D., Mahrt L.* Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data // *Journal of atmospheric and oceanic technology*. 1997. Vol. 14. P. 512-526.



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

**МОДУЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ *MYRIOPHYLLUM SIBIRICUM* КОМ.  
ВОДОЕМОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

**М.С. Бондаренко**

Сыктывкарский государственный университет

E-mail: [arn7au7ts7kaja@mail.ru](mailto:arn7au7ts7kaja@mail.ru)

В настоящее время опубликовано немало работ, посвященных биологии водных растений, касающихся их биоморфологии, ритма сезонного развития и онтогенеза (Лапиров, 2000; Лебедева, 2006 и др.). Тем не менее, остаются слабо изученными специфика морфогенеза, онтогенеза, особенности структурной организации водных и прибрежно-водных растений. В особенности это касается погруженных гидрофитов северных территорий, которые изучены в меньшей степени. Очень мало информации об их побегообразовании, сезонном развитии и особенностях онтогенеза.

В связи с этим объектом исследования стал погруженный гидрофит, турионообразующий долголетник – *Myriophyllum sibiricum* (уруть сибирская).

Цель данной статьи – анализ модульной организации погруженного гидрофита – *Myriophyllum sibiricum* Ком.

Сбор материала выполнен в двух пунктах: 1) на одном из озер бассейна р. Кажим (Интинский район, Республика Коми) в июле 2012 г. и 2) на нескольких озерах поймы р. Пижда (Усть-Цилемский район, Республика Коми) в июле 2013 г.

Строение побеговых систем проанализировано с позиций теории модульной организации растительных организмов, разрабатываемых Н.П. Савиных (2002).

Известно, что тело растения, формирующееся в результате закономерного и последовательного накопления однотипных струк-

турных элементов, имеет модульную организацию (Савиных, 2007).

Побеговые системы *M. sibiricum* описаны с использованием трех категорий модулей: элементарные модули (ЭМ), универсальные (УМ) и основные (ОМ).

В строении побега урути сибирской выделено 50 вариантов ЭМ, отличающихся набором структурных элементов (рис. 1).

ЭМ были распределены в три группы – ЭМ турионовой части, формирующие вегетативную часть побегов и соцветия.

Все разнообразие ЭМ отличается по числу листьев и пазушных структур. Число листьев в мутовке варьирует от трех до пяти, чаще всего встречаются четырехчленные мутовки, реже всего – трехчленные. Могут быть варианты полного отсутствия пазушных структур (рис. 1, 11, 28, 29), наличие почки или побега. Почек обычно одна-три (рис. 1, 12-14, 32, 33), не исключено, что их число может достигать четырех в четырехчленной мутовке или пяти – в пятичленной (по максимальному числу листьев в мутов-

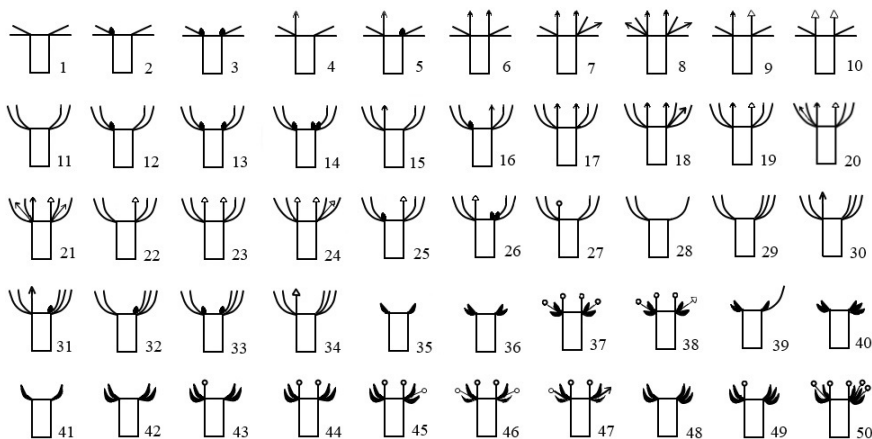
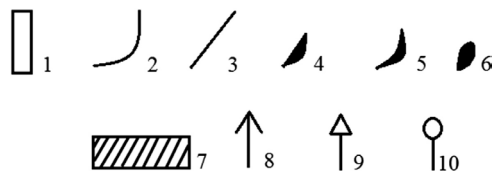


Рис. 1. Варианты строения элементарных модулей *M. sibiricum*.



Здесь и на рис. 2: 1 – междоузлие, 2 – лист срединной формации, 3 – турионный лист, 4 – катафилл, 5 – брактя, 6 – почка, 7 – турионовая часть побега, 8 – вегетативный побег, 9 – генеративный побег, 10 – цветок.

ке), но нами было обнаружено максимальное число – три. Число побегов в составе элементарного модуля может достигать четырех в четырехчленной мутовке с различными сочетаниями: либо вегетативный (рис. 1, 15, 17, 18, 30), либо генеративный (рис. 1, 22-24, 34), либо вегетативный и генеративный (рис. 1, 19-21) побеги. Встречаются варианты ЭМ с одновременным присутствием одной почки и одного вегетативного побега (рис. 1, 16, 31), одной-двух почек и одного генеративного побега (рис. 1, 25, 26). То же наблюдается и с турионовой частью. Могут быть варианты полного отсутствия пазушных структур (рис. 1, 1), наличие почки или побега. Почек может быть одна-две (рис. 1, 2, 3). Число побегов в составе ЭМ может достигать четырех в четырехчленной мутовке также с различными сочетаниями. Побеги либо только вегетативные (рис. 1, 4, 6-8), либо только генеративные (рис. 1, 10), либо вегетативные и генеративные (рис. 1, 9). Также встречаются варианты ЭМ с одновременным присутствием одной почки и одного вегетативного побега (рис. 1, 5).

В соцветиях листовые образования представлены катафиллами и брактелями. Катафиллы расположены в нижних частях соцветий. Как правило, они встречаются по четыре в четырехчленной мутовке (рис. 1, 36-38), по два (рис. 1, 35) или три в сочетании с листом срединной формации (рис. 1, 39). Единично отмечено пять катафиллов в одном узле в случае пятичленной мутовки (рис. 1, 40). Брактелей, как правило, по четыре в четырехчленной мутовке (рис. 1, 42-47), иногда встречаются две брактели в узле (рис. 1, 41), в нижней части соцветия после катафилл, реже – пять брактелей в пятичленной мутовке (рис. 1, 48-50). В составе четырехчленной мутовки чаще всего встречается четыре цветка (рис. 1, 37, 46), реже – один-три (рис. 1, 43-45) в нижней части соцветия. Встречалось несколько экземпляров, когда в составе четырехчленной мутовки находились три цветка и один вегетативный побег (рис. 1, 47) или три цветка и один генеративный побег (рис. 1, 38). В случае пятичленной мутовки наблюдались экземпляры с одним (рис. 1, 49) или пятью (рис. 1, 50) цветками в узле.

Набор ЭМ уручи сибирской в разных районах исследования различен (см. таблицу). 17 вариантов ЭМ были встречены в Интинском и Усть-Цилемском районах, пять вариантов модулей отмечены только в Интинском районе и 28 – только в Усть-Цилемском районе, что превышает в пять раз все разнообразие вариантов ЭМ Интинского района. Поскольку число модулей всех категорий определяется внешними факторами и зависит от условий обитания растений, можно предположить, что высокое разнообразие ЭМ в Усть-Цилемском районе обусловлено наиболее благоприятными природно-климатическими условиями данной территории.

**Специфические особенности модульной организации  
(на уровне элементарных модулей) *M. sibiricum* в районах исследования**

ЭМ, встреченные только в районе 1	ЭМ, встреченные в районах 1 и 2	ЭМ, встреченные только в районе 2

Совокупность элементарных модулей образует универсальный модуль.

УМ *M. sibiricum* представляет собой одноосный моноцентрический монокарпический побег. Он бывает двух типов, вегетативный и генеративный. Эти типы в свою очередь разделяются на два подтипа, отличающиеся по формообразованию, т.е. одни побеги развиваются от турионовой части, а другие – вследствие травматической партикуляции, которая наблюдается не часто.

УМ, включающий в себя все варианты ЭМ, представляет собой генеративный моноцентрический побег, который развивается от турионовой части (рис. 2, 1). В его состав входят все три группы ЭМ: формирующие турионовую часть, вегетативную часть побегов и ЭМ соцветия. Такой тип универсального модуля *M. sibiricum* является полным. Как правило, этот тип формируется чаще всего. Под воздействием внешних условий побег может оторваться и продолжить свое развитие автономно, так как вода является естественной средой для произрастания водных растений. В результа-

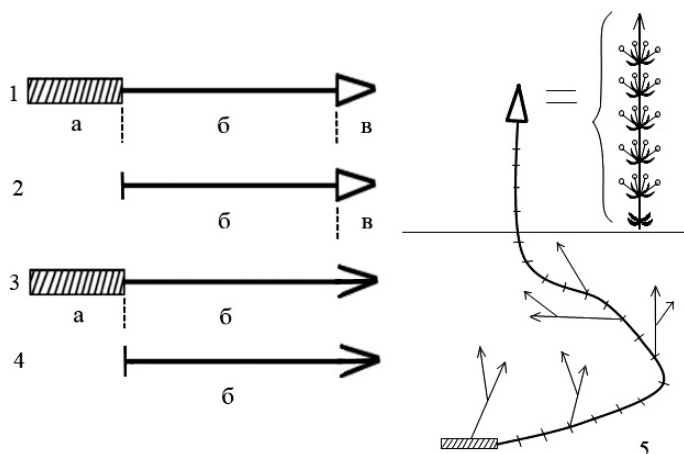


Рис. 2. Строение: 1-4 – универсальных модулей (а – турионовая часть, б – вегетативная часть, в – соцветие), 5 – основного модуля *M. sibiricum*.

те формируется генеративный моноцентрический побег без турионовой части (рис. 2, 2). Он состоит из тех же ЭМ, но отсутствуют те, которые располагаются на турионовой части побега. Некое сходство имеет вегетативный моноцентрический побег, состоящий из ЭМ, формирующих вегетативную и турионовую части побега, но не имеющий ЭМ, формирующие соцветия (рис. 2, 3). Наиболее бедным в своем разнообразии ЭМ является вегетативный моноцентрический побег, который составляют только элементарные ЭМ, формирующие вегетативную часть побега (рис. 2, 4). Такой вариант побега развивается в результате травматической партикуляции и наблюдается реже всего.

Совокупность УМ формирует основной модуль. Он является структурой, которая определяет тип биоморфы. Основной побег *M. sibiricum* (рис. 2, 5) определен как система моно- и дициклических монокарпических и вегетативных побегов, разраставшихся на базе одноосного туриона.

### Выводы

Модульная организация *Myriophyllum sibiricum* на уровне элементарного модуля представлена тремя группами, формирующими: 1) турионовую часть, 2) вегетативную часть побегов и 3) соцветие. Всего выделено 50 вариантов элементарных модулей. Универсальный модуль – одноосный моноцентрический монокарпический побег, представленный двумя типами побегов – вегетатив-

ным и генеративным, которые в свою очередь бывают двух подтипов, отличающихся по формообразованию. Основной модуль – система моно- и дициклических монокарпических и вегетативных побегов, разраставшихся на базе одноосного туриона.

Разнообразие элементарных модулей *Myriophyllum sibiricum* в Усть-Цилемском районе превышает в пять раз разнообразие элементарных модулей Интинского района, что, скорее всего, обусловлено более благоприятными природно-климатическими условиями первого района исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

Лапиров А.Г. Особенности онтогенеза частухи подорожниковой // Гидрботаника-2000: Матер. V Всерос. конф. по водным растениям. Борк, 2000. С. 174-175.

Лебедева О.А. Биология шелковника волосистостлистного (*Batrachium trichophyllum* (Chaix) Bosch): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2006. 18 с.

Савиных Н.П. Модули у растений // Материалы докладов Международной конференции по анатомии и морфологии растений. СПб., 2002. С. 95-96.

Савиных Н.П. Модульная организация растений. Онтогенетический атлас растений. Йошкар-Ола, 2007. Т. V. С. 15-34.

## АНАЛИЗ ИНВАЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ ЛЕСОСТЕПНОГО ПРИОБЬЯ

А.П. Боронина

Алтайский государственный университет

E-mail: boronina.a@inbox

С помощью интродукции растений решается ряд важных задач, в числе которых сохранение генофонда и увеличение биологического разнообразия природных флор. Однако нерегулируемое распространение экзотов представляет собой серьезную угрозу местным растительным сообществам и приводит к флористическому загрязнению территории (Коропачинский, 2013). Распространению новых видов способствует деятельность интродукционных центров (ботанических садов, дендрариев, опытных станций, различных институтов биологического профиля), поэтому возрастает актуальность изучения биологии интродуцентов и их инвазивности. К инвазивным растениям, согласно классификации Richardson, основанной на концепции преодоления чужеродными видами растений различных барьеров, относятся натурализовавшиеся виды, образующие многочисленное потомство и распро-

страняющиеся на существенное расстояние от родительских растений (Richardson et al., 2000). Следовательно, способность к активному распространению является основным показателем инвазионной активности чужеродных видов.

Цель работы – оценка инвазионной активности древесно-кустарниковых растений, произрастающих на территории дендрария Сибирского НИИ растениеводства и селекции.

Работа выполнена на базе дендрария Сибирского НИИ растениеводства и селекции, расположенного на левом берегу р. Обь, пос. Краснообск Новосибирской области в подзоне Приобской лесостепи. Коллекция дендрария заложена по ботанико-географическому принципу: европейская часть РФ, Западная Сибирь, Средняя Азия, Восточная Сибирь, Дальний Восток, Юго-Восточная Азия; Северная Америка. Материалом для исследования послужили растения, способные к естественному возобновлению в ботанико-географической группе «Северная Америка».

При оценке инвазионной активности учитывалась степень семенного (и/или вегетативного) размножения. Исследования проводились на пробных площадях. Подбор и закладка пробных площадей осуществлялись по общепринятым методикам (ГОСТ 16128-70; Полевая геоботаника, 1964). Пробные площадки располагались либо по параллельным ходовым линиям – трансектам, либо в выборочном порядке до тех мест, где экземпляры исследуемого вида отсутствовали. Расстояние между пробными площадками было постоянным. На каждой пробной площадке выполнялось геоботаническое описание по общепринятой методике (Полевая геоботаника, 1964). Все особи исследуемого вида разбивались на возрастные группы, выбирались модельные растения для дальнейшего измерения. У каждого модельного растения описывали следующие признаки: диаметры стволиков у основания, верхушки (если растения до 40 см), если растения выше, то на высоте 130 см. Кроме этого измеряли высоту, длину вершинного годичного прироста. Обильность плодonoшения оценивалась глазомерно по шкале Капера (1930). Устойчивость интродуцентов к новым условиям существования определялась по шкале Трулевич (1991), которая является интегральным показателем биологической приспособленности растений. Онтогенетическое состояние описывалось по Т.А. Работнову (1950).

Наблюдения показали, что на территории дендрария в группе «Северная Америка» естественно возобновляются *Acer negundo* L., *Amelanchier spicata* Lam., *Betula* sp., *Cornus amomum* Mill., *Crataegus* sp., *Physocarpus* sp., *Prunus pensylvanica*, *Rhamnus alnifolia* L'Herit., *Robinia pseudoacacia* L., *Shepherdia argentea* (Pursh)

Nutt., *Viburnum lantana* L. Коллекция дендрария содержит близкородственные виды и сорта многих растений, а в условиях относительно небольшой территории возрастает вероятность спонтанной межвидовой гибридизации. Поэтому некоторые растения требуют более углубленного таксономического исследования.

Для наиболее активно распространяющихся видов были заложены пробные площади. Это *Acer negundo*, *Cornus atomum*, *Crataegus* sp., *Physocarpus* sp., *Prunus pensylvanica*, *Robinia pseudoacacia*, *Shepherdia argentea*, *Viburnum lantana*. Наиболее высокие показатели инвазионной активности продемонстрировали *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Prunus pensylvanica*, *Viburnum lantana*, *Physocarpus* sp.

Семена *Acer negundo* получены из лесоохранной станции Липецкой области в 1984 г. Растения, выращенные из этих семян, стали основателями интродукционной популяции. Год начала самовозобновления растений не указан. В России *Acer negundo* известен с конца XVIII в. (Виноградова, 2010). Раньше этот вид был рекомендован для озеленения городов, рабочих поселков, создания защитных лесополос благодаря быстрому росту и неприхотливости к экологическим условиям. В настоящее время вид включен в список инвазионных растений Черной книги средней России. На территории дендрария этот вид массово внедряется в сформированные сообщества. Вегетационный период *Acer negundo* составляет 7 мес. (с середины апреля по начало октября). На 1 м<sup>2</sup> насчитывалось от 8 до 47 экз. *Acer negundo* (табл. 1). В общем, на пробных площадках произрастает 493 растения этого вида, из них большая часть – это ювенильные особи (72%). Доля иматурной, виргинильной и генеративной возрастных групп составила по 16, 4 и 8% соответственно, доля *Acer negundo* от общего числа древесно-кустарниковых видов на пробных площадках – 86.6%. Высота модельных растений варьировала от 6 до 210 см (табл. 2). Плодоношение обильное. Возраст первого плодоношения зависит от на-

Таблица 1

## Анализ подсчета естественного возобновления

Название вида	Среднее число, шт./м <sup>2</sup>	Lim	Процент от общего числа древесно-кустарниковых видов
<i>Acer negundo</i>	24.65±2.33	8-47	86.6
<i>Physocarpus</i> sp.	7.73±2.23	1-41	83.1
<i>Prunus pensylvanica</i>	2.81±0.22	1-5	70.5
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1.72±0.18	1-3	57.4
<i>Viburnum lantana</i>	5.13±1.62	1-35	51.8



Таблица 2

## Параметры модельных деревьев, см

Признак	$\bar{x} \pm S_x$	lim
<i>Acer negundo</i>		
Высота	33.5±8.9	6-210
Диаметр основания	0.87±0.18	0.13-3.9
Диаметр верхушки	0.28±0.07	0.07-0.10
Диаметр 130	1.05±0.27	0.1-2.0
Годовой прирост	4.04±0.78	0.2-14.6
<i>Physocarpus sp.</i>		
Высота	86.11±10.41	6.50-210
Диаметр основания	0.70±0.10	0.10-2.70
Диаметр верхушки	0.09±0.01	0.08-0.13
Диаметр 130	0.50±0.06	0.11-0.98
Годовой прирост	23.39±6.05	0.80-155.1
<i>Prunus pensylvanica</i>		
Высота	251.5±21.69	64-620
Диаметр основания	3.31±0.32	0.63-7.35
Диаметр верхушки	–	–
Диаметр 130	2.26±0.29	0.12-5.3
Годовой прирост	9.79±4.23	0.20-130
<i>Robinia pseudoacacia</i>		
Высота	157.9±18.7	37.5 - 400
Диаметр основания	1.89±0.32	0.35-7.9
Диаметр верхушки	–	–
Диаметр 130	1.09±0.14	0.09-2.7
Годовой прирост	53.93±8.0	4.20-215
<i>Viburnum lantana</i>		
Высота	20.92±4.04	5.6-128
Диаметр основания	0.39±0.06	0.13-1.60
Диаметр верхушки	0.27±0.04	0.10-0.90
Диаметр 130	–	–
Годовой прирост	3.89±0.39	1-22

личия ресурсов – на открытом месте с нормальными почвами он может составлять пять лет, а под пологом леса – 15 лет и более (Medrzycki, 2002). Вид обладает высокой биологической устойчивостью к новым условиям существования.

Необходимо более детальное таксономическое исследование *Physocarpus sp.*, определение данного вида связано с рядом трудностей (предположительно это естественный гибрид). Его вегетационный период составляет 7 мес. (с конца апреля по начало октября). Размножение в основном вегетативное, семенное – незначительное. На 1 м<sup>2</sup> отмечено от 1 до 41 экз. (табл. 1). Общее число растений этого вида на пробных площадках составило 147. Преобладают виргинильные особи (45.6%). Наименьший процент от

общего количества особей составляют ювенильная и имматурная возрастные группы (по 17.2%). Доля генеративной возрастной группы равна 20%, доля *Physocarpus sp.* от общего числа древесно-кустарниковых видов – 83.1%. У взрослых особей плодоношение среднее. Вид относится к группе высокоустойчивых растений.

Интродукционный материал *Prunus pensylvanica* получен из г. Абакан (1983 г.) в виде саженцев, в виде семян – из г. Новосибирск (1983), всходы от которых получены в 1984 г. Растения в 1989 г. были высажены в дендрарий. В настоящее время в пределах первоначальной группы наблюдается самосев различного возраста и единично за ее пределами. Вегетационный период – 7 мес. (с конца апреля по начало октября). На 1 м<sup>2</sup> встречалось от одного до пяти экземпляров (табл. 1). Средняя высота модельных растений составила 86.11 см (табл. 2). На пробных площадках насчитано 62 растения этого вида. Доминирует генеративная возрастная группа (91.6%). Доля ювенильных и имматурных растений составляет по 2.1%, виргинильных – 4.2%. Доля *Prunus pensylvanica* от общего числа древесно-кустарниковых видов на пробных площадках равна 70.5%. Плодоношение этого вида наступает с четырех лет. У большинства растений плодоношение обильное. Вид показал высокую устойчивость к экологическим факторам среды.

Исследуемая популяция *Robinia pseudoacacia* выращена из семян, полученных из Донецка (1985 г.) и Барнаула (1985 г.). Растения в 1988 г. были рассажены на постоянное место в количестве 16 шт., из них только одно из семян барнаульской репродукции. Плодоношение *Robinia pseudoacacia* начинается с четырех-семи лет. Вид в коллекции дендрария СИБНИИРС проходит свой жизненный цикл не полностью (цветение и плодоношение не наблюдаются ни у маточных, ни у взрослых растений), но способен к расширению занимаемой площади за счет успешного вегетативного размножения. Он отнесен к категории высокоустойчивых растений. На 1 м<sup>2</sup> насчитывалось от одного до трех корневых отпрысков (табл. 1), общее число на пробных площадках – 31. Даже при таком относительно невысоком числе экземпляров доля *Robinia pseudoacacia* от общего числа древесно-кустарниковых видов на пробных площадках – 57.4%. Параметры модельных растений варьировали в высоких пределах (табл. 2). Особи имматурной возрастной группы составляют 13.3%, виргинильной – 86.7%.

Интродукционный материал наблюдаемой популяции *Viburnum lantana* получен из г. Барнаул в 1983 г. в виде четырехлетних саженцев. В 1987 г. в количестве 7 шт. растения были высажены в группу «Северная Америка». Вегетационный период со-

ставляет 7 мес. (с конца апреля по конец октября). Обильный самосев встречается как на первоначальной территории произрастания, так и за ее пределами. На 1 м<sup>2</sup> зафиксировано от 1 до 35 экз. (табл. 1). Всего на пробных площадках отмечено 118 растений этого вида. Большинство – ювенильные особи (86% от общего количества). Имматурная возрастная группа составляет 6%, виргинильная и генеративная – по 4%. Доля *Viburnum lantana* от общего числа древесно-кустарниковых видов на пробных площадках – 51.8%. Высота модельных растений в среднем 20.92 см (табл. 2). Плодоношение начинается с восьми лет. У взрослых особей отмечается ежегодное цветение, обильное плодоношение. Вид относится к группе высокоустойчивых растений.

В результате исследований, проведенных на территории дендрария СИБНИИРС, выявлено, что в группе «Северная Америка» естественно возобновляются 11 видов. Наиболее высокие показатели инвазионной активности продемонстрировали *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Prunus pensylvanica*, *Viburnum lantana*, *Physocarpus sp.* Наибольшее число экземпляров в среднем на 1 м<sup>2</sup> отмечено у *Acer negundo*. При соотношении доли исследуемых видов с общим числом древесно-кустарниковых растений на пробных площадках наблюдается явное доминирование первых. Даже при относительно невысоком числе экземпляров на 1 м<sup>2</sup> (от одного до трех корневых отпрысков), доля *Robinia pseudoacacia* от общего числа древесно-кустарниковых видов на пробных площадках – 57.4%. При этом у *Acer negundo*, *Viburnum lantana*, *Prunus pensylvanica* отмечается более интенсивное семенное размножение. В популяциях *Acer negundo*, *Viburnum lantana* высока доля ювенильных и имматурных особей, что говорит об устойчивом обеспечении семенами и их хорошей приживаемости. У *Prunus pensylvanica* преобладает генеративная возрастная группа, способная к активному плодоношению. В популяциях *Robinia pseudoacacia*, *Physocarpus sp.* доминируют виргинильные особи, это обусловлено превалированием вегетативного размножения. Взрослые особи *Physocarpus sp.* ежегодно цветут и плодоносят, периодически дают зрелые семена. У *Robinia pseudoacacia* не наблюдалось закладки генеративных органов, но, образуя многочисленные корневые отпрыски, этот вид формирует колючие труднопроходимые заросли. В составе популяций всех изученных видов нет проростков, вероятно, это связано с экстремальными погодными условиями 2012 г. Отсутствие в их составе сенильных растений свидетельствует о начальной стадии формирования. Популяции всех видов неоднородны по своей размерной структуре. При этом у *Prunus pensylvanica*, *Robinia pseudoacacia* отсутствуют особи меньше 40 см,

средняя высота превышает 150 см. Объясняется это высокими показателями годового прироста. В популяции *Viburnum lantana* отсутствуют растения, достигшие высоты 130 см. При анализе биологической приспособленности растений установлено, что все виды высокоустойчивы к экологическим условиям лесостепи Приобья.

С учетом наблюдений сделанных в дендрарии СИБНИИРС, представляет интерес организация исследований для анализа способности внедрения этих видов в естественные группировки и более детального изучения их инвазионного потенциала.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В.* Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.

ГОСТ 16128-70. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во стандартов, 1971.

*Каннер В.Г.* Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород // Труды по лесному опытному делу. 1930. Вып. 8. С. 103–139.

*Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н., Томашевич М.А.* Современные проблемы интродукции древесных растений в Сибири. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2013. 91 с.

Полевая геоботаника / Под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М.-Л.: Наука, 1964. Т. 3. 531 с. URL: <http://herba.msu.ru/shipunov/school/sch-ru.htm>.

*Работнов Т.А.* Некоторые важнейшие современные задачи изучения растительных сообществ. Основные проблемы современной геоботаники. М.: Наука, 1950. 254 с.

*Трулевич Н.В.* Эколого-фитоценотические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 215 с.

*Mędrzycki P.* Inwazja amerykańskiego klonu *Acer negundo* L. a użytkowanie ziemi w Puszczy Białowiejskiej. [The invasion of an American maple, *Acer negundo*L. and the land use in the Białowieża Forest]. PhD Thesis, Faculty of Biology, Warsaw University, 2002.

*Richardson D.M., Pysek P., Rejmanek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J.* Naturalization and invasion of alien plants: concept and definition // Diversity and distribution. 2000. Vol. 6. P. 93-107.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ГАБИТУСА *SOLANUM DULCAMARA* L. В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ СРЕДЫ

И.А. Журавлева

Вятский государственный гуманитарный университет

E-mail: S-dulcamara@yandex.ru

Среди ботаников понятие «трансформация» [лат. *transformatio*] используется для обозначения превращения из одного в другое, преобразования, *изменения внешнего вида, формы, существенных свойств* кого-либо или чего-либо. Морфологами этот термин употребляется для описания изменений габитуса при смене условий произрастания растений. Эти изменения имеют разную степень выраженности, что зависит от пластичности самого вида и его адаптивности. Изменения условий обитания влекут за собой не только трансформацию габитуса, в результате чего формируются экобиоморфы (терм. по: Лавренко, Свешникова, 1965), но и изменения ритма сезонного развития, онтоморфогенеза, онтогенеза и т.д. Часто на этом фоне возникают новые жизненные формы.

Настоящее сообщение посвящено экобиоморфам *Solanum dulcamara* L. (паслена сладко-горького). По мнению большинства авторов флор и определителей, паслен сладко-горький – лиановидный полукустарник, имеющий в своем строении вьющиеся стебли. С позиций классификации жизненных форм И.Г. Серебрякова (1964), *S. dulcamara* – лиановидный (вьющийся) полукустарник. Это его основная жизненная форма. Е.Л. Нухимовский (2002) характеризует паслен как «полегающе-стеблелазящий полукустарник». Это, на наш взгляд, наиболее полное, отражающее стратегию жизни данного вида определение. Известно, что по способу лазания выделяют четыре группы лиан: опирающиеся, корнелазящие, вьющиеся, усиконосные (Серебряков, 1962). У паслена отсутствуют специализированные органы для нахождения и закрепления тела на опоре. Для этого он использует стебли, верхушки которых выполняют нутационные движения для поиска опоры, затем обвивают ее против часовой стрелки (Головач, 1973). В результате побеги паслена скручиваются вокруг своей оси, что обеспечивает листовую мозаику. В отсутствии опоры побеги паслена остаются ортотропными до образования первого побега замещения и начала формирования симподия. Далее они полегают под собственной тяжестью, нередко укореняются и включаются в состав многолетней побеговой оси растения. Иногда встречаются особи, побеги которых опираются на предметы, обвить которые невозможно. Они характеризуются как опирающиеся лианы. Поэтому *S. dulcamara* в зависимости от условий и положения побе-

гов в пространстве встречается в природе в виде двух типов лиан: вьющейся и опирающейся и стелющегося растения.

Все биоморфы *S. dulcamara* имеют подземную и надземную части. Подземная часть представлена корневой и побеговой системами, а надземная – только побеговой. Корневая система сложена неветвящимися узловыми и внеузловыми стеблеродными придаточными корнями, формирующимися в год развития побегов.

Побеговая система включает: эпигеогенное одревесневшее корневище из резидов, надземные части побегов, пассивно погружающиеся в почву при засыпании их грунтом, и симподиальные оси из серии монокарпических побегов. Каждый из таких побегов заканчивается соцветием – псевдолатеральным эбрактеозным сложным неравнобоким дихазием. В среднем в составе симподиальной оси, формирующейся в течение одного вегетационного периода, насчитывается до пяти монокарпических побегов, которые по происхождению объединяют в два типа:

– побеги, развивающиеся из почек регулярного возобновления на прошлогодних резидов (исходные побеги, побеги  $n$ -го порядка ветвления);

– побеги, развивающиеся при акросимподиальном нарастании из почек обогащения на приростах текущего года (побеги последующих порядков ветвления).

Разнообразие побегов первого типа насчитывает 10 вариантов, выделенных по степени ветвления, наличия или отсутствия стеблеродных придаточных корней и положения в пространстве. Такие побеги состоят из 9-15 метамеров с длинными междоузлиями, узлами с листьями различного типа (катафиллы, паракатафиллы и листья срединной формации) и пазушными почками. Величина листьев от основания побегов к верхушке уменьшается, что является приспособительной способностью к обвиванию опоры. Это характерно и для побегов второго типа. Одновременно с зацветанием у побегов  $n$ -го порядка ветвления трогаются в рост одна или чаще две верхние пазушные почки, дающие начало побегам замещения. Нередко в пазухах кроющих листьев этих побегов развиваются дополнительные почки, за счет которых формируются сериальные комплексы не только из побега и почки, но и из двух побегов замещения.

Побеги второго типа также разнообразны: выделяем 11 вариантов по степени ветвления, наличию или отсутствию генеративных органов и придаточных корней, положению в пространстве. В составе таких побегов насчитывается до пяти-семи метамеров с длинными междоузлиями, узлами с листьями срединной формации и пазушными почками. У них формируются такие же сери-

альные комплексы. В конце вегетационного периода у побегов последнего порядка ветвления трогаются в рост все пазушные почки, тем самым увеличивается ассимилирующая поверхность особи. Образующиеся побеги не цветут и вскоре отмирают. Это свидетельствует об аperiodичности паслена, по-видимому, его развитие ограничивается лишь условиями умеренного климата.

В течение нескольких лет облик лианы меняется: в нижней части четко виден голый одревесневший, обвивающий опору стебель толщиной от 2 до 4 см. На высоте около 2-3 м располагаются побеги текущего года, обвивающие опору, либо находящиеся в стадии ее «поиска».

В условиях подвижного субстрата у паслена развиваются корневые отпрыски, что обеспечивает подвижность вида и его омоложение часто до имматурного онтогенетического состояния.

Переходя в условия переменного увлажнения, в структуре побеговой системы паслена также происходят некоторые изменения. Экологические предпочтения паслена по шкале увлажнения почв Д.Н. Цыганова (1983) имеют наибольшую амплитуду: от сухо-лесолуговых (11 баллов) до прибрежно-водных (21 балл) почв. В связи с тем, что растение предпочитает произрастать часто во влажных местах, авторы флор и определителей нередко относят его к мезофитам. Согласно представлениям В.Г. Папченкова (1985), паслен, произрастающий в условиях повышенного увлажнения, характеризуем как гигрогелофит – растение низкого уровня береговой зоны затопления, прибрежных отмелей с глубиной воды до 20 (40) см и окраин сплавин. Это прибрежно-водное растение или растение уреза воды. Побеги паслена, укореняясь на берегу, наплывают на открытую воду. В таком случае они не зацветают, развитие соцветия тормозится на стадии бутонизации. Нередко в этих условиях формируются дициклические монокарпические побеги. Судьба таких особей различна: либо они возвращаются в условия прибрежий, если новые симподиальные оси, развиваясь, направляются к берегу, либо произрастают подобно малолетникам вегетативного происхождения, когда их резиды существуют два-три года.

Как и на суше, в условиях прибрежий паслен встречается в виде лианы или стелющегося полукустарника. Резиды той и другой экобиоморф всегда располагаются в воде, поэтому здесь происходит развитие двух типов корней: корни  $n$ -го порядка ветвления, развивающиеся на побеге в год его формирования и весной следующего года – стеблеродные придаточные корни; корни  $n + 1$  и больших порядков ветвления развиваются на следующий год эндогенно.

Стеблеродные придаточные корни достигают длины 30 см и более, в толще воды имеют зеленую окраску и выполняют функцию



фотосинтеза, благодаря хлорофиллу в клетках паренхимы вторичной коры. В целом, главный корень у  $g_2$  особей имеет вторичное анатомическое строение, типичное для двудольных растений. За счет своей длины и ветвления при переходе в грунт, а также развития клеток склеренхимы, корни обеспечивают закрепление тела растения вблизи берегов водоема. Корни второго типа не имеют хлорофилла, обильно ветвятся и формируются весной следующего года на стеблеродных корнях. Основная их функция – питающая.

Побеговая система подобна таковой у наземной формы. Однако побеги, развивающиеся в условиях прибрежий, более массивные, они включают 20 и более метамеров. Всего по положению в пространстве, наличию и типу корней описано пять вариантов побегов первого типа. Развиваясь в воде, первые метамеры побегов удлиняются, а листья недоразвиваются. Выходящие на сушу побеги нередко укореняются, зимой почти полностью сохраняются с почками регулярного возобновления под слоем отмершей травы и снежного покрова. При нахождении опоры вьются. В отличие от наземной экобиоморфы, у исходных побегов трогаются в рост чаще одна верхняя пазушная почка, дающая начало одной симподиальной оси.

Побегов второго типа в зависимости от наличия или отсутствия корней, положения тела в пространстве, цикличности обнаружено шесть вариантов. Эти побеги также развиваются как на суше, так и в воде, лежат за исключением верхушки или вьются по опоре. Большая часть таких побегов сохраняется во время неблагоприятного периода, за исключением не цветущего побега последнего порядка ветвления.

Таким образом, благодаря своей пластичности *S. dulcamara* произрастает как на суше, в том числе на подвижном субстрате, так и в условиях прибрежий, входит в состав растительности уреза воды и участвует в формировании сплавин. При переходе от наземного образа жизни к прибрежно-водному у паслена меняется жизненная стратегия: семенное размножение сменяется вегетативным, формируется новая экобиоморфа – малолетник вегетативного происхождения. В условиях подвижного субстрата растение существует в виде корнеотпрысковой экобиоморфы. Так или иначе в любых условиях *S. dulcamara* стремится к лиановидной форме, и у него есть для этого ряд характерных признаков: быстрый и продолжительный рост, сильное уменьшение размеров листьев по направлению к верхушке побегов, нутационные движения побегов для поиска опоры, перекручивание побегов вокруг своей оси для формирования листовой мозаики, удлинение междоузлий, смена биоморфы на стелющуюся. Для многих вьющихся



лиан характерным признаком является боковое соцветие, что не препятствует моноподиальному нарастанию побегов. На первый взгляд побеговая ось паслена представляется моноподиально нарастающей, а соцветия боковыми, что нередко так и трактуется в литературе. Однако побеги паслена формируют симподий, его соцветия располагаются псевдолатерально, развиваясь одновременно с побегами последующих порядков ветвления терминально, затем принимая боковое положение. Вероятно, это одна из адаптаций к вьющемуся образу жизни.

Исследование проводилось в рамках гранта РФФИ (№ проекта 13-04-01057).

#### ЛИТЕРАТУРА

Головач А.Г. Лианы, их биология и использование. Л.: Наука, 1973. 259 с.

Лаверенко Е.М., Свешникова В.М. О синтетическом изучении жизненных форм на примере степных дерновинных злаков // Журн. общ. биол. 1965. Т. 23. № 3 С. 12-37.

Нухимовский Е.Л. Основы биоморфологии семенных растений. Т. 2. Габитус и формы роста в организации биоморф. М.: Оверлей, 2002. С. 460.

Папченков В.Г. О классификации макрофитов водоемов // Экология. 1985. № 6. С. 8-13.

Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. М.-Л., 1964. Т. 3. С. 146-208.

Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М., 1962. 378 с.

Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. 196 с.

### СПЕЦИФИКА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ – МЕСТ ОБИТАНИЯ ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA* – И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕГО ФОРОФИТОВ В ЗАПОВЕДНИКЕ «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС»

**Н.В. Иванова**

Институт математических проблем биологии РАН,  
Пушкинский государственный естественно-научный институт  
E-mail: [Natalya.dryomys@gmail.com](mailto:Natalya.dryomys@gmail.com)

Цель данной работы – изучение факторов, лимитирующих распространение редкого лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в лесах заповедника «Кологривский лес» (Костромская область,

подзона южной тайги). Были исследованы старовозрастные хвойно-широколиственные леса ядра заповедника и средневозрастные хвойно-мелколиственные сообщества в бассейне р. Сеха. Описание сообществ выполнялись на пробных квадратных площадях 400 м<sup>2</sup>. Площадки закладывались попарно: первая – в месте скопления деревьев-носителей лобарии легочной, а вторая – рядом, в аналогичном типе леса, но с отсутствием *L. pulmonaria*. На каждой площадке определялись таксационные характеристики древостоя (полнота, высота, состав, возраст), измерялся диаметр ствола на высоте 130 см у всех древесных видов из ярусов А и В. Также выполняли демографическое описание популяций древесных видов с указанием для каждой особи вида его онтогенетического состояния (Диагнозы и ключи..., 1989). Внутри каждой площади выделялась квадратная площадка в 100 м<sup>2</sup>, на которой выполнялось стандартное геоботаническое описание.

Всего заложено 38 пробных площадей (19 пар). В ядре заповедника описано по восемь площадей в липняках и ельниках крупнопоротниковых; в бассейне р. Сеха шесть пробных площадей было заложено в ельниках высокотравных, восемь – в ельниках бореально-мелкотравных, по четыре пробных площади – в осинниках высокотравных и кустарничково-бореально-мелкотравных.

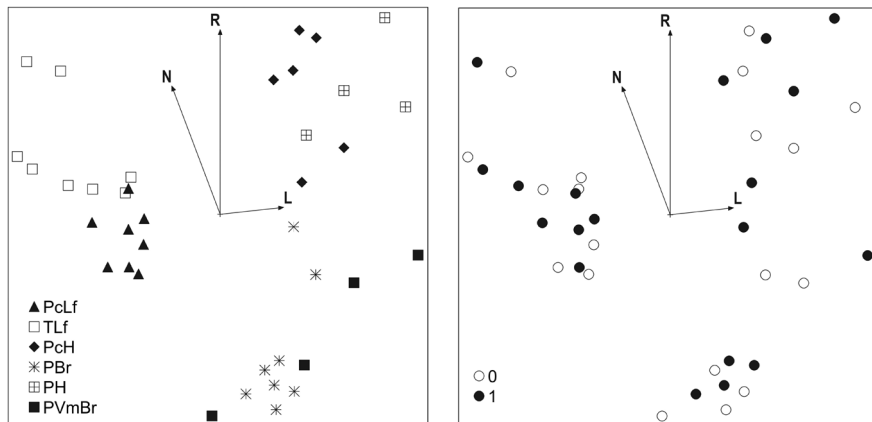
Типизацию геоботанических описаний пробных площадей проводили при помощи эколого-ценотического подхода по методике, предложенной Л.Г. Ханиной с соавторами (2002). Экологическую характеристику сообществ давали по таблицам Элленберга в программе Ecoscale (Грохлина, Ханина, 2006); для каждой площадки рассчитывали баллы по экологическим шкалам, средневзвешенные на обилие видов. Затем проводили непрямую ординацию методом неметрического многомерного шкалирования в программе PC-ORD. Использовали меру расстояния Брея-Кертиса.

Для определения факторов, лимитирующих распространение лобарии легочной, площадки разбивали на две группы по признаку присутствия или отсутствия изучаемого вида. Затем проводили попарное сравнение параметров, измеренных на пробных площадях, у этих двух групп с помощью пермутационного t-критерия Стьюдента для парных сравнений. Расчеты вели в пакете R 2.15.2. В анализ были включены следующие переменные: число деревьев разных видов в различных онтогенетических состояниях, число старых и сухостойных деревьев на площадке, общее число деревьев в древостое, абсолютная полнота древостоя, возраст древостоя, высота древостоя, средний, минимальный и максимальный диаметр деревьев на площадке, проективное покрытие ярусов,

баллы, рассчитанные по экологическим шкалам, доли участия видов различных ЭЦГ в напочвенном покрове. Анализ диаметров деревьев в местах обитания лобарии легочной проводили в пакете R с использованием пермутационного t-критерия Стьюдента для независимых выборок.

Предпочтение лобарией форофитов определенных онтогенетических состояний определяли, используя индекс избирательности Ивлева-Джекобса (Jacobs, 1974). Расчеты проводили по данным демографических описаний популяций деревьев на площадках с присутствием *L. pulmonaria* отдельно для каждого вида форофитов.

При проведении ординации массива описаний оптимальная размерность, согласно оценке алгоритма неметрического многомерного шкалирования, составила две оси. На рисунке представлено положение исследованных пробных площадей в пространстве осей NMS. Среди факторов, рассчитанных на основе экологических шкал Элленберга, наибольшую корреляцию с осями ординации имели освещенность, богатство почвы минеральным азотом и кислотность почвы. В верхней части ординационной диаграммы расположены площадки, заложенные в ельниках и липняках



Результаты ординации геоботанических описаний методом неметрического многомерного шкалирования.

На диаграммах построены векторы экологических факторов, рассчитанные по шкалам Элленберга: N – богатство почвы минеральным азотом, R – кислотность почвы, L – освещенность. На диаграмме слева приведены типы леса: PcLf – ельники крупнопороотниковые, TLf – липняки крупнопороотниковые, PcH – ельники высокотравные, PBr – ельники бореально-мелкотравные, PH – осинники высокотравные, PVmBr – осинники чернично-бореально-мелкотравные. На диаграмме справа отмечены площадки с присутствием (1) и отсутствием (0) *L. pulmonaria*.

крупнопоротниковых. Для этих сообществ характерны относительно низкая освещенность и достаточно богатые минеральным азотом почвы с низкой кислотностью. Осиновые и еловые высокоотравные леса, в отличие от описаний предыдущей группы, находятся в области более высокой освещенности. Площадки, заложенные в еловых бореально-мелкотравных и осиновых кустарничково-бореально-мелкотравных сообществах, располагаются в нижней части диаграммы. Для этих лесов характерны бедные минеральным азотом почвы с высокой кислотностью и средний уровень освещенности. Сравнительный анализ группы площадок с *L. pulmonaria* и площадок без участия этого вида не выявил статистически значимых различий в данных факторах.

Ординационная диаграмма справа показывает, что площадки с участием *L. pulmonaria* расположены равномерно по всей диаграмме и не образуют отдельной группы.

Несмотря на приуроченность лобарии легочной к сообществам, различным по своим экологическим и ценотическим свойствам, проведение попарных сравнений параметров, измеренных на пробных площадях, тем не менее, позволило выявить переменные, которые значимо отличались в сообществах с участием *L. pulmonaria* и без нее.

Сравнительный анализ эколого-ценотической структуры исследованных сообществ показал, что доля видов высокоотравной ЭЦГ на площадках с участием *L. pulmonaria* значимо выше, чем на площадках, где лобария легочная отсутствовала. Также было выяснено, что проективное покрытие древесного яруса значимо отличалось между двумя группами площадок. На площадках с лобарией легочной среднее проективное покрытие яруса А составило 54% (стандартное отклонение – 13.8), а в группе площадок, где *L. pulmonaria* отсутствовала, – 61% (стандартное отклонение 12.9). Результаты обработки данных демографических описаний популяций деревьев показали, что общее число генеративных, синильных и сухостойных деревьев *Betula* sp. значимо выше в группе площадок без участия лобарии легочной. В группе сообществ с участием *L. pulmonaria* в среднем на площадке отмечено 2.8 таких деревьев, в то время как на площадках с отсутствием лобарии легочной в среднем было 4.9 деревьев.

Анализ таксационных характеристик показал, что в группе площадок с участием *L. pulmonaria* абсолютная полнота древостоя была значимо ниже, чем на площадках без лобарии легочной ( $p < 0.05$ ). Средняя полнота на площадках без лобарии легочной составляла 25.8 м<sup>3</sup>/га (стандартное отклонение – 7.1), на площадках с *L. pulmonaria* – 24.4 м<sup>3</sup>/га (стандартное отклонение – 7.0).

Результаты попарных сравнений остальных анализируемых параметров пробных площадей не показали статистически значимых различий между группами площадок с присутствием и отсутствием лобарии легочной.

Дополнительно изучали особенности форофитов *L. pulmonaria*, при этом анализировали данные, собранные только на 19 пробных площадях с ее участием. На пробных площадях лобария легочная встречалась на деревьях трех видов: *Populus tremula* L., *Sorbus aucuparia* L. и *Tilia cordata* Mill. Сравнение диаметров форофитов *L. pulmonaria* с диаметрами деревьев тех же видов, не заселенных лобарией легочной, не выявило значимых различий. У *P. tremula* средний диаметр деревьев с талломами лобарии легочной ниже, чем у деревьев без *L. pulmonaria*, а деревья *S. aucuparia* и *T. cordata* с талломами лобарии легочной имели больший диаметр по сравнению с незаселенными лобарией деревьями.

Индекс избирательности Ивлева-Джекобса для форофитов разных онтогенетических состояний показал различную степень предпочтения этих деревьев лобарией легочной. Деревья *T. cordata*, наиболее предпочтительные для колонизации, находились в старом генеративном состоянии, а форофитов виргинильного и молодого генеративного состояний *L. pulmonaria* избегала. Для *S. aucuparia* отмечено предпочтение сенильных деревьев и мертвой древесины, а также избегание форофитов молодого и зрелого генеративного состояний. Для *P. tremula* предпочтений для колонизации деревьев определенного онтогенетического состояния не выявлено.

Полученные нами результаты обработки материалов, собранных в заповеднике «Кологривский лес», демонстрируют приуроченность *L. pulmonaria* к наименее нарушенным предшествующими воздействиями лесным участкам. Для таких сообществ среди прочего характерно преобладание в древесном ярусе поздне-сукцессионных видов, а в напочвенном покрове – большое участие видов высокотравной ЭЦГ. Особенности возрастной и пространственной структуры популяций деревьев в малонарушенных ле-

Таблица 1

**Диаметры форофитов *L. pulmonaria* и деревьев, не заселенных лобарией легочной, на пробных площадях с ее участием**

Вид дерева	Форофиты <i>L. pulmonaria</i>			Деревья без <i>L. pulmonaria</i>		
	Средний диаметр, см	Стандартное отклонение	Число деревьев	Средний диаметр, см	Стандартное отклонение	Число деревьев
<i>P. tremula</i>	31.2	8.9	32	32.2	10.9	45
<i>S. aucuparia</i>	13.9	5.2	20	12.6	3.2	58
<i>T. cordata</i>	34.9	14.7	11	27.5	11.8	67

Таблица 2

**Индексы избирательности Ивлева-Джекобса  
для форофитов разных онтогенетических состояний**

Возрастные состояния форофитов	<i>Tilia cordata</i>	<i>Populus tremula</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
Виргинильное	-0.2	0.0	-
Молодое генеративное	-0.6	-0.1	-0.4
Зрелое генеративное	0.2	0.1	-0.6
Старое генеративное	0.8	0.1	0.1
Сенильное	-	-	0.4
Мертвая древесина (остолопы, сухостой и валеж)	-	-0.1	0.2

*Примечание:* прочерк – деревья-носители лобарии легочной в данном онтогенетическом состоянии не обнаружены.

сах обеспечивают более высокий, по сравнению с другими лесами, уровень освещенности (Смирнова и др., 2006). Такие условия благоприятны для существования лобарии легочной, так как, согласно литературным данным, она является светолюбивым видом (Пыстина, 2003). Что касается биологических особенностей деревьев-носителей *L. pulmonaria*, наши данные показали отсутствие предпочтения для колонизации наиболее старых деревьев.

#### ЛИТЕРАТУРА

Грохлина Т.И., Ханина Л.Г. ECOSCALE – программа обработки геоботанических описаний по экологическим шкалам // Математика, компьютер, образование: Тез. докл. XIII Междунар. конф. Дубна, 2006.

Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники. М.: Прометей, 1989. 109 с.

Пыстина Т.Н. Лишайники таежных лесов европейского Северо-Востока (подзоны южной и средней тайги). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 238 с.

Смирнова О.В., Бобровский М.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Биоразнообразие и сукцессионный статус старовозрастных темнохвойных лесов европейской России // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126. № 1. С. 27-49.

Ханина Л.Г., Смирнов В.Э., Бобровский М.В. Новый метод анализа лесной растительности с использованием многомерной статистики (на примере заповедника «Калужские засеки») // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2002. Т. 107. № 1. С. 40-48.

Jacobs J. Quantitative measurement of food selection // Oecologia (Berl). 1974. Vol. 14. P. 413-417.

## ПРОДУКТИВНОСТЬ СЪЕДОБНЫХ МАКРОМИЦЕТОВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕКОТОРЫХ ООПТ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Д.В. Кириллов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kirilov@ib.komisc.ru

Республика Коми входит в число важных грибоносных районов России, на ее территории отмечено 174 вида съедобных грибов (Паламарчук, 2010). При этом основные аспекты формирования урожайности и ресурсы съедобных грибов на территории региона остаются неизученными, что не позволяет в полной мере дать их оценку и осуществлять рациональное использование. Для ликвидации пробела в этом направлении нами был начат комплекс работ, результаты которых представлены в данном сообщении.

Исследования проводили в период 2011-2013 гг. на территории Сыктывдинского и Усть-Вымского районов Республики Коми, расположенных в среднетаежной подзоне.

Основная цель – оценка биологической продуктивности съедобных макромицетов в характерных для рассматриваемой территории местообитаниях. Ключевыми участками послужили три особо охраняемые природные территории, организованные для сохранения типичных для среднетаежной подзоны экосистем естественных лесов, – комплексные заказники «Белый», «Важжьелью» и лесной заказник «Юильский».

Продуктивность грибов определяли по общепринятым методикам (Васильков, 1968; Черкасов, Веремьева, 1986; Скрябина, 2000). Учеты проводили ежегодно в течение летне-осеннего сезона плодотворения с использованием сети стационарных площадок с регулярными наблюдениями, а также на разовых трансектах. В качестве объектов исследования были выбраны 15 наиболее массовых и популярных среди населения съедобных грибов – это представители отдела *Basidiomycota*: белый гриб (*Boletus edulis*), подберезовик (*Leccinum scabrum*), подосиновик (*L. aurantiacum*, *L. versipelle*), масленок (*Suillus granulatus*, *S. luteus*), моховик желто-бурый (*S. variegatus*), лисичка желтая (*Cantharellus cibarius*), груздь настоящий (*Lactarius resimus*), волнушка розовая (*L. torminosus*), рыжик (*L. deliciosus*, *L. deterrimus*), сыроежка (виды рода *Russula*), зеленушка (*Tricholoma flavovirens*), опенок осенний (*Armillaria mellea*).

Остановимся подробнее на характеристике продуктивности съедобных макромицетов в каждом из обследованных заказников.

**Комплексный заказник «Белый».** Организован для сохранения и восстановления экосистем боров-беломошников. Основными типами местообитаний здесь являются старовозрастные сосняки лишайниковые и их варианты. Видовой спектр съедобных грибов достаточно узкий, что связано с однообразием местообитаний. Доминируют пять видов съедобных грибов (белый, моховик желто-бурый, масленок, лисичка, зеленушка). Продуктивность видов также невысокая (табл. 1), в среднем она составляет 5-7 кг/га. Наибольшая урожайность отмечена на участке сгоревшего сосняка, в котором девять лет назад был низовой пожар, уничтоживший весь лишайниковый покров. Основной вклад (около 75%) здесь вносит зеленушка, которая предпочитает участки с открытой песчаной почвой.

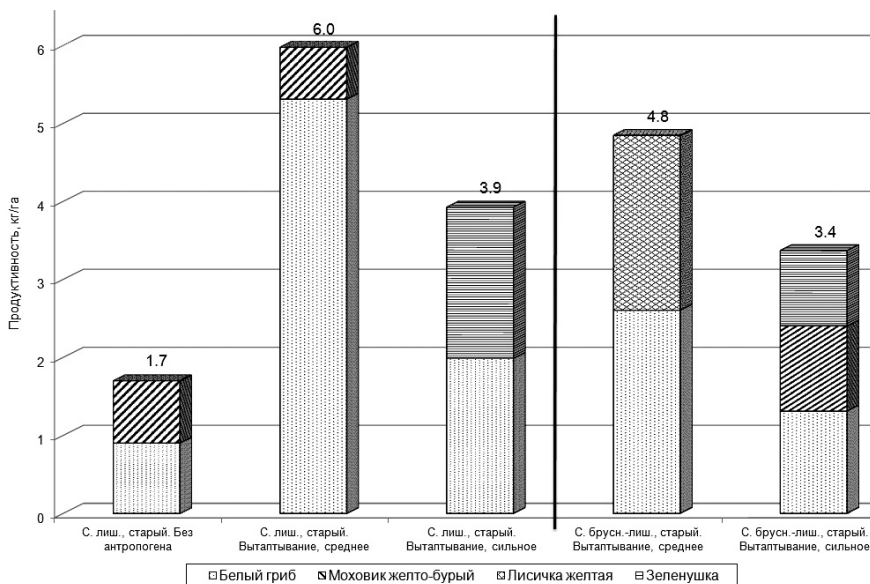
Заказник «Белый» – популярное среди грибников место. В период массового плодоношения часть его территории подвергается интенсивному прессу со стороны сборщиков. Нами изучен характер изменения продуктивности грибов в связи с разной силой рекреационной нагрузки (оценивалась степень вытаптывания). Рассмотрены участки без нагрузки, со средней (нарушено до 15% площади) и сильной (более 15%) рекреацией. Выяснено, что на участках со средней нагрузкой урожайность грибов в три раза выше, чем в ненарушенных местах (см. рисунок). Однако при дальнейшем увеличении антропогенной нагрузки происходит сниже-

Таблица 1

**Среднемноголетняя сезонная продуктивность съедобных грибов в основных местообитаниях заказника «Белый», кг/га**

Местообитание	Белый гриб	Моховик желто-бурый	Масленок	Лисичка	Зеленушка	Общая
Сосняк лишайниковый, старый	0.9	0.8				1.7
Сосняк лишайниковый, старый. Вытаптывание	3.1	0.2			1.3	4.6
Сосняк лишайниковый. Гарь свежая (9 лет, низовой пожар)	2.6	0.7	4.6		23.3	31.2
Сосняк лишайниковый. Гарь старая (15 лет, низовой пожар)	3.9	3.0				6.9
Сосняк бруснично-лишайниковый, старый. Вытаптывание	2.2	0.4		1.5	0.3	4.4
Сосняк вересково-лишайниковый, старый			3.9			3.9





Продуктивность съедобных грибов в местообитаниях заказника «Белый» с различной антропогенной нагрузкой.

ние урожайности грибов. Наблюдаемый факт – проявление закона «фруктификации в результате страдания» (Васильева, 1973), согласно которому при возникновении негативного воздействия (уплотнение почвы при вытаптывании) ответной реакцией грибного мицелия служит увеличение интенсивности плодообразования (продуктивности). Дальнейший рост силы действия фактора и превышение пределов выносливости вида приводит к резкому снижению плодородия и отмиранию угнетенного мицелия, что мы видим в случае с сильным вытаптыванием. В некоторых случаях, при сильных нагрузках на места обитания, наблюдается смена видового состава грибов и подмена более чувствительных видов другими – в сосняках лишайниковых моховик желто-бурый сменяется зеленушкой (см. рисунок).

**Комплексный заказник «Важъелью».** Организован для сохранения и восстановления природного комплекса естественных лесных фитоценозов вдоль р. Важъелью. Основные типы местообитаний на территории этой ООПТ – старовозрастные еловые, березовые и осиновые леса зеленомошной группы. Комплекс доминирующих съедобных грибов включает 10 видов.

Среднегодовалая продуктивность макромицетов, зафиксированная в основных местообитаниях заказника, варьирует от 17 до 54 кг/га (табл. 2). В ельниках она достигает 34 кг/га, в березняках – 22 и в осинниках – 54 кг/га.

Таблица 2

**Среднегодовалая сезонная продуктивность съедобных грибов  
в основных местообитаниях заказника «Важъелью», кг/га**

Местообитание	Белый гриб	Подосиновик	Подберезовик	Моховик желто-бурый	Масленок	Лисичка	Волнушка	Сыроежка	Рыжик	Опенок	Общая
Ельник чернично-зеленомошный, старый	0.5	4.6		0.3		3.8	7.9				17.1
Ельник чернично-зеленомошный, старый. Просека старая		32.2					1.0	0.8			33.9
Березняк чернично-зеленомошный		5.4	1.6	0.9	0.4		9.9				18.1
Березняк чернично-разнотравно-зеленомошный, старый		3.2					1.2			17.8	22.2
Осинник чернично-зеленомошный, старый		13.4		0.2			3.8				17.4
Осинник чернично-зеленомошный, молодняк		20.4	3.9	3.1	11.8		0.2	0.3	0.6		40.3
Осинник мертвопокровный, молодняк			1.6	2.7	0.8		48.7				53.7

Доминирующие на территории ООПТ хвойные и лиственные старовозрастные климаксовые лесные сообщества отличаются близкими значениями продуктивности, которая оценивается в 17-22 кг/га. Более высокая урожайность отмечена на участках, подверженных антропогенной или природной трансформации. Так, на участках ельников чернично-зеленомошных со старыми следами линейных нарушений в виде проходных вырубков, урожайность достигает 34 кг/га. В двух типах осиновых молодняков, замещающих вырубленные коренные хвойные леса, урожайность составила 40-54 кг/га.

**Лесной заказник «Юильский».** Организован для сохранения и восстановления массива естественных лесных фитоценозов в бассейне р. Юил. Местообитания на территории этой ООПТ также отличаются достаточно разнообразным составом растительности. Здесь доминируют старовозрастные березовые, еловые и сосновые леса зеленомошной и долгомошной групп. Список съедобных грибов включает семь видов. Широкое распространение чернично-зе-

леномошных березняков, являющихся основным местообитанием груздя настоящего, объясняет обилие этого ценного вида на территории заказника «Юильский».

Средняя продуктивность съедобных грибов, зафиксированная на территории ООПТ, составляет 20 кг/га. В сосняках она достигает 18 кг/га, в ельниках варьирует от 8 до 53 кг/га и в березняках – от 14 до 35 кг/га (табл. 3).

Высокая урожайность опенка осеннего в ельниках (до 40 кг/га) свидетельствует о большой примеси в составе древостоя лиственных пород, и прежде всего березы, которая служит основным субстратом для этого вида в пределах рассматриваемой природной подзоны. Наличие в хвойном лесу большого количества перестойных и отмирающих деревьев березы может говорить о том, что такие массивы находятся на заключительной стадии естественного процесса лесовосстановления, в которой идет замещение вторичных лиственных пород на коренные хвойные.

Таким образом, обследование территории трех заказников, выбранных в качестве ключевых участков, позволило получить данные по продуктивности 11 видов съедобных грибов в 25 характерных для среднетаежной подзоны Республики Коми естественных и антропогенно-трансформированных местообитаниях. Вели-

Таблица 3

**Среднемноголетняя сезонная продуктивность съедобных грибов в основных местообитаниях заказника «Юильский», кг/га**

Местообитание	Белый гриб	Подосиновик	Моховик желто-бурый	Волнушка	Груздь	Сыроежка	Опенок	Общая
Сосняк чернично-долгомошный, старый			18.4					18.4
Ельник бруснично-зеленомошный, старый		3.6		4.5				8.0
Ельник чернично-зеленомошный, старый	2.6			10.6			40.2	53.4
Березняк бруснично-разнотравно-зеленомошный, старый				2.7	1.7	1.3	8.2	13.9
Березняк чернично-разнотравно-зеленомошный, старый				9.6	8.5			18.1
Березняк чернично-зеленомошный, старый			0.7	10.6	15.2			26.6
Березняк чернично-зеленомошный, старый. Разреженный				12.3	3.8			16.1
Березняк чернично-зеленомошный, старый. Выборочная рубка				7.4	27.1			34.5

чина продуктивности в зависимости от типа местообитания варьирует от 2 до 54 кг/га. Среднее значение продуктивности для среднетаежной подзоны по всем исследованным местообитаниям составляет 20 кг/га.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Васильева Л.Н.* Агариковые шляпочные грибы (порядок Agaricales) Приморского края. Л.: Наука, 1973. 331 с.

*Васильков Б.П.* Методы учета съедобных грибов в лесах СССР. Л.: Наука, 1968. 68 с.

*Паламарчук М.А.* Съедобные агарикоидные базидиомицеты Республики Коми // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XVII молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2010. С. 55-58.

*Скрябина А.А.* Методы ресурсной характеристики съедобных грибов // Проблемы региональной экологии: Матер. конф. Новосибирск: СО РАН, 2000. Вып. 8. С. 111-113.

*Черкасов А.Ф., Веремьева С.С.* Метод расчета запасов съедобных грибов по материалам лесоустройства // Вопросы лесного охотоведения и почвенных пользований. Пушкино: ВНИИЛМ, 1986. С. 90-96.

### САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ: МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

**М.Н. Ковалев**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

В бореальных лесах Евразии к числу наиболее важных факторов, лимитирующих и контролирующих устойчивость экосистем, относятся пожары, перманентно воздействующие на сообщества и среду их обитания (Фурьев, 2008). Республика Коми – один из лесных регионов европейского севера России, в котором ежегодно лесные пожары возникают на обширных территориях. По данным Центра защиты леса Республики Коми, с 2007 по 2014 г. в средней подзоне тайги площадь насаждений лесного фонда республики, поврежденных пожарами, составляет 11 451 га, из них 7532 га (около 66%) занимают насаждения с преобладанием в составе сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*. Это свидетельствует о важности исследований в сосновых насаждениях, пройденных пожарами. В работе приведен анализ статистических данных о лесных пожарах в Республике Коми за указанный период в средней подзоне тайги. Кроме этого, на четырех пробных площадях, заложенных в Сыктывдинском и Корткеросском районах, выполнены

детальные таксационные исследования и оценка санитарного состояния насаждений.

Подбор объектов осуществлялся с учетом рекомендаций Центра защиты леса Республики Коми. При натурном обследовании гарей закладывалась прямоугольная пробная площадь размером 0.25 га. Все сухие и живые деревья на пробных площадях нумеровали. У каждого дерева измеряли с точностью до 1 см диаметр ствола на высоте 1.3 м при помощи мерной вилки. У деревьев с крайними и средними значениями диаметров измеряли высоту. Для каждого дерева устанавливали категорию санитарного состояния: 1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – свежий сухостой, 6 – старый сухостой (Руководство..., 2007). Ветровалые и буреломные деревья учитывали отдельно. Для каждого дерева выполняли описание признаков ослабления и повреждения, такие как усыхание ветвей различной степени, ожоги (корневых лап, корневой шейки, ствола, кроны), наличие плодовых тел грибов, заселенность вредителями, сухобочины и подсушины, морозобойные трещины и др.

Для средней подзоны тайги Республики Коми среди лесных участков, повреждаемых пожарами, характерно преобладание сосновых насаждений. Анализ статистических данных показал, что с повышением доли сосны в составе увеличивается площадь насаждений, пройденных огнем (рис. 1). Распределение площадей, поврежденных пожарами сосновых насаждений, по их возрасту показано на рис. 2. Согласно диаграмме, основные площади, пройденные пожарами, представлены молодняками и средневозрастными насаждениями. Пробные площади представлены насаждениями среднего возраста с участием в составе сосны 7-10 единиц. С целью оценки изменения категории состояния деревьев сосны, в зависимости от вида повреждения, деревья с опытных участков были объединены в пять групп повреждений с ожогом:

- корней (корневых лап);
- корневой шейки;
- ствола до 0.5 м;
- от 0.5 до 1.5 м;
- более 1.5 м.

Разделение ожога ствола на три группы связано с характеристикой интенсивности лесных пожаров, определяемой по высоте нагара (до 0.5 м – низкая интенсивность, 0.5-1.5 м – средняя, более 1.5 м – высокая) (Мартынов, 2008). Высота нагара на стволах, степень повреждения корней, выходящих на поверхность, и степень повреждения кроны при пожарах являются важным показателем нарушений в состоянии древостоя: нарушается жизнеспособность

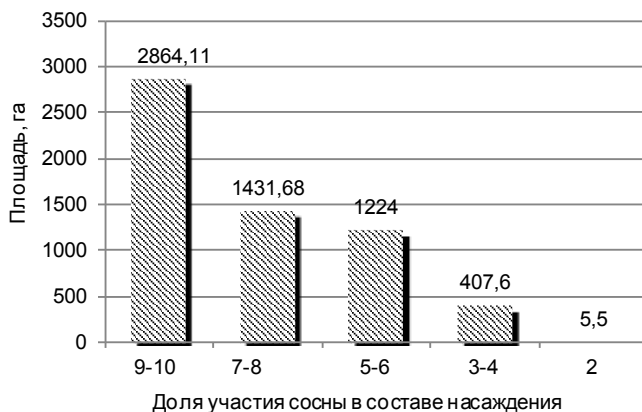


Рис. 1. Распределение площадей сосновых насаждений, поврежденных пожарами, средней подзоны тайги Республики Коми в зависимости от доли участия сосны в составе насаждения.

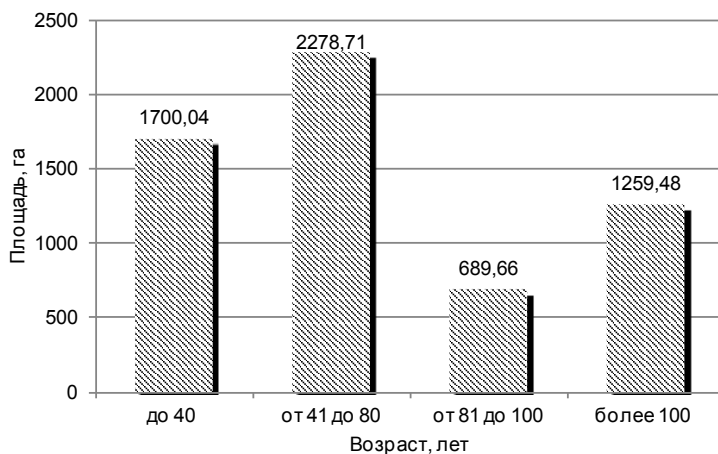


Рис. 2. Распределение площадей сосновых насаждений, поврежденных пожарами, средней подзоны тайги Республики Коми в зависимости от возраста, лет.

способность деревьев, увеличивается скорость усыхания и последующее отмирание (отпад), изменяется прирост (Сахневич, 2010). Деревья внутри каждой группы повреждения дифференцировались по крупности на мелкие (6-13 см), средние (14-25 см), крупные (26 см и более). Всего в анализе использовались данные 449 деревьев сосны.

**Распределение деревьев разных категорий санитарного состояния и крупности в зависимости от вида огневого повреждения, шт.**

Крупность	Ожог корней						Ожог корневой шейки						Ожог ствола до 0,5 м						Ожог ствола от 0,5 до 1,5 м						Ожог ствола более 1,5 м											
	1		2		3		4		5		6		1		2		3		4		5		6		1		2		3		4		5		6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Мелкая	1	-	2	1	19	3	2	1	2	-	-	-	-	25	16	1	1	7	6	6	1	4	1	13	1	1	1	-	-	-	-	13	3			
Средняя	21	10	8	10	45	2	22	1	-	-	-	-	59	9	1	1	6	1	52	8	6	8	7	3	32	2	6	7	35	1	1	2	-			
Крупная	5	9	5	1	4	1	6	-	-	-	-	-	10	3	2	1	1	12	9	2	-	1	1	24	-	2	1	2	-	-	-	-	-			
Итого	27	19	15	12	68	6	30	2	2	-	-	-	94	28	4	3	14	8	70	18	12	9	21	5	57	2	8	8	50	4	4	4	4			
%	18.4	12.9	10.2	8.2	46.2	4.1	88.2	5.9	5.9	-	-	-	62.3	18.5	2.6	2	9.3	5.3	51.8	13.3	8.9	6.7	15.6	3.7	44.2	1.5	6.2	6.2	38.8	3.1	3.1	3.1	3.1			

Деревья категорий состояния усыхающие, свежий и старый сухостой относятся к общему отпаду. Распределение деревьев сосны по группам повреждения, в зависимости от категории санитарного состояния и крупности, приведено в таблице. Анализируя данные таблицы, можно сделать следующие выводы. Наибольший отпад деревьев наблюдается при наличии ожога корней и составляет 58.5% от всех деревьев с ожогом корней. Причем доля крупных деревьев, сохранивших жизнеспособность, – 76.0%, средних – 40.6, мелких – 11.5%. Деревья с ожогом корневой шейки сохранили жизнеспособность независимо от их крупности. Из общего количества деревьев с высотой нагара по стволу до 0.5 м 16.6% относятся к группе отпада, из них более половины – это мелкие деревья. Большая часть (62.3%) деревьев с высотой нагара по стволу до 0.5 м не имела признаков ослабления. Доля деревьев 4-6 категории состояния при высоте нагара по стволу 0.5-1.5 м составила 25.9%. В основном, это мелкие и средние деревья. Доля отпада деревьев сосны при высоте нагара по стволу более 1.5 м составляет 48.1%. Деревьев только с ожогом корней не встретилось, поэтому при выделении деревьев с одновременным ожогом корней и части ствола внутри групп повреждения, доли отпада заметно изменяются. Так, при исключении деревьев с ожогом корней в группе повреждения огнем высокой интенсивности (высота нагара по стволу более 1.5 м) доля отпада составляет 11.9%, а при условии одновременного ожога корней и ствола более 1.5 м доля отпада вырастает до 87.1% (рис. 3). В целом, внутри групп повреждения крупные деревья, даже при наличии ожога корней, чаще сохраняли жизнеспособность, чем средние и мелкие.

Итак, сосновые насаждения средней подзоны тайги Республики Коми повреждаются

пожарами на значительных площадях, причем с увеличением доли сосны в составе насаждения пройденная пожаром площадь растет. Результаты анализа данных с пробных площадей свидетельствуют о следующем. Максимальная доля деревьев группы отпада наблюдается при ожоге корней – 58,5%, при ожоге корневой шейки дерева сохраняли жизнеспособность, с увеличением высоты нагара по стволу доля отпада повышается. При исключении ожога корней большая часть деревьев сохраняет жизнеспособность во всех группах повреждения. Из общего количества обследованных деревьев сосны (449 шт.) 27,2% (122 шт.) относится к группе общего отпада, из которых 23,4% (105 шт.) – деревья текущего отпада (усыхающие, свежий сухостой). Учитывая, что пожары на обследованных пробных площадях были двух-трехлетней давности, можно отметить, что

процесс распада древостоев растянут во времени и продолжается на данный момент.

#### ЛИТЕРАТУРА

Руководство по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга: Приказ Федерального Агентства Лесного Хозяйства от 29.12.2007 № 523 «Об утверждении методических документов».

Основы лесного хозяйства и таксации леса: Учеб. пособие / А.Н. Мартынов, Е.С. Мельников, В.Ф. Ковязин и др. СПб.: ООО Изд-во «Лань», 2008. 372 с.

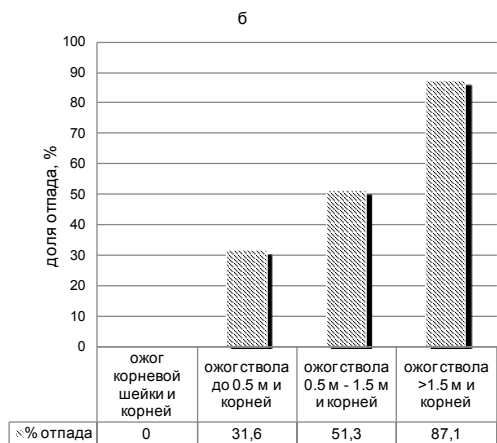
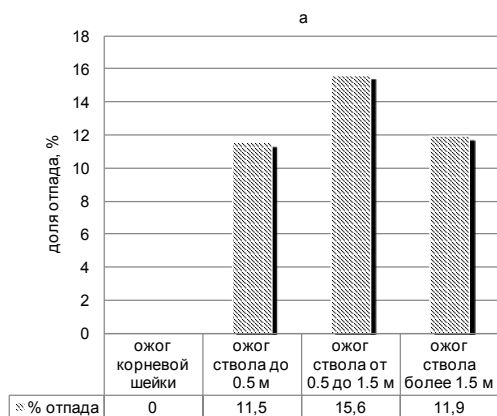


Рис. 3. Доля отпада деревьев сосны: а) при разных ожогах части ствола, % б) при одновременном ожоге корней и части ствола, %.



*Сахневич М.Б.* Влияние постпирогенных сукцессий на состояние основных насаждений Прителецкой части Алтайского заповедника // Материалы II Международной конференции «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее». Горно-Алтайск, 2010. С. 126-129.

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

## **АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**М.А. Маркушин**

Государственный центр агрохимической службы «Кировский»

E-mail: [markushin\\_m@mail.ru](mailto:markushin_m@mail.ru)

Устойчивое развитие кормопроизводства, от эффективной работы которого во многом зависит деятельность и грамотное функционирование животноводства, определяет качественную характеристику сельскохозяйственного производства Кировской области, а также стабильность отрасли.

В структуре сельскохозяйственных угодий региона пашня занимает 83% площади, сенокосы – 8, пастбища – 8, залежь – 1%. Доля кормов, заготавливаемых на естественных сельскохозяйственных угодьях, очень низкая. Объемы кормов, производимых на пашне, обеспечивают 80-90% их общей потребности. Агроэкологические условия полевого кормопроизводства Кировской области являются одним из основных факторов получения высокопитательных кормов. Агроклиматические условия наиболее сильно изменяются в зависимости от широты, некоторое нарушение в широтную зональность вносит рельеф (Гречканева, Марченко, 1974).

Статистические данные по качественному состоянию натуральных кормов области ежегодно выдаются в среднем по региону, а также по районам в частности. Учитывая, что Кировская область территориально вмещает в себя 40 муниципальных районов, а местонахождение южных и северных районов области во многом определяет качество и количество заготовленных натуральных кормов, то следует придерживаться именно агроклиматического фактора зонирования большой территории при качественной характеристике кормов в области. На территории Кировской области в результате сложного сочетания условий почвообразования сформировались почвы разных типов и подтипов по генезису, неоднородные по гранулометрическому составу и свойствам.

Почвы области представлены тремя основными типами: подзолистыми, дерново-подзолистыми и серыми лесными. На севере области в основном распространены бедные подзолистые почвы разного гранулометрического состава, от тяжелых глинистых до легких песчаных. В огромных массивах подзолистых почв на севере региона встречаются торфяники и их разнообразные почвенные формы. В центральной и южной агроклиматических зонах в основном преобладают дерново-подзолистые почвы, тоже различные по гранулометрическому составу, с разной степенью оподзоленности (уменьшается с севера на юг). На юге области расположены более плодородные серые лесные почвы. Их природное плодородие выше, чем дерново-подзолистых. Вместе с тем, природно-климатические условия области позволяют обеспечить региональное животноводство кормами необходимого качества на основе использования многолетних трав сенокосов и пастбищ (Ситников, 2013). Учитывая почвенно-геологические и агроклиматические условия зонирования Кировской области, давать оценку качеству натуральных кормов можно, поделив Вятский регион на три агроэкологических района: северный, центральный и южный (табл. 1).

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что в содержании питательных веществ заготавливаемых в области кормов наблюдается четко выраженная зональность. Так, содержание перевариваемого протеина в 1 кг сена естественных и сеяных трав, полученного в южной зоне области, на 8.7 г больше, чем в сене с северной зоны региона, а в сене из бобово-злаковых трав разница в 24 г на 1 кг. Аналогичная картина прослеживается по всем элементам питания.

Наблюдаемую зональность в обеспечении кормов питательными веществами, кроме климатических условий, мы объясняем, прежде всего, агроэкологическими условиями полевого кормопроизводства. Основным лимитирующим фактором формирования урожая как в количественном, так и в качественном отношении является повышенная (избыточная) кислотность пахотных почв. Материалы сплошного агроэкологического мониторинга пашни показывают нам, что площади кислых почв в Кировской области занимают 74%. Площади кислых почв по зонам области (табл. 2) изменяются незначительно. Так, средневзвешенный показатель рН изменяется в сторону улучшения четко с севера на юг.

В северной агроэкологической зоне Кировской области средневзвешенный показатель рН 4.9, т.е. преобладают среднекислые площади почв (по градации принятой в агрохимслужбе), а в южной зоне рН 5.3, а это уже слабокислые почвы, более пригодные для возделывания кормовых культур, что подтверждается средне-

Таблица 1

## Характеристика кормов Кировской области по агроэкологическим зонам

Содержание в 1 кг натурального корма	Агроэкологическая зона региона	Вид заготовленных кормов				Силос
		Сено				
		Естественных и сеяных трав	Бобово-злаковое	Злаковое	Естественных угодий	
Перевариваемый протеин, г	Северная	23.3	24.3	20.6	29.6	16.7
	Центральная	28.7	32.1	22.0	34.3	18.6
	Южная	32.0	48.3	26.6	33.9	21.8
Кальций, г	Северная	4.2	4.5	4.0	4.8	2.5
	Центральная	4.4	5.2	0.4	4.7	2.7
	Южная	4.6	6.3	3.5	4.8	3.3
Фосфор, г	Северная	1.2	1.6	1.1	1.1	0.6
	Центральная	1.9	1.3	1.2	1.1	0.7
	Южная	1.3	1.7	1.2	1.5	0.8
Натрий, г	Северная	0.7	–	0.7	9.5	0.6
	Центральная	0.8	0.8	0.8	9.1	–
	Южная	1.0	1.4	0.8	9.6	0.6
Магний, г	Северная	0.9	–	0.9	1.8	0.7
	Центральная	1.4	1.8	1.2	1.7	–
	Южная	1.7	2.4	1.2	1.5	0.8
Сера, г	Северная	0.6	–	0.6	0.6	0.3
	Центральная	0.7	0.6	0.7	0.9	–
	Южная	0.8	0.7	0.7	1.0	0.3
Медь, мг	Северная	2.3	–	2.3	2.1	1.7
	Центральная	3.0	3.6	2.7	3.1	–
	Южная	4.0	6.0	2.9	3.6	1.8
Цинк, мг	Северная	17.5	–	17.0	23.0	8.5
	Центральная	18.1	19.3	16.4	20.0	–
	Южная	22.4	28.4	20.3	18.6	8.2
Марганец, мг	Северная	93.5	–	80.1	263.4	19.5
	Центральная	69.8	62.2	46.2	120.4	–
	Южная	46.5	53.5	35.2	53.4	21.7
Кобальт, мг	Северная	0.030	–	0.029	0.046	0.026
	Центральная	0.051	0.030	0.035	0.090	–
	Южная	0.062	0.054	0.042	0.090	0.051

взвешенными показателями питательных веществ в кормах, заготавливаемых в южной агроклиматической зоне Кировской области. В обеспеченности почв такими элементами, как сера, медь, цинк, кобальт прослеживается также тенденция с некоторым увеличением их содержания с севера на юг, что в свою очередь повторяется в содержании этих элементов в кормах.

Таблица 2

**Агрохимические показатели плодородия почв  
агроклиматических зон Кировской области**

Показатели		Зона		
		Северная	Центральная	Южная
Степень кислотности	Средневзвешенное рН	4.9	5.0	5.3
	УВП*, %	74	79	61
Подвижный фосфор	Средневзвешенное, мг/кг	124.0	117.0	104.0
	УВП, %	73	10	25
Обменный калий	Средневзвешенное, мг/кг	122.0	115.0	113.0
	УВП, %	60	21	24
Содержание органического вещества	Средневзвешенное, мг/кг	2.2	2.2	2.3
	УВП, %	43	47	49
Обменный кальций	Средневзвешенное, мг-экв/100 г	9.4	11.0	11.7
	УВП, %	11	4	4
Обменный магний	Средневзвешенное, мг-экв/100 г	2.0	2.1	2.1
	УВП, %	13	9	4
Подвижная сера	Средневзвешенное, мг/кг	5.8	6.4	7.0
	УВП, %	61	45	37
Подвижная медь	Средневзвешенное, мг/кг	2.7	3.3	4.3
	УВП, %	9	2	3
Подвижный цинк	Средневзвешенное, мг/кг	1.3	1.6	1.2
	УВП, %	70	74	84
Подвижный марганец	Средневзвешенное, мг/кг	83.0	71.0	65.0
	УВП, %	1.2	0.6	0.2
Подвижный кобальт	Средневзвешенное, мг/кг	0.8	0.7	0.7
	УВП, %	78	89	73
Преобладающий тип почвы и гранулометрический состав		Дерново-подзолистая, легкосуглинистая	Дерново-подзолистая, среднесуглинистая	Серая лесная; дерново-подзолистая, среднесуглинистая

\* УВП – удельный вес почв с низким и очень низким содержанием для данного показателя плодородия, в % к площади обследуемой пашни агроклиматической зоны.

Таким образом, качество заготавливаемых кормов в полевом кормопроизводстве главным образом зависит от степени кислотности почвы и ее плодородия. Данные свойства почвы хорошо поддаются регулированию и при проведении определенных агрохимических мероприятий (известкование, внесение минеральных и органических удобрений) можно значительно увеличить выход кормового белка с 1 га.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Гречканева С.Ф., Марченко К.И.* Агроклиматические ресурсы Кировской области. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 111 с.

*Ситников Н.П.* Об управлении семеноводством многолетних трав на региональном уровне // Кормопроизводство, 2013. С. 20-22.

Годовой отчет ФГБУГЦАС «Кировский». 2010-2013 гг.

### ОЦЕНКА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТЕНИЙ В СВЯЗИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ РАЗНЫХ АДАПТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

**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)

Исследование растительного покрова чаще всего базируется на таксономическом, популяционном и эколого-фитоценологическом анализе. Для более полной оценки биоразнообразия большое значение приобретает выявление свойств растений, отражающих их адаптивную (жизненную) стратегию. Согласно концепции Раменского-Грайма, выделяют три основных типа адаптивных стратегий растений, различающихся по эффективности использования ресурсов среды и устойчивости к стрессу: конкуренты (виоленты, C), стресс-толеранты (пациенты, S), рудералы (эксплеренты, R) – **CSR система (Раменский, 1935; Grime, 1979)**. К настоящему времени в литературе накоплен значительный материал о том, что виды, реализующие разные жизненные стратегии, отличаются по структуре биомассы, фотосинтетической и дыхательной активности, использованию ассимилятов, содержанию и соотношению гормонов (Пьянков и др., 2000; 2001).

К сожалению, использование этих стратегий для изучения растительности северных территорий затруднено. Это связано с тем, что большинство исследований по адаптивным стратегиям видов проводилось для территории центральной России и южных областей бореальной зоны. Для северных же территорий, особен-

но для многих горных и тундровых видов, их стратегии до сих пор не определены. Кроме того, использование классификаций, разработанных для других территорий, не всегда корректно, поскольку степень выраженности тех или иных свойств у растений во многом зависит от географических и климатических факторов, которые могут существенно меняться.

Определение положения видов является достаточно трудоемкой задачей и требует длительных и дорогостоящих исследований как физиологии, так и фитоценологии растений. Однако не так давно Дж. Граймом с соавт. (Hodgson et al., 1999) была предложена математическая модель, которая может существенно облегчить оценку экологических стратегий видов на основе небольшого числа легко измеримых морфометрических параметров: высота растений (мм), масса листа (мг) и его площадь (мм<sup>2</sup>), доля содержания сухой массы (%), удельная площадь листа (мм<sup>2</sup>/мг).

Кроме морфометрических параметров мы дополнительно использовали физиологические характеристики: скорость поглощения углекислого газа (фотосинтетическая активность) и величину транспирации, которые тесно связаны со скоростью роста фитомассы (Иванова, Юмагулова, 2009; Маслова и др., 2010).

Цель работы – оценить виды, относящиеся к разным типам жизненных стратегий, по указанным выше морфологическим и физиологическим параметрам. Для этого необходимо подобрать модельные виды с четкой позицией в системе Раменского-Грайма на основе их ценотической роли в разных растительных сообществах, физиологических параметров и экспертной оценки. Изучить взаимосвязь морфологических (высота растения, масса и площадь листьев, удельная площадь листа) и физиологических параметров (фотосинтетическая активность, транспирация) показателей и жизненных стратегий видов. Заключительным этапом исследований являлось построение математической модели для определения положения видов в CSR системе и ее верификация.

Сбор материала проводился в наиболее типичных местообитаниях в окрестностях г. Сыктывкара, с небольшим привлечением данных, собранных для других районов Республики Коми. Массу листьев определяли при помощи электронных весов (Diamond Series A04), площадь оценивали при помощи анализа фотографий в программе ArcView 3.2. CO<sub>2</sub>-газообмен листьев изучали при помощи измерительных систем LI-7000 (LICOR, Inc, США) и LCPro+ (ADC, Великобритания) на базе ИК-газоанализатора. Определение скорости видимого поглощения CO<sub>2</sub> проводили при 18-20 °C (зона температурного оптимума) и насыщающей ФАР (800-1200 мкмоль/м<sup>2</sup>с). Все измерения осуществлялись в 10-30-кратной поворачиваемости.

Всего нами изучено 20 наиболее распространенных видов сосудистых растений разных эколого-ценотических групп и экологических стратегий в системе Раменского-Грайма: *Alopecurus pratensis* (C/CS), *Betula nana* (S/CS), *Chamerion angustifolium* (C/CR), *Comarum palustre* (CS), *Elytrigia repens* (C/CR), *Fragaria vesca* (S/CSR), *Geranium sylvaticum* (CSR), *Hypericum maculatum* (CR/CSR), *Maianthemum bifolium* (S), *Oxalis acetosella* (S/CS), *Oxycoccus palustris* (S/CS), *Plantago media* (R/SR), *Poa pratensis* (CSR), *Rubus chamaemorus* (SC/CSR), *Trientalis europaea* (S/CSR), *Trifolium pratense* (CR), *Tussilago farfara* (C/CR), *Vaccinium myrtillus* (S/SC), *Vaccinium vitis-idaea* (S/SC), *Viola palustris* (S/SC). Эталонное положение видов в CSR системе определялось из публикаций Дж. Грайма, по базе данных «Флора сосудистых растений Центральной России» [www.jcbi.ru/eco1/index.shtml](http://www.jcbi.ru/eco1/index.shtml) и экспертным путем.

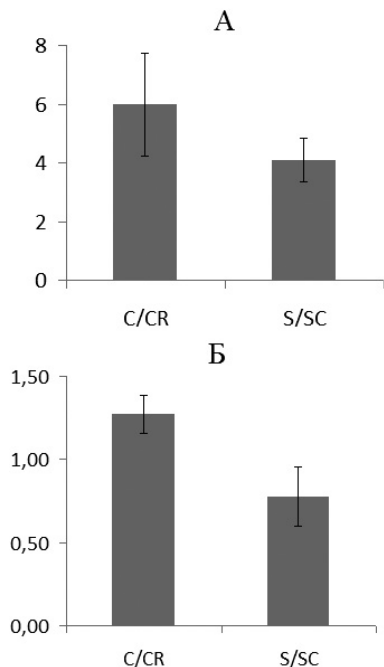
Растения с превалированием конкурентно-рудеральных свойств (CR-виды) характеризуются высокой скоростью роста и продуктивностью. Высота этой группы растений варьировала в широких пределах: от 30-70 см (*Geranium sylvaticum*, *Tussilago farfara* и *Comarum palustre*) до 1.0-1.5 м (*Chamerion angustifolium*, *Elytrigia repens*, *Alopecurus pratensis*). Высокие растения характеризовались сравнительно низкой сухой массой листа (60-120 мг) и небольшой его площадью (1000-3000 мм<sup>2</sup>). Сухая масса и площадь листа небольших по высоте растений были в три-четыре раза больше по сравнению с высокорослыми. Удельная площадь листа (УПЛ, площадь одного мг листа) у этих видов составляла в среднем 20-30 мм<sup>2</sup>/мг, а доля сухого вещества в среднем – 20-40%.

Виды с превалированием стресс-толерантных свойств (S-, SC-виды) являются медленнорастущими и характеризуются низкой продуктивностью. Высота растений S-типа экологической стратегии значительно меньше, чем у CR-видов, и зависела от жизненной формы: для травянистых растений составляла в среднем 10-18 см, для кустарничков – 20-45 см. Сухая масса листа варьировала от 5 до 60 мг и была существенно ниже по сравнению с быстрорастущими CR-видами. Площадь листа варьировала в широких пределах от 40 (*Oxycoccus palustris*) до 2000 мм<sup>2</sup> (*Maianthemum bifolium*, *Rubus chamaemorus*). Листья кустарничков и полукустарничков (*Vaccinium vitis-idaea*, *Oxycoccus palustris*, *Betula nana*) характеризовались низкой УПЛ (7-11 мм<sup>2</sup>/мг) и высокой долей сухого вещества в нем (30-55%). Листья травянистых растений со стресс-толерантными свойствами были значительно тоньше, о чем свидетельствует более высокая УПЛ (40-50 мм<sup>2</sup>/мг), а доля сухого вещества в листе составляла в среднем 15-20%. Корреляционный анализ выявил наличие высокой отрицательной корреляции

$r = -0.86$  (уровень значимости  $p < 0.01$ ) между удельной площадью листа и долей сухого вещества в нем. Следует отметить, что растения с S-свойствами имели жизненную форму «длиннокорневищный многолетник», характеризовались клоновым ростом и превалированием вегетативного размножения.

Из литературы известно (Иванова, Юмагулова, 2009), что скорость поглощений  $\text{CO}_2$  и величина транспирации положительно коррелируют со скоростью роста растений, что является одним из основных признаков конкурентно-рудеральной группы видов, которая характеризуется высокой скоростью роста. Наши результаты это подтверждают. В целом, виды, отнесенные к C/CR группе, показали более высокие значения по обоим параметрам. Так, средняя скорость ассимиляции  $\text{CO}_2$  составила 6 мкмоль/м<sup>2</sup>с для C/CR группы, а для S/CS группы – в среднем 4 мкмоль/м<sup>2</sup>с. По транспирации среднее значение для C/CR видов было 1.3 ммоль/м<sup>2</sup>с против 0.8 для видов стресс-толерантной группы (см. рисунок). К сожалению, полученная разница не являлась статистически значимой.

Таким образом, растения разных жизненных стратегий характеризуются различными морфометрическими и физиологическими показателями, что дает нам



возможность использовать эти параметры для построения математических моделей. В таблице приведены коэффициенты модели для определения положения видов в CSR системе, полученные с использованием метода линейной регрессии.

Из таблицы видно, что только один параметр оказался значимым для каждой из трех осей CSR пространства. Для конкурентности (C) и стресс-толерантности (S) этим параметром является высота

Сравнение физиологических параметров для C/CR (конкурентно-рудеральной) и S/CS (стресс-толерантной) групп: А – скорость ассимиляции  $\text{CO}_2$  (мкмоль/м<sup>2</sup>с), Б – величина транспирации (ммоль/м<sup>2</sup>с).



### Коэффициенты регрессионной модели и их уровни значимости

Показатель	С компонента			S компонента			R компонента		
	B	t	p	B	t	p	B	t	p
(Константа)	-3.154	-1.984	.083	-.998	-.389	.707	2.162	.929	.380
Скорость ассимиляции CO <sub>2</sub>	.174	1.356	.212	.147	.708	.499	-278	-1.480	.177
Транспирация	-.653	-1.503	.171	-.958	-1.366	.209	<b>1.200</b>	<b>1.887</b>	<b>.096</b>
Высота, мм	<b>.002</b>	<b>4.185</b>	<b>.003</b>	<b>-.002</b>	<b>-2.873</b>	<b>.021</b>	.001	.214	.836
Масса сухих листьев, мг	.005	1.718	.124	-.006	-1.270	.240	-.002	-.370	.721
Площадь листа, мм <sup>2</sup>	-.002	-1.593	.150	.002	1.250	.247	.000	.930	.379
Доля сухого вещества	.037	1.142	.287	.062	1.185	.270	-.084	-1.775	.114
Удельная площадь листа	.013	.638	.541	.029	.897	.396	-.047	-1.594	.150

*Примечание:* B – регрессионный коэффициент, t – значение критерия Стьюдента, p – уровень значимости. Жирным шрифтом выделены параметры с p < 0.1.

растения, для рудеральности (**R**) – **уровень транспирации**. Остальные коэффициенты получились статистически незначимыми.

Сравнение результатов работы модели с эталонным положением видов показало совпадение на уровне около 80%. Следует отметить, что пока это только предварительная модель, поскольку не была проведена ее верификация на независимом наборе данных.

Таким образом, в целом, виды разных адаптационных стратегий характеризуются различными морфометрическими и физиологическими характеристиками (к сожалению, не всегда статистически значимыми). Наиболее четкую зависимость связи видов с их положением в CSR пространстве показали высота растения для **C** и **S** параметров, и **уровень транспирации** для **R**. Полученная модель показывает хорошие результаты, но требуется провести ее верификацию.

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

### ЛИТЕРАТУРА

*Иванова Н.А., Юмагулова Э.Р.* Эколого-физиологические механизмы адаптации и типы стратегии сосудистых растений верховых болот. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2009. 186 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.

*Пьянков В.И., Иванов Л.А., Ламберс Х.* Конструкционная цена растительного материала у видов бореальной зоны с разными типами экологических «стратегий» // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 1. С. 81-88.

Пьянков В.И., Яшков М.Ю., Решетова Е.А., Гангардт А.А. Транспорт и распределение ассимилятов у растений Среднего Урала с разными типами экологических «стратегий» // Физиология растений. 2000. Т. 47. С. 5-13.

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

Grime J.P. Plant strategies and vegetation processes. Chichester, N.Y., Brisbane, Toronto: Wiley and Sons, 1979. 222 p.

Hodgson J.G., Wilson P.J., Grime J.P., Thompson K. Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem // Oikos. 1999. Vol. 85. P. 282-294.

## АГАРИКОИДНЫЕ БАЗИДИОМИЦЕТЫ ГОРНЫХ ТУНДР ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

М.А. Паламарчук

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: palamarchuk@ib.komisc.ru

Разнообразие агариковых грибов в горных тундрах на территории России до сих пор исследованы недостаточно. Практически белым пятном остается микобиота горно-тундровых ландшафтов западного макросклона Урала. Имеются лишь небольшие сведения о разнообразии агариковых грибов Полярного Урала, где выявлено 79 видов (Нездоймино, 2001). Горные тундры Северного Урала также недостаточно обследованы в микологическом плане, здесь отмечено всего 28 видов (Паламарчук, 2012). Сведения о разнообразии агарикоидных базидиомицетов Приполярного Урала до начала наших работ полностью отсутствовали. В связи с этим микологические исследования высокогорного пояса западного макросклона Урала актуальны и представляют большой интерес.

Приполярный Урал – наиболее возвышенная и широкая часть древних Уральских гор, простирающаяся от истоков р. Хулга на севере (65°40' с.ш.) до горы Тельпосиз на юге (64° с.ш.). Рассматриваемая территория располагается в подзоне крайнесеверной тайги. В горных ландшафтах изменение характера растительности происходит по высотному градиенту. Горно-лесной пояс начинается с полосы еловых, пихтово-еловых и елово-березовых лесов, с подъемом в горы они замещаются лиственничными лесами, а еще выше – лиственничными редколесьями (Мартыненко, Дегтева, 2003). Выше границы леса располагается полоса кустарников, состоящая из нескольких видов ив, карликовой березки, можже-

вельника сибирского, ольхи кустарниковой (Мартыненко, Дегтева, 2003). Участки горных кустарничково-моховых и мохово-лишайниковых тундр появляются уже среди горно-лесных редколесий. Их площади увеличиваются по мере нарастания высоты. На перевалах и плоских вершинах встречаются фрагменты осоково-моховых и дриадовых тундр, мелкотравные луговины. Выше 300-700 м над ур.м. на Приполярном Урале простираются каменистые россыпи, почти лишенные растительности (Мартыненко, Дегтева, 2003).

Материалом для данной работы послужили образцы грибов, собранные в полевые сезоны 2009-2010 гг. и 2012-2013 гг. в северной части Приполярного Урала. Использовался наиболее распространенный в микологии маршрутный метод.

Таким образом, в результате полевых исследований в горных тундрах Приполярного Урала выявлено 109 видов агарикоидных базидиомицетов, относящихся к 31 роду, 16 семействам и трем порядкам. Три вида (*Cortinarius durus*, *Inocybe argenteolutea*, *Inocybe subhirsuta*) являются новыми для территории России. Ведущие семейства – *Russulaceae* (22 вида), *Strophariaceae* (17), *Inocybaceae* (14), *Cortinariaceae* (12), *Tricholomataceae* (8) и *Entolomataceae* (6), что характерно для всей лесной зоны Голарктики.

Ведущими родами по числу видов являются *Lactarius* (15 видов), *Inocybe* (14), *Cortinarius* (12), *Galerina* (9), *Russula* (7) и *Entoloma* (6). Эти роды включают 62 вида, или 57% всего видового состава. Остальные 25 родов имеют невысокое видовое богатство, причем 13 – одновидовые (42% всех родов). Обилие видов в таких родах, как *Lactarius*, *Inocybe*, *Cortinarius* и *Galerina*, представители которых наиболее широко распространены в таежной зоне, характеризует исследуемую биоту как бореальную северотаежную. На горные черты микобиоты указывает низкое видовое разнообразие рода *Muscena*, занимающего лидирующие позиции в лесном поясе (Паламарчук, 2012).

Субстрат – важнейший фактор в жизни шляпочных грибов, поскольку они, как гетеротрофные организмы, получают из него все необходимые питательные вещества. По типу и источнику питания выявленные агарикоидные базидиомицеты могут быть разделены на девять групп: симбиотрофы (микоризообразователи), сапротрофы на опаде, подстилке, гумусе, древесине (ксилотрофы), мхах (бриотрофы), лишенизированные грибы, паразиты и копротрофы. При этом около 6% видов могут питаться за счет двух и более субстратов, такие виды включены одновременно в разные трофические группы.

Ведущее положение в анализируемой микобиоте занимает группа микоризообразователей. На их долю приходится 62 вида (55% от общего видового разнообразия). Преобладание в трофической структуре микобиоты грибов с симбиотрофным типом питания характерно не только для горных, но и для равнинных тундр. В тундровых сообществах они выполняют исключительно важную функцию. Симбиоз грибов с низкими кустарниками и кустарничками позволяет последним с помощью эктотрофной микоризы получать элементы минерального питания, почти отсутствующие в почвенном растворе и поглощающем комплексе тундровых почв. Большинство представителей данной группы относится к семействам *Russulaceae* (23 вида), *Inocybaceae* (14), *Cortinariaceae* (12), и родам *Lactarius* (15), *Inocybe* (14), *Cortinarius* (11) и *Russula* (8).

Широта специализации у симбиотрофных грибов различна. Так, микоризообразователи с листовными породами представлены в горных тундрах Приполярного Урала 35 видами, а не специализированные в отношении симбиотрофа – 28 видов грибов. Из листовных пород больше всего облигатных микоризообразователей отмечено для ивы (12 видов), березы (7), березы карликовой (4) и дриады (2).

Большая часть микоризообразователей встречается только в нижней части гольцового пояса и характерна для ерниковых тундр и ивняков. В горнотундровый пояс эти виды заходят из лежащих ниже по склону лесов и редколесий. Как правило, это бореальные виды с широкой экологической амплитудой, способные менять своих партнеров по симбиозу, в данном случае древесных на кустарниковые. Эта группа представлена 29 видами, такими как *Amanita fulva*, *Cortinarius croceus*, *C. caperatus*, *Laccaria lactata*, *Inocybe lacera*, *I. napipes*, *I. rimosa*, *Paxillus involutus*, *Lactarius rufus*, *L. trivialis* и др. Кроме того, в кустарниковые тундры заходят и узкоспециализированные симбионты березы, которые в тундрах образуют микоризу с карликовой березкой. Это такие виды, как *Leccinum scabrum*, *L. versipelle*, *Lactarius glycosmus*, *L. vietus*, *Russula nitida* и др.

Вторая группа микоризных грибов, представленная гипоарктоальпийскими и арктоальпийскими видами, больше тяготеет к щебнисто-пятнистым ерниковым и дриадовым тундрам, расположенным выше по склону. Эти грибы образуют микоризу с карликовой березкой, различными видами ив и дриадой. Облигатными симбиотрофами ив являются 12 видов: *Cortinarius alpinus*, *Entoloma alpicola*, *Inocybe agardhii*, *I. giacomii*, *Lactarius pseudoviduus*, *Russula pasqua* и др. Облигатными симбиотрофами карликовой березки – четыре вида: *Cortinarius durus*, *C. septentrionalis*, *Lecci-*

*num rotundifoliae*, *Lactarius torminosulus*. Строгую связь с дриадой восьмилепестной имеют два вида: *Inocybe salicis-herbaceae*, *Lactarius dryadophilus*.

На долю грибов с сапротрофным типом питания приходится 45% от общего видового разнообразия. Среди них преобладают бриотрофы – грибы, участвующие в разложении отмерших частей зеленых и сфагновых мхов. К ним относится 16 видов (14% от общего видового разнообразия). Высокое видовое разнообразие бриотрофов характерно и для равнинных тундр. Практически все виды этой группы относятся к семейству *Strophariaceae* (14 видов) и роду *Galerina* (9). Наиболее часто встречаются: *Tephrocycbe palustris*, *Galerina hypnorum*, *G. paludosa*, *G. pumila*, *G. vittiformis*, *Huophiloma elongatum*, *H. polytrichi*, *Phaeogalera stagnina*, *Arrhenia philonotis* и др. Большинство бриотрофов широко распространено в лесной зоне на болотах и в заболоченных лесах. Горные и арктические местообитания предпочитают только *Galerina arctica* и *G. pseudomycesopsis*.

К группе подстилочных сапротрофов относится 15 видов (13%). В основном это широко распространенные бореальные виды, заходящие в горно-тундровый пояс из лесов и редколесий (*Cystodermella adnatifolia*, *Entoloma cetratum*, *Gymnopus confluens*, *G. dryophilus*, *Mycena pura*, *Xeromphalina caulicinalis*, *Clitocybe gibba* и др.). Только в тундровых местообитаниях из представителей этой группы отмечены *Infundibulicybe dryadum* и *Omphaliaster borealis*.

Гумусовые сапротрофы представлены девятью видами (7.8%). Это такие виды, как *Entoloma conferendum*, *Hugrocybe cinerella*, *Psathyrella microrrhiza*, *Agrocybe praecox*, *Infundibulicybe lapponica* и др. Виды этой группы встречаются в основном на луговинах и в нарушенных местообитаниях. Практически все они отмечены и в лесном поясе. Только тундровые, альпийские местообитания предпочитает *Hugrocybe cinerella*. Остальные группы (ксилотрофы, лишенизированные грибы, паразиты, сапротрофы на опаде и копротрофы) представлены небольшим числом видов.

Распределены агарикоидные базидиомицеты по горно-тундровому поясу неравномерно. Так, наибольшее их разнообразие отмечено в его нижней части. Здесь встречаются типично бореальные виды, которые заходят сюда из горно-лесного пояса и горных редколесий. Так, из 109 видов, отмеченных в тундрах, 65 видов (60% от общего видового разнообразия) встречаются и в лесном поясе. С высотой происходит постепенное обеднение видового состава, но в то же время появляются арктоальпийские виды, предпочитающие кустарничковые и дриадовые тундры. Только в гор-

но-тундровом поясе Приполярного Урала было выявлено 45 видов. Из них к арктоальпийским видам, определяющим своеобразие и специфику данного региона, относится 26 видов: *Cortinarius alpinus*, *C. durus*, *C. minutalis*, *C. norvegicus*, *C. polaris*, *Entoloma alpicola*, *E. bipelle*, *Hygrocybe cinerella*, *Lichenomphalia alpina*, *L. hudsoniana*, *Inocybe argenteolutea*, *I. giacomii*, *I. salicis-herbaceae*, *I. subhirsuta*, *Galerina arctica*, *G. pseudomycenopsis*, *Psilocybe chionophila*, *Arrhenia lobata*, *Infundibulicybe dryadum*, *Leccinum rotundifoliae*, *Lactarius brunneoviolaceus*, *L. dryadophilus*, *L. salicis-reticulatae*, *L. torminosulus*, *Russula nana*, *R. pascua*.

В горных тундрах Приполярного Урала произрастает 25 видов съедобных шляпочных грибов. Самыми многочисленными видами в ерниковых тундрах являются *Leccinum scabrum* и *L. rotundifoliae*. Реже можно встретить *Cortinarius caperatus*, *Leccinum versipelle*, *Lactarius rufus*, *Russula delica* и др. Все эти виды широко распространены в лесном поясе, а в горах приурочены к нижней части горно-тундрового пояса.

Таким образом, в горно-тундровом поясе Приполярного Урала выявлено 109 видов агарикоидных базидиомицетов. Высокое видовое разнообразие родов *Lactarius*, *Inocybe*, *Cortinarius* и *Galerina* свидетельствует о положении исследуемой территории в зоне бореальных лесов. Специфику горно-тундрового пояса определяет низкое видовое разнообразие типично лесного рода *Mycena* и наличие видов арктоальпийского распространения. Еще одной особенностью выявленной микобиоты является высокое видовое разнообразие бриотрофов и практически полное отсутствие дереворазрушающих грибов.

Исследования выполнены при поддержке программы Президиума РАН «Живая природа», проект «Видовое, ценотическое и экосистемное разнообразие ландшафтов территории объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Девственные леса Коми»», № регистрации 12-П-4-1018.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Мартыненко В.А., Дегтева С.В. Конспект флоры природного национального парка «Югыд ва» (Республика Коми). Екатеринбург, 2003. 93 с.
- Нездойминога Э.Л. Базидиальные макромицеты в горных тундрах Полярного Урала // Микология и фитопатология. 2001. Т. 35. Вып. 2. С. 26-29.
- Паламарчук М.А. Агарикоидные базидиомицеты Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал). Сыктывкар, 2012. 152 с.

## СЕНАЖ – КОРМ СЕВЕРНЫЙ

**А.Н. Панюков, С.В. Столбецкий**

Коми республиканский агропромышленный техникум

E-mail: [krapt@minobr.rkomi.ru](mailto:krapt@minobr.rkomi.ru)

Сегодня многие предприятия АПК не мыслят, как можно прожить без дотаций и субсидий, так как молочное животноводство практически не приносит прибыли, а производство говядины вообще считается убыточным. Попробуем в этом разобраться.

При первом же внимательном взгляде становится очевидным, что основной причиной низкой рентабельности отрасли животноводства является недостаточное качество грубых кормов (сена, силоса и сенажа), выражающееся в очень низкой концентрации обменной энергии в сухой массе, в среднем по России – 8.5 МДж. Компенсация этого показателя производится за счет включения в рационы коров больших количеств концентрированных кормов (до 60% по питательности), что приводит к расстройству здоровья животных, снижению продуктивного долголетия и существенно увеличению затрат на корма.

В стремлении повысить валовое производство молока многие сельхозпроизводители совершенно правильно идут по пути улучшения генетического потенциала дойного стада, при этом тратятся значительные денежные средства на закупку продуктивных животных и качественной спермы и одновременно не обращают должного внимания на кормовую базу. Это приводит к тому, что высокоудойный генетический потенциал животных не реализуется. Такая ситуация сравнима с попыткой разогнать современную гоночную машину, заливая в нее 76-й бензин. В результате – цель не достигнута и машина сломана. В случае с коровами это выражается в том, что они не только не дают «большое» молоко, но и долго не живут: их продуктивное долголетие ограничивается двумя-тремя лактациями. Главной причиной такого результата является то, что в погоне за целью – любой ценой повысить надой – животноводы «забывают», что имеют дело со жвачными животными, в рубце которых живут и «трудятся» миллиарды микроорганизмов, их «здоровье» напрямую зависит от здоровья своего хозяина – коровы. Именно бактерии рубца, благодаря своей способности перерабатывать грубые корма, богатые растительными волокнами, определяют экономику молочного производства. Со своей стороны корова активно создает необходимые условия для питания, роста и размножения микроорганизмов. Этому служит такой процесс, как жвачка. Именно в процессе качественной, продол-



жительной жвачки пищевой комок пропитывается слюной. Важнейшее свойство слюны – способность поддерживать кислотность содержимого рубца в оптимальных пределах от 5.5 до 7.0 по значению рН. Это основной показатель для «процветания» микроорганизмов, следствием которого является хорошее здоровье коров.

Взглянем теперь на традиционные грубые корма, заготавливаемые для коров, с точки зрения их соответствия основным требованиям:

- по содержанию обменной энергии;
- по пригодности к жвачке;
- по способности продлять продуктивное долголетие коров.

**Сено.** Его заготавливают из целых растений в стадии цветения с большим содержанием клетчатки, поэтому оно имеет низкое содержание обменной энергии и не подходит в качестве основного корма для высокопродуктивных коров. Одновременно это пресный корм, который по показателю кислотности идеально подходит для рубцовой ферментации и отлично подходит для жвачки.

**Травяной силос** заготавливается из мелко измельченных растений в стадии бутонизации, когда в них еще достаточно обменной энергии, однако для обеспечения сохранности массы необходимым условием является снижение рН до 3.8-4.2, в основном за счет сбраживания легкодоступных углеводов молочнокислыми бактериями в молочную кислоту. При соблюдении жестких требований к силосованию: влажность, степень измельчения, качество трамбовки и скорость загрузки хранилища. При достаточно мощной энерговооруженности можно достичь высокой концентрации обменной энергии в силосе, но мелко измельченный корм корова не жует дополнительно и, как следствие, не выделяет достаточно слюны и не поддерживает кислотность рубца. К тому же в этом корме нет легкодоступных углеводов, необходимых в качестве источника энергии для размножения микроорганизмов. Поэтому в рацион вводят концентраты, богатые крахмалом, которые очень быстро сбраживаются до летучих жирных кислот, тем самым дополнительно понижая показатель кислотности рубца. В итоге силосно-концентратный тип кормления приводит к закислению организма коровы, к развитию такой физиологической болезни, как ацидоз со всеми вытекающими последствиями, а главное, к быстрому выбытию животного из продуктивного стада. Эти животные не успевают отработать вложенные на их выращивание средства.

**Сенаж** готовится из растений в ранней стадии развития, имеет высокое содержание обменной энергии и легкодоступных углеводов, которые необходимы для деятельности микробов, разлагающих клетчатку. Так как сенаж консервируется в анаэробных ус-



ловиях за счет физиологической сухости среды, то образование кислот в нем происходит в небольших количествах, и показатель рН остается близким к нейтральному, что очень хорошо для коровы. Однако традиционная технология заготовки сенажа подразумевает измельчение массы до размера частиц 1.5-2.5 см. Если такая степень измельчения не будет достигнута, то уплотнение сенажа в траншее будет невозможно или оно произойдет только после самосогревания массы, следствием чего будет резкое снижение перевариваемости готового корма. При недостаточном уплотнении в массе остается кислород, что приводит к образованию плесени. Еще одним существенным недостатком является то, что после вскрытия траншеи начинается аэробное поражение корма, что также приводит к большим потерям питательной ценности корма.

Всем требованиям высокопродуктивных животных отвечает сенаж из целых растений, убранных в ранней стадии вегетации и упакованных в течение суток. Технология производства такого корма в России появилась в начале 90-х гг. прошлого века и к настоящему времени довольно распространена. Основным отличием от традиционной технологии заготовки сенажа в траншее является применение специальных машин: рулонных пресс-подборщиков с повышенной степенью прессования (примером могут служить пресс-подборщики R12 Super NW как наиболее распространенные в России, производство Навигатор-НМ, г. Пермь) и упаковщиков рулонов в специальную агростретч пленку. Эти пресс-подборщики с высокой степенью прессования дают необходимую плотность травяной массы даже при прессовании целых растений. Сразу после формирования высокоплотных рулонов из сенажной массы их герметично упаковывают в специальную пленку.

В отличие от траншейного способа, сенаж в упаковке является более гибкой технологией, малозависимой от погодных условий, потому что все работы могут быть остановлены без ущерба для качества сенажа. При этом упакованный корм больше не подвержен никаким рискам, в отличие от траншеи, для заполнения которой требуется несколько дней.

Буквально революционным следует признать появление (в России) скоростных упаковщиков рулонного сенажа «в линию». Теперь, благодаря этим машинам, рулонный сенаж могут заготавливать крупные хозяйства, имеющие тысячи голов дойного стада. Для подтверждения этого заявления предлагаем следующий пример.

Скоростной упаковщик типа Neoliner NWX 660 (по данным испытания Кировской МИС) показывает в условиях реального хозяйства производительность 500 т в смену. Такой объем – 250 т

сухого вещества в пересчете на силос с влажностью 75% – равнозначен заготовке 1 тыс. т корма. Подобным результатом могут похвастать немногие хозяйства России. Если напомнить, что широко распространенные индивидуальные упаковщики (когда каждый рулон упаковывается отдельно) способны упаковать немногим более 100 т в смену (расходуя при этом в два раза больше пленки), то следует признать, что появление скоростных машин позволит сделать кормопроизводству России серьезный шаг вперед в повышении качества кормления молочного скота.

Понимая, что экономическая оценка всегда будет важнейшим критерием при сравнении технологий, предлагаем следующий расчет, в котором новые технологии сравниваются с традиционной заготовкой силоса в траншее.

#### Сравнение экономической эффективности различных технологий заготовки кормов, %

Группа затрат	Силос в траншее	Сенаж в траншее	Сенаж в упаковке	Сенаж в упаковке в линию
Работа в поле	100	69	56	56
Перевозка	100	50	27	27
Укрытие, упаковка, трамбовка	100	64	151	81
Итого затрат	100	61	67	51

Из таблицы экономические преимущества обеих пленочных технологий «Сенаж в упаковке» перед другими настолько очевидны, что комментарии излишни. Производство молока и говядины может быть высококорентабельным бизнесом, если правильно распорядиться имеющимися в хозяйстве ресурсами.

#### МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦИЙ *NOSTOC COMMUNE* VAUCH. EX BORN. & FLAN. ИЗ РЯДА АРКТИЧЕСКИХ И ГОРНЫХ РЕГИОНОВ

А.Д. Патова<sup>1</sup>, Я.И. Пылина<sup>2</sup>, Д.М. Шадрин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет

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

E-mail: [patova\\_anya@mail.ru](mailto:patova_anya@mail.ru)

Представители гетероцитных цианопрокариот рода *Nostoc* имеют сходные, трудно различимые морфологические признаки. Природный материал и культуральные штаммы ностоков можно определить до вида только по зрелым колониям с четко выражен-

ными признаками, однако это не всегда возможно, что связано с необычайной полиморфностью *N. commune*. Исследователи выделяют несколько форм данного вида для разных экотопов и географических зон, но причины такого разнообразия до сих пор не выяснены. Необходимы дальнейшие исследования данного рода; важно изучить его не только с морфологических и физиологических позиций, но и привлечь современные молекулярно-генетические методы. *Nostoc commune* – широко распространённый в наземных экосистемах вид, способный к оксигенному фотосинтезу и фиксации атмосферного азота. Вид имеет широкую экологическую амплитуду, способен обитать как в воде, так и на суше, при низких и высоких температурах. Ему принадлежит особая роль в структурно-функциональной организации наземных экосистем арктических, аридных и горных регионов (Novis, Smissen, 2006; Reháková et al., 2007; Arima et al., 2012). **Исследование генетического полиморфизма географически удалённых популяций *Nostoc* позволит лучше понять генетическую изменчивость внутри вида, ответить на важные вопросы: действительно ли в разных экологических нишах встречается один и тот же вид, есть ли изменения в генотипе, связанные с широтной изоляцией и экологическими условиями?**

Цель работы – изучение морфологического и генетического разнообразия популяций *Nostoc commune*, произрастающих в горных (тундровые, лесные, степные) и арктических условиях с применением маркера – фрагмент гена 16S рРНК и AFLP-анализа.

В задачи исследования входило: введение в культуру штаммов ностока из разных регионов; описание морфологических признаков макроколоний и микроскопического строения талломов (размер клеток, гетероцит); проведение молекулярно-генетического анализа с проведением 16S рРНК и AFLP-анализа.

Пробы были собраны в течение 2000-2013 гг. на Полярном и Приполярном Урале (район хребта Пай-Хой, гора Константинов Камень, у озер Есто-то, Балбанты, гора Баркова), архипелаге Шпицберген (у оз. Линне), Северном Кавказе (Гагрский хребет), в Забайкалье (окрестности с. Кыра) сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН, авторами, а также получены из ботанических коллекции других институтов. Для выделения штаммов *Nostoc commune* использовали селективную питательную среду для цианобактерий Bg11. Культивирование водорослей проводили синхронно, при одинаковых условиях, при температуре 22 °С, с использованием флуороламп с выделенным спектром для интенсификации фотосинтеза с длительностью дня и ночи по 12 ч. Среди морфологических показателей были изучены размеры, форма и цвет

колоний. Клетки и гетероцит изучали под микроскопом, измерения проводили с помощью окуляр-микрометра. Морфологические исследования осуществлены с использованием микроскопа Nikon Eclipse 80i (Япония) при увеличении в 1 тыс. раз с применением масляной иммерсии. Для каждого штамма проводили по 200 измерений клеток и гетероцит в нескольких полях зрения.

Тотальная ДНК цианобактерий - анализа выделялась с помощью набора «FastDNA Spin Kit» (QBioGene, Canada) согласно инструкциям производителя. Выделенную ДНК хранили при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для амплификации фрагмента последовательности гена 16S использовали праймеры CYA781R (gactactgggg-tatctaattccatt) и CYA106L (cggacgggtgagtaacgcgtga). Амплификацию проводили в термоциклере Swift MiniPro («ESCO», Сингапур) по следующей схеме: предварительная денатурация – 5 мин. при  $95^{\circ}\text{C}$ ; 35 циклов: денатурация – 30 сек. при  $94^{\circ}\text{C}$ , отжиг – 30 сек. при  $57^{\circ}\text{C}$ , элонгация – 40 сек. при  $72^{\circ}\text{C}$  и финальная элонгация – 2 мин. при  $72^{\circ}\text{C}$ . Продукты реакции амплификации разделяли методом электрофореза в 1.3%-ном агарозном геле в 1x трисацетатном буферном растворе, окрашивали бромистым этидием, для визуализации применяли трансиллюминатор UVT-1 («Биоком», Москва). В качестве маркера длины фрагментов ДНК использовали 100 bp Ladder DNA marker (100 bp-3000 bp) («Thermo Scientific», ЕС). Для очистки полученного продукта использовали набор QIAquick Gel Extraction Kit (Qiagen, Германия). Количество выделенной ДНК и ПЦР-продукта определяли на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама» (ООО «Льюмэкс», Россия). Секвенирование проводилось с помощью набора реагентов ABI Prism BigDye Terminator v. 1.1 на приборе ABI PRISM 310 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, США), выравнивание последовательностей и последующий анализ – при помощи программы MEGA 5.0. Для построения филогенетических деревьев был применен метод объединения ближайших соседей (NJ).

AFLP фингерпринтинг проводился с использованием рестриктаз EcoRI и MseI, вместе с последовательностями адаптеров EcoRI и MseI в течение 2 ч. После чего проводили преселективную амплификацию. Для выбора подходящих комбинаций праймеров были протестированы 11 пар праймеров. Для дальнейшего анализа выбраны семь следующих комбинаций: EcoRI-ACG/MseI-CTA, EcoRI-ACG/MseI-CTT, EcoRI-AGG/MseI-CTA, EcoRI-AGG/MseI-CTT, EcoRI-AGC/MseI-CTA, EcoRI-AGC/MseI-CTT и EcoRI-ACA/MseI-CAA. Данные анализировались на ABI310 ДНК-секвенаторе (Applied Biosystems). Полученные хроматограммы обработаны с использованием внутреннего стандарта в программе GeneMapper

4.0 (Applied Biosystems). Дальнейшая обработка данных проводилась в программной среде R (Шипунов и др., 2012) и программе Structure v.2.3.4.

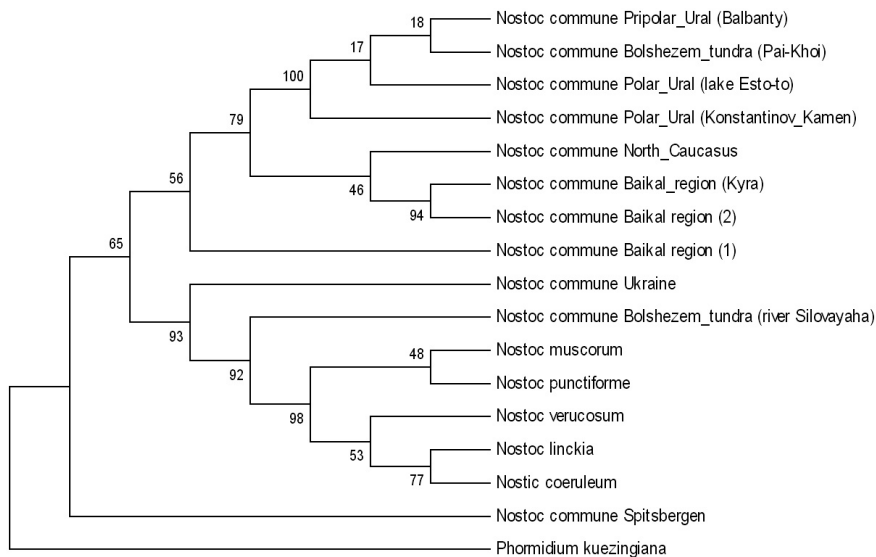
Все исследованные популяции ностока по морфологическим показателям и макроскопическим талломам были идентифицированы авторами как *Nostoc commune*. Проведенные исследования показали, что изученные популяции из разных регионов имели незначительные морфологические отличия по форме колоний, окраске и размеру, размерам клеток и гетероцит, связанные с условиями обитания вида и степенью увлажненности местообитания. Самые мелкие колонии (до 3 см в диаметре), клетки и гетероциты были отмечены на архипелаге Шпицберген и Северном Кавказе, самые крупные колонии (до 20-30 см в диаметре) и крупные клетки на Полярном Урале, также большие клетки обнаружены у видов, собранных на Приполярном Урале, в гетероциты – также на Приполярном Урале и в Забайкалье. Мелкие размеры колоний, клеток и гетероцит на архипелаге Шпицберген связаны с экстремальностью условий обитания. Это самый северный регион среди всех исследованных, с самым коротким вегетационным периодом. Для Шпицбергена характерно холодное лето, при котором температура не превышает +11 °С (Атлас Арктики, 1985), что, несомненно, сказывается на росте колонии ностока в природной популяции. На Полярном Урале максимальные размеры связаны с тем, что колонии были собраны на выходах карбонатных пород, так как носток является кальцефилом, то данное местообитание – одно из самых благоприятных для его произрастания. Небольшие размеры были характерны для колоний ностока, собранного на Северном Кавказе, здесь лимитирующим фактором развития колонии является дефицит влаги (Базова, Хайлов, 1982). При этом четкой зависимости изменения размеров гетероцит и клеток ностока в широтном градиенте не обнаружено, однако в более суровых местообитаниях (очень низкие температуры и недостаток увлажнения) клетки и гетероциты меньше.

Для выявления генетического разнообразия в исследовании получены последовательности фрагмента гена 16S рРНК цианобактерий, принадлежащих представителям родов *Nostoc* (шесть видов, включая *Nostoc commune*), длиной 620 п.н. Изученные образцы из разных регионов обнаруживают высокое сходство исследуемого генетического материала. Рядом авторов ранее также отмечено, что образцы этого вида из разных регионов мира не показали разнородности генетического материала, который отличался гораздо чаще не по географическому, а по экологическому принципу (Wright et al., 2001; Novis, Smissen, 2006; Rehakova et al.,

2007; Arima et al., 2012). На филогенетическом древе (см. рисунок) можно выделить клады, объединяющие ностоки из разных регионов. В отдельную кладу входят образцы разных популяций *Nostoc commune*, собранных в горно-тундровых районах европейского севера (Приполярный и Полярный Урал, Пай-Хой). Во второй кладе с хорошей поддержкой (коэффициент бутстрепа составил 73) – популяции более южных горных и лесостепных регионов (Северный Кавказ, Забайкалье).

Популяции *Nostoc commune* из Большеземельской тундры относительно первых двух групп расположены обособленно и примыкают к кладе с пятью другими видами рода *Nostoc* (*Nostoc linckia*, *Nostoc muscorum*, *Nostoc punctiforme*, *Nostoc coeruleum*, *Nostoc verucosum*), с которыми они связаны парафилетическими отношениями. Генетически наиболее удалена популяция *Nostoc commune*, собранная на архипелаге Шпицберген. Она выделяется на древе в качестве сестринской группы, что связано, скорее всего, с влиянием на популяцию ностока исторически длительной островной изоляции этой территории.

Для детального исследования внутривидовых различий *Nostoc commune* был проведен AFLP-анализ семи популяций. В анализе использовали семь пар селективных праймеров EcoRI/MseI, по ко-



Филогенетическое древо, построенное на основе последовательности гена 16 S рНК для популяций *Nostoc commune* по нашим данным и данным GenBank.

торым и генотипировали изучаемые популяции *Nostoc commune*. В программе Structure v.2.3.4 анализ для K от 2 до 7 был проведен с 100 тыс. итераций при выжигании (burning period) в 10 тыс. итераций, для каждого K анализ повторен 20 раз. Анализ данных не позволил определить число популяций, однако популяция с архипелага Шпицберген все-таки отделилась от основной группы, что совпадает с данными анализа 16 sPНК.

Проведенные исследования показали, что изученные популяции из разных регионов имели незначительные морфологические отличия по форме колоний, окраске и размеру, размерам клеток и гетероцит, связанные с условиями обитания вида и степенью увлажненности местообитания, но не имеющие четкого широтного градиента, хотя в местообитаниях с более суровыми условиями (недостаток увлажнения, очень низкие температуры и короткое лето) размеры талломов, клеток и гетероцит меньше. Проведенные исследования указывают на существование незначительного генетического разнообразия в популяциях *Nostoc commune*, обитающих в разных географических зонах. Для выявления популяционной изменчивости необходимы дополнительные исследования с привлечением других генетических маркеров.

Результаты получены при поддержке гранта РФФИ № 10-04-01446, а также программы Фундаментальных исследований УрО РАН проект № 12-С-4-1002.

#### ЛИТЕРАТУРА

Атлас Арктики. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1985. 204 с.

Базова Г.А., Хайлоев С.О. О биомассе и продуктивности почвенных водорослей горных пустынь Западного Памира // Экология. 1982. № 4. С. 90-92.

Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А. и др. Наглядная статистика. Используем R! М.: ДМК Пресс, 2012. 298 с.

Arima H., Horiguchi N., Takaichi S. et al. **Molecular genetic and chemotaxonomic characterization of the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune* and its neighboring species**// Microbiol. Ecol. 2012. Vol. 79. P. 34-45.

Novis P. M., Smissen R. D. Two genetic and ecological groups of *Nostoc commune* in Victoria Land, Antarctica, revealed by AFLP analysis // Antarctic Science. 2006. Vol. 18. № 4. P. 573-581.

Reháková K., Johansen J. R., Casamatta D. A. et al. Morphological and molecular characterization of selected desert soil cyanobacteria: three species new to science including *Mojavia pulchra* gen. et sp. Nov // Phycologia. 2007. Vol. 46. P. 481-502.

Wright D., Prickett T., Helm R. F., Potts M. Form species *Nostoc commune* (Cyanobacteria) // Intern. J. of Syst. and Evol. Microbiol. 2001. Vol. 51. P. 1839-1852.



## РОСТ РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА ИЗБЫТОЧНО-УВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

Е.А. Пинаевская

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

E-mail: [aviatorov8@mail.ru](mailto:aviatorov8@mail.ru)

Радиальный годичный прирост древесных видов зависит не только от внешних факторов, но и обусловлен наследственными свойствами (Битвинскас, 1974). Деревья разных форм имеют генетические различия, которые в той или иной степени оказывают влияние на изменчивость радиального прироста. Внутрипопуляционные различия сосны (*Pinus sylvestris* L.) на европейском Севере изучены слабо. Выделяется ряд различных разновидностей и форм, в том числе и морфологических. В работах по внутривидовой изменчивости и систематике сосны обыкновенной часто выделяют морфологическую форму по типу апофиза семенных чешуй шишек. Также известно явление полового диморфизма у сосны и выделение по половому типу.

Исследования проводили в низкопродуктивных (Va класс бонитета), низкополнотных (0.4-0.5) и чистых по составу древостоях сосняков кустарничково-сфагновых, произрастающих на болотных верховых почвах устья Северной Двины (северная тайга), на постоянных пробных площадях. На пробных площадях выделяли по 25 деревьев сосны определенной формы по типу апофиза семенных чешуй шишек: *f. gibba* (выпуклые) и *f. plana* (плоские) (Правдин, 1964; Видякин, 1995) и половому типу: женский и смешанный (Тихонова, 2007). Отбор ядер древесины ствола деревьев производили на высоте 1.3 м. Исходными данными для дендрохронологического анализа радиального прироста различных форм и половых типов сосны послужили средние значения прироста, рассчитанные по измерениям ширины годичных слоев в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Измерения ширины годичных слоев проводили методом световой микроскопии с точностью  $\pm 0.05$  мм. Методом пятилетнего скользящего сглаживания рассчитали относительные индексы прироста.

Среднее значение годичного радиального прироста сосны для морфологической формы с плоским типом апофиза семенных чешуй ниже, чем у морфологической формы с выпуклым типом апофиза. Для женского полового типа значение годичного прироста ниже, чем для смешанного полового типа. Эти различия достоверны по *t*-критерию Стьюдента на 1%-ном уровне значимости для разных морфологических форм и половых типов (см. таблицу).



## Изменчивость годовичного прироста разных форм и половых типов сосны

Морфологическая форма, половой тип	Средние значения показателей			
	Значения годовичного прироста в мм: в числителе – среднее ( $M \pm m$ ), в знаменателе – min-max	Критерий Стьюдента ( $t$ )	Коэффициент изменчивости радиального прироста (CV), %	Уровни изменчивости прироста
Выпуклый тип апофиза	$1.31 \pm 0.079$ 0.41 – 2.31	3.64*	46.7	Высокий
Плоский тип апофиза	$0.91 \pm 0.078$ 0.26 – 2.36		55.7	Очень высокий
Женский половой тип	$0.67 \pm 0.040$ 0.17 – 1.55	3.09*	48.7	Высокий
Смешанный половой тип	$1.01 \pm 0.104$ 0.27 – 4.70		61.5	Очень высокий

*Примечание:*  $M \pm m$  – среднее арифметическое значение с ошибкой.

\* Различия достоверны на 1%-ном уровне значимости ( $t_{0,01} = 2.8$ ).

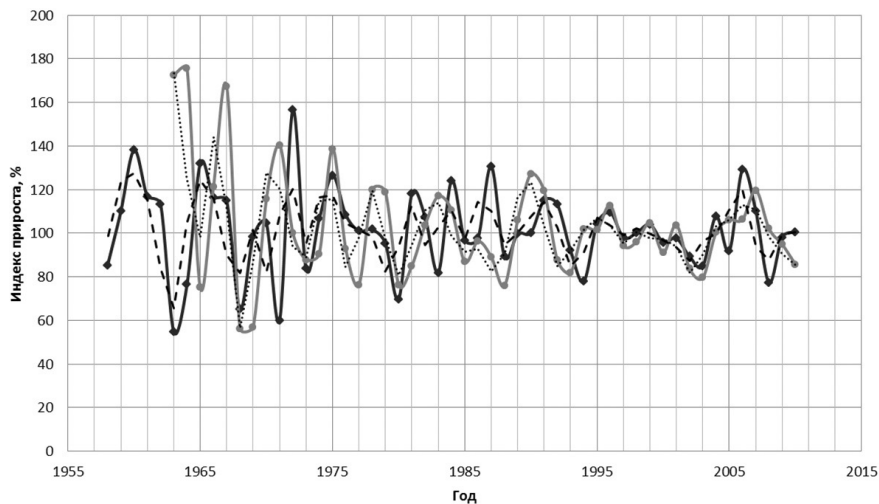
При анализе динамики ширины годовичных колец сосны выявлено несколько типов возрастных кривых годовичного прироста. Для большинства деревьев различных морфологических форм и половых типов динамика годовичного прироста характеризуется выраженными кривыми, когда величина радиального прироста увеличивается с возрастом. Для меньшего количества деревьев выявлены равномерные кривые и кривые «большого роста», когда прирост максимален в молодом возрасте. Хвойные деревья северо-восточной подзоны лесов европейского Севера и Полярного Урала отличаются отсутствием четко выраженной кривой «большого роста» в многолетней динамике их годовичного прироста (Шиятов, 1967; Феклистов, 1978), что и нашло подтверждение в наших исследованиях.

Для деревьев каждой формы установлены значения коэффициентов вариации и уровень изменчивости радиального прироста. По коэффициенту изменчивости форма с плоским типом апофиза превосходит форму с выпуклым типом. Для смешанного полового типа коэффициент изменчивости показал более высокие значения, чем для женского полового типа. Уровни изменчивости прироста деревьев разных морфологических форм и половых типов находятся, согласно С.А. Мамаеву (1970), в пределах высокого и очень высокого уровней.

Анализ характера колебаний индексов прироста для разных форм и половых типов сосны показал, что среднее значение колеблется в пределах 101.5-103.2%. Для женского полового типа минимальное значение характерно для 1957 г. и составляет 55.6%,

а максимальное значение приходится на 1929 г. – 313.7%, дисперсия при этом составила 789.6%. Для смешанного полового типа минимум – 66.6% (2003 г.), максимум – 215.5% (1919 г.), дисперсия при этом равна 310.7% и показывала более низкие значения по сравнению с женским половым типом. У формы с выпуклым и плоским типами апофиза наблюдались схожие значения индексов прироста, но различались по величине дисперсии. Сосна с плоским типом апофиза имеет более высокие значения дисперсии, чем с выпуклым типом апофиза и составляет 644%. В целом, амплитуда индексов прироста разных форм высокая, и в колебаниях индексов прироста определяется сходное распределение. Значение периодов колебаний позволяет говорить о плавном характере кривой (см. рисунок).

Итак, рост различных форм и половых типов сосны на избыточно-увлажненных почвах в устье Северной Двины оценен по основным показателям радиального прироста ствола. При изучении динамики ширины годовичных колец у деревьев сосны выявлено несколько типов возрастных кривых роста в сосняках кустарничково-сфагновых. У деревьев сосны с выпуклым типом апофиза уста-



Изменчивость индексов прироста разных морфологических форм:

————— — выпуклый тип апофиза семенных чешуй шишек;

————— — плоский тип апофиза семенных чешуй шишек;

————— — сглаживание значений линейной фильтрацией по двум точкам (выпуклый тип апофиза);

..... — сглаживание значений линейной фильтрацией по двум точкам (плоский тип апофиза).

новлены более высокие средние значения по сравнению с деревьями с плоским типом апофиза. Средняя величина годичного прироста сосны женского полового типа ниже, чем у деревьев смешанного полового типа. Оценка по *t*-критерию Стьюдента показала достоверные различия у морфологических форм, выделенных по типу апофиза семенных чешуй шишек и разных половых типов. Изменчивость годичного прироста сосны разных форм и половых типов характеризуется высоким и очень высоким уровнями. При этом в колебаниях индексов прироста выделяется сходное распределение, и выявлены кривые с плавным характером.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Битвинская Т.Т.* Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 172 с.

*Видякин А.И.* Изменчивость формы апофизов шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части России // Экология. 1995. № 5. С. 356-362.

*Мамаев С.А.* Уровни изменчивости анатомо-морфологических признаков сосны // Ботанические исследования на Урале. Свердловск, 1970. Вып. 5. С. 58-67.

*Правдин Л.Ф.* Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 172 с.

*Тихонова И.В.* Изменчивость годичных колец у разных половых типов деревьев сосны обыкновенной на юге Средней Сибири // Лесоведение. 2007. № 3. С. 40-45.

*Феклистов П.А.* Дендроклиматологический анализ прироста сосны и ели в северной подзоне тайги Архангельской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту, 1978. 19 с.

*Шиятов С.Г.* О некоторых особенностях роста древесных растений на верхнем и полярном пределах лесов // Вопросы древесного прироста в лесоустройстве. Каунас, 1967. С. 107-111.

### МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. В ПОПУЛЯЦИЯХ В РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛАНДШАФТА В ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

**Н.А. Семенова**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [semenova@ib.komisc.ru](mailto:semenova@ib.komisc.ru)

Лишайник *Lobaria pulmonaria* имеет широкое распространение в Европе, Азии, Африке и Северной Америке. Однако его численность во многих странах Западной Европы, а также в европей-

ской части России сокращается. Вид имеет сравнительно узкую экологическую приуроченность. Произрастает главным образом в районах с влажным климатом (Scheidegger, 1998).

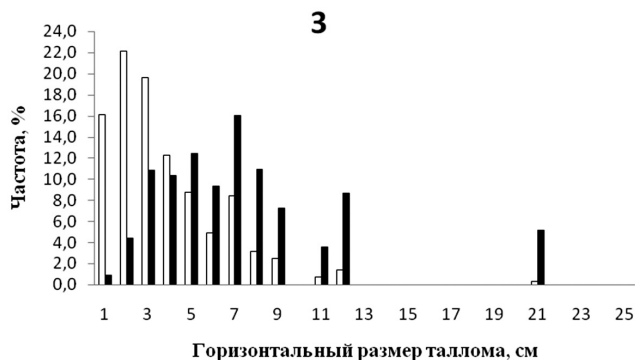
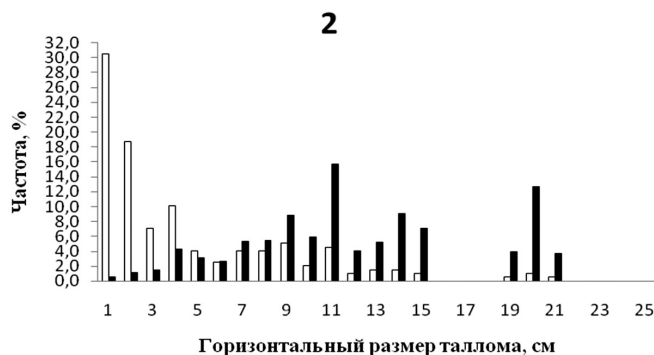
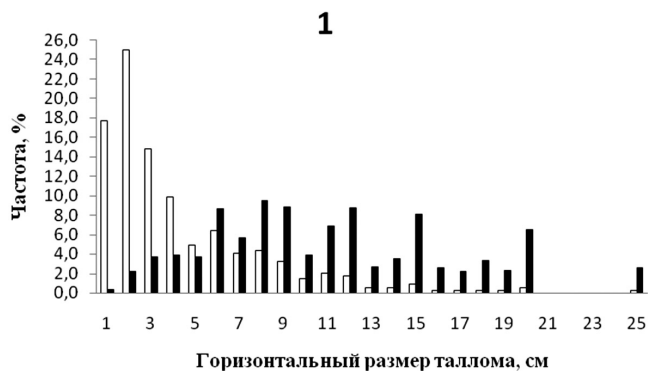
В Республике Коми *L. pulmonaria* – широко распространенный вид. Основными местообитаниями лишайника являются старовозрастные леса, характеризующиеся определенными микроклиматическими условиями. Особенно интересно изучение морфологических особенностей особей в популяциях лишайника, произрастающих в различных местообитаниях.

Исследования проводили в 2004-2005 гг. в Печоро-Ильчском заповеднике, в предгорной части (окрестности кордона Шежем). Был заложен профиль, состоящий из пяти пробных площадей (ПП) размером 50×30 м в основных элементах ландшафта, в наиболее типичных местообитаниях. Профиль заложен по катене от поймы р. Печора до коренного берега. Пробные площади располагались в пойме р. Печора в ивняке крупнотравном (1 ПП), на надпойменной террасе в пойменном ельнике чернично-зеленомошном (1 ПП) и в заболоченном ельнике сфагновом (1 ПП), на коренном берегу в елово-пихтовом лесу чернично-крупнопоротниковом (2 ПП).

Для изучения морфологических особенностей лишайника *L. pulmonaria* на каждой ПП проводили подсчет всех деревьев с лишайником. Всего обследовано 826 талломов лобарии на 11 деревьях (пять берез, четыре ивы, одна рябина и одна ель). На стволе от основания до 2 м высоты фиксировали все особи размером 5 мм и более, измеряли горизонтальный и вертикальный размеры их талломов. Затем все талломы собирали и в лабораторных условиях с использованием палетки с размерами ячеек 1.0×1.0 и 0.1×0.1 см измеряли площадь таллома, хлорозов, некрозов, соралий, изидий и лобулей, подсчитывали число апотециев, определяли онтогенетическое состояние в соответствии с разработанной нами классификацией (Семенова, 2005).

В обследованных популяциях преобладают талломы размером до 4 см. Таллом с максимальным горизонтальным размером 24.5 см отмечен в пойме р. Печора. Наибольшее число талломов размером 20 см и более зафиксировано в популяциях, произрастающих на надпойменной террасе. Максимальный вклад в продуктивность в популяции, произрастающей в пойме р. Печора, вносят талломы с размерами 8-9 см, на надпойменной террасе – 11 см, на коренном берегу – 7 см (см. рисунок).

Морфологическая структура *L. pulmonaria* изучена на 826 талломах лишайника. Наибольшей площадью таллома характеризуются лишайники, произрастающие на надпойменной террасе (см.



Частотное распределение талломов *L. pulmonaria* по горизонтальному размеру в различных элементах ландшафта в окрестностях кордона Шежим (Печоро-Ильчский заповедник): 1 – пойма р. Печора, 2 – надпойменная терраса, 3 – коренной берег: светлые столбики – в % от общего числа талломов, темные столбики – в % от вклада слоевищ в суммарную площадь талломов в пределах популяции.

**Средние арифметические значения параметров талломов *L. pulmonaria*  
разных онтогенетических состояний**

Онтогенетическое состояние	j	im1	im2	v1	v2a	v2b	v2c	g	ss	s
Пойма р. Печора										
Горизонтальный размер, см	0.64	0.86	1.46	3.42	2.43	4.95	4.83	14.54	6.72	11.3
Площадь таллома, см <sup>2</sup>	0.17	0.41	1.15	9.23	3.30	17.60	17.25	115.3	34.95	74.27
Число апотециев, шт.	0	0	0	0	0	0	0	5	0.68	0.2
Относительная площадь, см <sup>2</sup> хлорозов	1.37	1.07	2.43	1.05	4.84	3.41	4.47	1.63	7.15	2.73
некрозов	0.42	0.26	0.47	0.81	0.08	1.99	1.42	1.20	9.02	9.18
соралий	0	0	0	0	0.57	1.31	2.75	1.89	2.76	1.67
изидий	0	0	0	0	0	1.19	1.30	1.04	2.12	1.22
лобулей	0	0	0	0	0	0	2.39	0.14	0.26	0.05
Надпойменная терраса										
Горизонтальный размер, см	0.63	0.78	1.31	2.75	4.09	6.12	8.5	11.47	10.55	9.16
Площадь таллома, см <sup>2</sup>	0.2	0.36	1.11	4	9.45	30.05	43.8	96.93	69.69	67.62
Число апотециев, шт.	0	0	0	0	0	0	0	2.86	0.67	0.92
Относительная площадь, см <sup>2</sup> хлорозов	0	7.52	6.72	2.44	4.67	5.59	2.34	8.26	2.88	3.13
некрозов	0	0.73	2.83	3.01	2.80	7.68	4.13	0.77	4.98	4.96
соралий	0	0	0	0	1.61	1.82	1.23	2.16	3.16	3.93
изидий	0	0	0	0	0	1.78	3.49	1.76	3.25	4.17
лобулей	0	0	0	0	0	0	6.34	0.02	0.98	1.04
Коренной берег										
Горизонтальный размер, см	1.7	0.81	1.49	1.8	1.69	3.41	3.67	9	4.87	4.97
Площадь таллома, см <sup>2</sup>	0.17	0.26	0.86	2.5	1.53	7.77	6.95	38.5	16.98	21.83
Число апотециев, шт.	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0.02	0.04
Относительная площадь, см <sup>2</sup> хлорозов	0	16.67	11.45	2	20.09	6.07	7.38	0.78	13.82	15.26
некрозов	0	8.67	22.20	60	6.08	8.16	3.68	6.69	16.91	33.75
соралий	0	0	0.02	0	6.56	4.74	2.63	6.08	5.29	4.63
изидий	0	0	0	0	0	4.06	3.21	7.40	3.29	3.67
лобулей	0	0	0	0	0	0	1.67	0	0.15	0.07

*Примечание:* j – ювенильное; im1 – имматурное 1; im2 – имматурное 2; v1 – виргинильное 1; v2a – виргинильное 2a; v2b – виргинильное 2b; v2c – виргинильное 2c; g – генеративное; ss – субсенильное; s – сенильное.

таблицу). Наиболее пораженные талломы хлорозами и некрозами, почти всех онтогенетических состояний, в популяции, произрастающей на коренном берегу. Вероятно, это объясняется более затененными и менее увлажненными условиями произрастания по сравнению с другими местообитаниями. Наибольшие значения площади соралий и изидий выявлены на талломах в популяции на коренном берегу, наименьшие – в пойме. Известно, что в сильно и постоянно влажных местообитаниях продукция соредий и изидий уменьшается (des Abbayes, 1951, цит. по: Окснер, 1974). Лобули

встречаются редко и произрастают они на поврежденных разорванных участках таллома. Наибольшее значение площади лобулей отмечено на талломах в популяции в пойме р. Печора. Возможно, это связано с повреждениями талломов во время ледохода на реке.

Таким образом, анализ размерной структуры и морфологического строения талломов популяций лобарии легочной, произрастающих в Печоро-Ильчском заповеднике, свидетельствует о том, что лишайники в лесных сообществах на надпойменной террасе крупнее и имеют среднюю продуктивность вегетативных органов размножения по сравнению с популяциями в пойме и на коренном берегу. Лишайники в популяции, произрастающей на коренном берегу, характеризуются низким виталитетом, а также максимальной продуктивностью вегетативных органов размножения. В популяции, произрастающей в пойме р. Печора, талломы *L. pulmonaria* имеют средние размеры, минимальную продуктивность соредий и изидий.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 12-04-00554).

#### ЛИТЕРАТУРА

Семенова Н.А. Критерии для выделения онтогенетических состояний лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Th. Fr. // Тезисы докладов XII молодежной научной конференции Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2005. С. 212-213.

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

Scheidegger C., Frey B., Walser J.-C. Reintroduction and augmentation of population of the endangered *Lobaria pulmonaria*: method and concepts // Lobarion lichens as indicators of the primeval forests of the Eastern Carpathians (Darwin International Workshop: honored to the 100-years anniversary of a famous Ukrainian lichenologist Professor Alfred M. Oxner (1898-1973), 25-30 May 1998, Kostrino, Ukraine). Kiev, 1998. P. 33-52.

## ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) В ЦЕНТРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

М.Н. Стаменов, С.В. Москаленко

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

E-mail: mslv-eiksb@inbox.ru

Дуб черешчатый является зональным эдификатором широколиственных лесов. В последние столетия площадь дубрав сокращается – вероятно, в первую очередь в результате действия ан-

тропогенных факторов. Вместе с тем, по мере становления гэл-парадигмы и циклично-мозаической концепции развития экосистем изменялись взгляды на биологию и экологию дуба – от вида теневых широколиственных лесов к виду, связанному с мозаикой сообществ, находящихся на разных сукцессионных стадиях с обязательным наличием экотонных сообществ (Восточноевропейские..., 1994; Оценка и сохранение..., 2000). Для разработки комплекса мер по устойчивому поддержанию популяций дуба на региональном уровне необходимы: инвентаризация сообществ с популяциями дуба и изучение его популяционной структуры в сообществах на разных стадиях сукцессии. В Европе мониторинг состояния дубрав является приоритетным направлением исследований. В России изучение популяционной структуры дуба в большей степени ведется в окраинных частях ареала (Дятлов, 2007), поэтому необходим более широкий размах популяционных исследований в центральных частях ареала.

Работы проводили в Серпуховском районе Московской области и заповеднике «Калужские Засеки». Изучали онтогенетическую и пространственную структуру популяций.

Объекты исследования в Московской области:

1. Фрагменты средне- и старовозрастных моно- и олигодоминантных широколиственных лесов разной степени нарушенности на серых лесных, дерновых средне- и сильноподзолистых и дерново-подзолистых почвах.

2. Мелколиственно-хвойные и мелколиственные, в том числе с примесью липы, участки леса с развитым подлеском разной степени сомкнутости на серых лесных и дерновых средне- и сильноподзолистых почвах.

3. Сосняки сложные с боровыми элементами в травяном покрове, сосняки со слабо развитым подлеском с боровыми элементами и зелеными мхами в травяном покрове на дерново-подзолистых слабogleеватых почвах на супесях и песках.

4. Зарастающие суходольные на дерновых средне- и сильноподзолистых почвах.

Объекты исследования в заповеднике «Калужские Засеки» и его охранной зоне, сообщества приурочены к дерново-подзолистым почвам на суглинках:

1. Березняки неморальнотравные и разнотравные на залежах. Плотность подроста широколиственных видов уменьшается от границы полидоминантного старовозрастного широколиственного леса к центральной зоне березняка.

2. Березняки и березовые редколесья разнотравные на выгонах.



3. Зарастающие суходольные луга с подростом дуба и других широколиственных видов.

В большинстве исследованных участков широколиственного леса онтогенетический спектр популяций регрессивный. В сомкнутых и разреженных дубняках с возрастом древостоя до 100 лет и более обнаружены средние и старшие генеративные особи (по 80 шт./га в каждой группе в сомкнутых дубняках и по 8-10 – в разреженных). В сомкнутых, кроме того, обильны обреченные на гибель проростки и ювенильные особи (200 шт./га). В олигодоминантных лесах (дубо-кленовник, ясене-дубняк, возраст древостоя – 50-70 лет) выявлены только младшие и средние генеративные особи (35-40 шт./га). В липняках с примесью дуба (возраст древостоя – свыше 100 лет) при наличии таких элементов ветровальной мозаики, как большие окна от вывалов нескольких близко стоящих деревьев дуба, в прорывах полога величиной 20×30 м обнаружен подрост дуба всех прегенеративных групп численностью 20-25 особей в пределах прорыва, при этом младшие имматурные особи преобладают (10-15 шт. на окно).

В березняках с примесью сосны и осины в первом ярусе, липой – во втором, подлеском средней сомкнутости и неморальных травяным покровом отмечены отдельные младшие генеративные деревья дуба во втором ярусе возрастом 50-55 лет и удаленные от них группы старших генеративных деревьев возрастом до 100 лет. Численность особей в каждой онтогенетической группе ниже 1 шт./га.

В сосняках с примесью липы и дуба во втором ярусе, подлеском средней сомкнутости из лещины и бересклета и борowymi элементами в травяном покрове представлены имматурные, виргинильные и младшая генеративная группы с примерно равным соотношением особей (15-20 шт./га в каждой онтогенетической группе), пространственная структура, промежуточная между случайной и равномерной.

В сосняках без второго яруса со слабо развитым подлеском и мозаичным травяным покровом (зеленые мхи, вереск и боровые элементы) выявлены такие же онтогенетические группы, как и в сосняках сложных, но соотношение численности младших и старших имматурных особей различается в зависимости от доминантов травяного покрова. Так, при преобладании в травяном покрове вереска и представителей боровой ЭЦГ с небольшими пятнами зеленого мха численность младших имматурных особей составляет около 20 шт./га, а старших имматурных – 50-70 и более шт./га. При плотном покрытии почвы зелеными мхами соотношение младших и старших имматурных особей обратное, старшие

имматурные особи произрастают на хорошо дренируемых участках. В обоих типах леса виргинильные и младшие генеративные особи единичны, не более 10 шт./га в каждой группе.

В сосняках без второго яруса со слабо развитым подлеском и лугово-разнотравным травяным покровом, подверженных действию низовых пожаров и рекреационных нагрузок, выявлены инвазионные популяции: младшие имматурные особи – до 50 шт./га, старшие имматурные особи – 10 шт./га.

В некоторых осино-березняках с подлеском средней сомкнутости и неморальными элементами в травяном покрове также выявлены инвазионные популяции с высокой численностью особей, шт./га: младших имматурных – 180, старших имматурных – 80, младших виргинильных – 20.

Во всех рассмотренных типах сообществ все онтогенетические группы популяции расположены в пределах одного ценоза и в некоторых случаях отличаются различной парцеллярной приуроченностью. Успешное возобновление дуба возможно только в светлых мелколиственных, хвойно-мелколиственных и сосновых лесах, достижение генеративного состояния – только в сосновых лесах различной истории и строения. Однако наибольший набор онтогенетических групп, включая старшую генеративную и субсенильную, выявлен в топически целостных популяциях, приуроченных к соседствующим сообществам в пределах ландшафта. Рассмотрим варианты таких популяций.

Старшие генеративные особи расположены в участках сосново-березового леса с плотным подлеском из лещины, подрост – на внутрилесных луговых полянах размером 10×20 м, представлен младшими имматурными особями (10-15 шт.) и единичными старшими имматурными и младшими виргинильными особями.

Старшие генеративные особи расположены на вырубках у границы леса, прегенеративные образуют локусы с большой плотностью преимущественно имматурных особей в березняках с примесью липы осоковых со слабо развитым подлеском. Численность особей, шт./га: младшие имматурные – 280-300, старшие имматурные – 50, старшие генеративные – 25-30.

Средние и старшие генеративные особи расположены в разреженном березняке с сомкнутостью 0.2-0.3, прегенеративные – в сомкнутом осино-березняке со вторым ярусом и подлеском. Численность особей, шт./га: младшие имматурные – 30-35, старшие имматурные и младшие виргинильные – 20-25, старшие виргинильные и младшие генеративные – 15-20, средние генеративные – до пяти.

Старшие генеративные особи (возраст 80-100 лет) расположены на склонах оврагов в порослевых дубняках с примесью березы и осины и липой во втором ярусе и неморальным травяным покровом, численность старших генеративных особей – 20 шт./га. Отдельные младшие имматурные особи (3-4 шт./га) обнаружены на склонах. В разреженных лугово-разнотравных березняках, прилегающих к склонам оврагов, равномерно распределены младшие имматурные особи (20-25 шт./га) с единичными старшими имматурными особями (5-7 шт./га). На зарастающем суходольном лугу, граничащем с лесными сообществами, отмечена наибольшая численность подроста, шт./га: единичные ювенильные особи, младшие имматурные – 35-40, старшие имматурные – 10-12, младшие и старшие виргинильные – два-четыре, а также единичные младшие и средние генеративные особи. На зарастающем лугу отмечена «концентрическая» пространственная приуроченность имматурных особей: их плотность снижается по мере отдаления от средних генеративных деревьев.

В охранной зоне ГПЗ «Калужские Засеки» обнаружены участки олиго- и полидоминантного широколиственного леса с преобладанием средних и старших генеративных дубов (до 100 шт./га), соседствующие с зарастающими суходольными лугами, в краевой зоне которых насчитывается по 50-100 шт./га в каждой прегенеративной группе. В других случаях участки полидоминантного широколиственного леса граничат с заросшими 20-25-летним березняком залежами и выгонами, плотность подлеска убывает по мере приближения к центральным зонам залежей и выгонов. На заросших пашнях редко встречаются все онтогенетические группы прегенеративной фракции, наиболее высокая численность у проростков, ювенильных и имматурных особей, превосходящая на порядок численность подроста в сообществах Московской области (100-1000 шт./га), четкая приуроченность к зоне пашни и сопряженность с другими видами подроста не установлены. На выгонах чаще встречаются все онтогенетические группы прегенеративной фракции, численность во всех онтогенетических группах изменяется в сходном диапазоне (наиболее высокая – у проростков и ювенильных особей), четкая приуроченность к зоне выгона также не выявлена, установлена сопряженность дубового подроста имматурного и виргинильного состояний с подростом раннесукцессионных (береза, сосна, ива) и плодовых (яблоня) видов.

Таким образом, онтогенетически абсолютно полночленные популяции в исследуемом регионе не выявлены. В наиболее полночленных популяциях постгенеративные и генеративные группы, с одной стороны, и прегенеративные – с другой, образуют топически

непрерывную популяцию, расположены в различных по световому режиму соседствующих друг с другом сообществах, таких как тенивые леса, экотоны и зарастающие луга.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 12-04-01734.

#### ЛИТЕРАТУРА

Восточноевропейские широколиственные леса / Под. ред. О.В. Смирновой. М.: Наука, 1994. 364 с.

Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / Под. ред. Л.Б. Заугольной. М.: Научный мир, 2000. 196 с.

Дятлов В.В. Структура популяций дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в пойменных лесах подзон южной тайги и подтайги: на примере Костромской области: Дис. ... канд. биол. наук. Кострома, 2007. 243 с.

### РАЗНООБРАЗИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДРОСЛЕЙ ЭПИЛИТОНА В ГОРНЫХ ОЗЕРАХ БОЛЬШОЕ И МАЛОЕ БАЛБАНТЫ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

**И.Н. Стерлягова**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Перифитон – комплекс организмов, формирующихся на поверхности твердого субстрата, независимо от его происхождения (Комулайнен, 2004). Эпилитон – обрастания водорослей на каменистых субстратах, это одно из наиболее чувствительных и индикаторных сообществ в водных экосистемах. Однако в северных водоемах эта группа водорослей все еще остается малоизученной, особенно это касается горных озер Приполярного Урала.

Цель работы – изучение видового разнообразия и структуры сообществ водорослей эпилитона в двух горных озерах на Приполярном Урале. В задачи входило: выявить видовой состав водорослей эпилитона на трех станциях отбора проб, выделить доминирующие комплексы видов-обрастателей камней, провести эколого-географический анализ, а также количественный учет численности и биомассы водорослей эпилитона.

Сбор проб эпилитона проведен в июле 2005 г. в двух горных озерах Приполярного Урала – Большое и Малое Балбанты по общепринятой в альгологических исследованиях методике (Методика..., 1975). Для отбора количественных образцов выбирали камни

диаметром около 50 см, плоские, расположенные на глубине приблизительно 30 см. На каждой станции отбирали по пять количественных проб. Водоросли отделяли от субстрата с помощью зубной щетки и скальпеля и фиксировали 40%-ным раствором формальдегида. Подсчет клеток вели в камере Горяева в пяти повторностях. Водоросли из отдела *Bacillariophyta* определены в основном до рода. Количественные показатели (численность и биомасса) рассчитаны в MS Excel на единицу площади субстрата. Химический анализ проб воды выполнен в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Экоаналит».

Всего в исследованных озерах выявлено 70 видов водорослей с внутривидовыми таксонами из 44 родов, 34 семейств, 18 порядков, шести отделов – *Cyanoprokaryota*, *Xanthophyta*, *Rhodophyta*, *Chlorophyta*, *Streptophyta*, *Bacillariophyta*. В озерах видовой состав водорослей различается на разных станциях. Наибольшее число видов (44) зарегистрировано в оз. Малое Балбанты, что мы связываем в первую очередь с тем, что озеро более мелкое (макс. глубина 2 м) и более теплое, температура воды достигает 14-15 °C по сравнению с оз. Большое Балбанты (9-10 °C). Сходство видового состава исследованных озер по коэффициенту Сьеренсена-Чекановского составило 60%. Ведущими семействами по числу видов являются *Desmidiaceae*, *Nostocaceae*, *Selenastraceae*. Ведущими родами – *Cosmarium* и *Staurastrum*.

В связи с тем, что исследованные озера являются проточными, то видовой состав эпилимниона озер мало чем отличается от такового текучих водоемов. На камнях водоросли различных отделов могут образовывать несколько типов обрастаний. Цианопрокариоты (*Cyanoprokaryota*) формируют альгогруппировки с преобладанием одного или нескольких видов водорослей. Ностоковые – одни из самых широко известных для водоемов различных природно-климатических зон (Гецен, 1985). В исследованных озерах найден *Nostoc caeruleum* Lyngb. ex Born. & Flah., который образует макроскопические колонии на камнях. Толипотриксковые – также хорошо известны по характеру роста на камнях с образованием войлочных налетов. Главный представитель таких обрастаний в исследованных озерах Приполярного Урала – *Tolypothrix lanata* Wartmann ex Born. & Flah. Формидиумо-осцилляториевые сообщества образуют в реофильных условиях на камнях пленки и корки. В исследованных водоемах для такого рода альгогруппировок наиболее обычны *Phormidium tenue* Gom., *P. granulatum* (Gardn.) Anagn., *P. breve* (Kutz.) Anagn. et Kom. Важным компонентом среди цианопрокариот в составе эпилимниона является довольно разно-

образная флора вторичных эпифитов на водорослях из различных отделов. Из них в реофильных условиях хорошо развиваются на камнях *Chamaesiphon gracilis* Rabenh.

Желто-зеленые водоросли (Xanthophyta) формируют нитчатые обрастания с доминированием *Tribonema*. В эпилитоне исследованных водоемов обнаружено три вида этого рода – *Tribonema intermixtum* Pasch., *T. minus* (Wille) Hazen, *T. vulgare* Pasch.

Красные водоросли (Rhodophyta) преобладают в исследованных водоемах альгогруппировками с преобладанием *Lemanea* и *Audouinella*, которые специфичны для быстротекучих и горных водотоков. Виды *Lemanea fluviatilis* (Linn.) Ag., *Audouinella chalybaea* (Roth) Bory de Saint-Vincent Fries встречаются редко в проточных озерах.

Зеленые водоросли (Chlorophyta) в обрастаниях камней – это наиболее обычные виды для чистых текучих водоемов: нитчатая водоросль *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr.) Kutz. и колониальная зеленая водоросль *Tetraspora cylindrica* (Wahl.) Ag., которые встречаются в массе и являются доминантами сообществ эпилитона исследованных озер.

Одноклеточные водоросли из отдела Streptophyta (Charophyta) – постоянный компонент обрастаний камней. Для северных водоемов среди них наиболее характерны десмидиевые водоросли. В эпилитоне исследованных водоемов выявлено 17 видов десмидиевых водорослей. Наиболее часто встречаются *Closterium tumidulum* Gay., *Cosmarium impressulum* Efv., *C. punctulatum* Breb., *C. granatum* Breb. ex Ralfs, *Staurastrum orbiculare* Meneg. ex Ralfs. Остальные виды отмечены единично или редко.

Большинство видов, для которых были найдены сведения о географии и экологии, в результате эколого-географического анализа отнесены к планктонно-бентосным и бентосным формам, имеющим широкий ареал, индифферентным по отношению к солености и кислотности среды.

Количественные показатели развития эпилитона различаются как по озерам, так и по разным станциям в одном озере (рис. 1). В оз. Большое Балбанты численность водорослей эпилитона несколько выше, чем в оз. Малое Балбанты. В оз. Большое Балбанты количество клеток водорослей увеличивается по направлению от ст. 1 (345 тыс. кл/см<sup>2</sup>) к ст. 3 (431 тыс. кл/см<sup>2</sup>) (по течению), а в оз. Малое Балбанты оно достигает 216 тыс. кл/см<sup>2</sup>. Соотношение водорослей по отделам также несколько различается: в оз. Большое Балбанты на ст. 1 по численности преобладают зеленые водоросли (Chlorophyta), а на ст. 3 – цианопрокариоты и диатомеи.

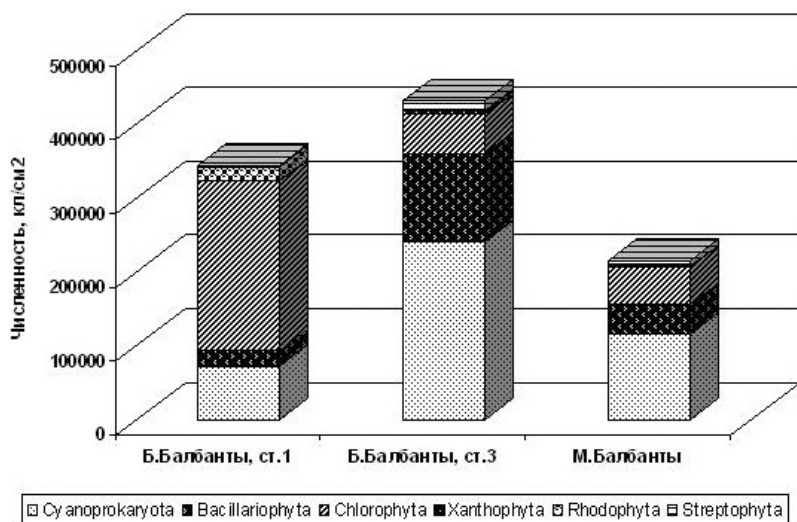


Рис. 1. Численность клеток водорослей эпилитона в исследованных озерах.

Биомасса водорослей эпилитона также увеличивается от ст. 1 (1460 мг/см<sup>2</sup>) к ст. 3 (3657 мг/см<sup>2</sup>) в оз. Большое Балбанты, а в оз. Малое Балбанты выше, чем на ст. 1 и ниже, чем на ст. 3 в оз. Большое Балбанты, и составляет 2203 мг/см<sup>2</sup> (рис. 2). Наибольший вклад в биомассу приносят диатомеи на всех пунктах отбора проб, на втором месте стоят водоросли из отделов Chlorophyta и Streptophyta, на третьем – цианопрокариоты, так как это в основном мелкоклеточные формы. Увеличение численности и биомассы водорослей эпилитона на ст. 3 связано, скорее всего, с легким поступлением органики за счет рекреационной нагрузки (вблизи проходит автомобильная дорога, останавливаются туристы, расположена база «Желанная», ведется добыча кварца штольным методом), а на оз. Малое Балбанты – это стойбище оленеводов и туристические тропы.

Исследованные озера по гидрохимическим показателям относятся к категории олиготрофных. Гидрохимические параметры в момент отбора проб были в пределах: рН 6.35-6.66; температура воды – 10-15 °С; содержание O<sub>2</sub> – 2.08-3.67 мг/л, электропроводность – 10.2-21.8 мкС/см. Данные гидрохимического анализа по содержанию органических веществ в водной среде показывают, что такие показатели, как цветность воды, содержание общего и минерального фосфора и азота возрастают от ст. 1 к ст. 3, а в оз. Малое Балбанты немного ниже, чем в оз. Большое Балбанты,



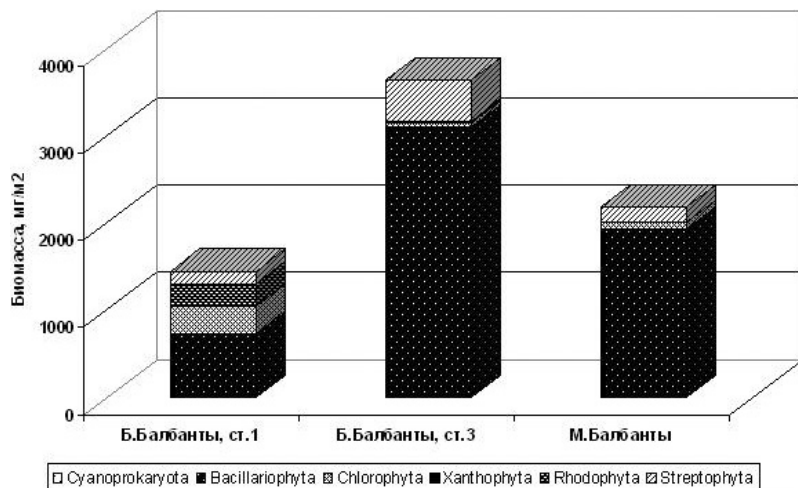


Рис. 2. Биомасса водорослей эпилимниона в исследованных озерах.

но примерно одинаково со ст. 1, но не превышают значений, характерных для северных водоемов. Индексы сапробности, рассчитанные для озер Большое и Малое Балбанты были 1,51 и 1,18 соответственно, что соответствует олиго-бета-мезосапробной зоне самоочищения. Воды исследованных озер относятся ко II классу качества (чистые).

Таким образом, в результате исследований в обследованных озерах выявлено относительно высокое разнообразие водорослей эпилимниона – 70 видов из шести отделов. Ведущими семействами по числу видов являются *Desmidiaceae*, *Nostocaceae*, *Selenastraceae*. Ведущими родами – *Cosmarium* и *Staurastrum*. Эколого-географический анализ показал преобладание в исследованных водоемах бентосных и планктонно-бентосных видов, имеющих широкое распространение, индифферентных по отношению к солёности и кислотности среды. Выделено несколько типов образований камней по видам-доминантам – ностоковый, толипотриксковый, формидиумо-осцилляториевый, трибонемовый, улотриксковый и тетраспоровый. Количественные показатели развития эпилимниона исследованных водоемов довольно высокие. Численность водорослей достигает максимальных значений до 431 тыс. кл./см<sup>2</sup>, а биомасса – до 3657 мг/см<sup>2</sup>. Основными группами по численности в эпилимнионе были *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* и *Cyanoprokaryota*, а по биомассе – только *Bacillariophyta*. Структура сообществ эпилимниона рассматриваемых озер типична для северных олиготрофных водоемов



с низкой минерализацией. Полученные сведения о разнообразии и структуре альгокомплексов могут считаться фоновыми.

Исследования выполнены при поддержке конкурсных программ научных исследований УрО РАН – проекты № 12-И-4-2007 и № 12-С-4-1002.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Гецен М.В.* Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л.: Наука, 1985. 165 с.

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

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 239 с.

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАСЕЙНА РЕКИ СИЛОВА-ЯХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АЛЬГОИНДИКАЦИИ

**Л.Н. Тикушева**

Сыктывкарский государственный университет

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

Разработка научных основ оценки качества вод и прогноз допустимой нагрузки на них необходимы для эффективного управления водными ресурсами, обеспечения их рационального использования и охраны. Реки и озера Большеземельской тундры, большая часть которых относится к категории ненарушенных с чистой водой, могут быть приняты за природные эталоны. Важным компонентом водных экосистем являются водоросли, многие из которых относятся к индикаторам состояния водной среды и используются для определения степени антропогенной нагрузки. Выбор района исследований обусловлен необходимостью комплексных экологических изысканий на данной территории в связи с созданием новой особо охраняемой территории Республики Коми.

Цель данной работы – оценка экологического состояния водоемов бассейна р. Силова-Яха на основе гидрохимических данных и диагностических видов водорослей различных таксономических групп. Для выполнения цели поставлены следующие задачи: исследование гидрохимических и других особенностей типичных для Большеземельской тундры водных объектов, не испытывающих значительного антропогенного воздействия (фоновые районы); определение структурно-функциональной организа-

ции основных экологических и таксономических групп водорослей в естественных условиях обитания.

Исследованы реки Силова-Яха (на перекате, в устье), Хальмерью и руч. Безымянный (правые притоки р. Силова-Яха), озера Хальмерты, Тройное, Круглое, ряд озер без названия (размер 500×300-400 м), находящиеся в бассейне р. Силова-Яха и относящиеся к арктической озерной области. Отбор проб (19-28 июля 2012 г.) произведен Е.Н. Патовой. Проведено описание водных объектов, измерены по общепринятым методам глубины основных водоемов (Гидрохимические показатели..., 1999), температура, прозрачность и рН воды, взяты пробы воды на химический анализ, который был выполнен в аккредитованной лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Содержание микроэлементов (Fe, Al, Pb, Cd, Ni, Zn, Cu, Cr, Cd, Mn, Co и Sr) определено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Spectro CirosCCD. Для изучения состава альгофлоры использованы качественные и количественные пробы планктона, перифитона и бентоса, отобранные общепринятыми методами. Методика отбора альгологических проб была общепринятой, альгологический материал зафиксирован 4%-ным раствором формальдегида. Для подсчета численности водорослей применяли счетные камеры Горяева, для определения биомассы отдельных клеток водорослей использовали окуляр-микрометр (Руководство..., 1983).

Показатели чистоты или качества воды, определенные по какому-либо критерию (например, индексу сапробности, степени эвтрофикации, показателю цветности, содержанию взвешенных веществ и др.), могут быть применимы к разным типам водных объектов. В категории «сильно загрязненных» могут оказаться водоемы в естественном их состоянии, не испытывающие антропогенного воздействия. Поэтому при оценке водных объектов отдельного природно-климатического района необходимо учитывать комплекс природных характеристик, в том числе особенности разных водных объектов по происхождению, гидрологическому режиму, строению дна и берегов, как основной критерий нормального их состояния.

В геологическом отношении район исследований относится к силурийской системе палеозойской эры. Почвообразующими породами являются элюво-делювий коренных пород, торфяные коренные залежи. Климат суровый, характеризуется морозной продолжительной зимой, коротким и прохладным летом, средняя годовая температура воздуха составляет  $-6.3$  °С (субарктическая климатическая область). Для всех элементов рельефа характер-

на заболоченность. Распространены озера различного происхождения с торфянистыми и минеральными берегами (ледниковые, пойменные и термокарстовые).

Исследованные водные объекты по составу преобладающих ионов относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, характерному и для поверхностных вод континентальных восточноевропейских тундр. Активная реакция водной среды близка к нейтральной (рН 6.86-7.33). Содержание микроэлементов находится в более низких пределах, чем их предельно допустимые концентрации.

Органические вещества содержатся в небольшом количестве, что отражается в показателях цветности (7-53°), перманганатной окисляемости (1.27-7.8 мг/дм<sup>3</sup>) воды и согласуется с результатами других исследователей. В рассматриваемых водных объектах концентрация азота колеблется в следующих пределах, мг/дм<sup>3</sup>: N<sub>общ</sub> – 0.08-0.88, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0.018-0.44, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0.005-0.015.

Выявлено относительно высокое видовое разнообразие водорослей, наибольшие показатели встречаемости в планктоне и бентосе стоячих водоемов имели *Pediastrum boryanum* (Turpin) Menegh. (73%), *Cosmarium granatum* Breb. var. *granatum* (54%), *C. botrytis* Menegh. var. *botrytis* и *C. protractum* (Nag.) De-Bary (по 50%), часто встречались *Snowella lacustris* (Chodat) Komarek et Hindak и *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald (по 48%), *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Breb. и *Cosmarium subtumidum* Nordst. (по 45%), *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Nageli (43%). **В эпилитеоне рек и ручьев абсолютным доминантом является *Nostoc caeruleum* Lyngbye ex Bornet et Flahault, образующий макроколонии на камнях. Интересны находки редких видов в эпилитеоне: *Tolypothrix saviczii* Kossinskaja, *Nostoc pruniforme* Agardh ex Bornet et Flahault, *Stigonema mamilosum* (Lyngb.) C. Agardh ex Bornet et Flahault, *Fischerella muscicola* (Thuret) Gomont. Из водорослей, занесенных в Красную книгу Республики Коми, отмечены красная водоросль *Batrachospermum moniliforme* Sirodot (в эпилитеоне руч. Безымянного), очень редкая харовая водоросль *Tolypella spicata* (R.D. Wood) R.D. Wood (оз. Хальмерто, вторая находка для Республики Коми), красная водоросль *Lemanea fluviatilis* (Linnaeus) C. Agardh (в эпилитеоне р. Хальмерью и руч. Безымянного). Необходима охрана популяций этих видов. Из редких видов, занесенных во многие региональные Красные книги, можно отметить золотистую водоросль *Hydrurus foetidus* (Vauch.) Kirchn. (реки Силова-Яха, Хальмерью). На исследованной территории эта водоросль развивается в массе в каменистых ручьях, с очень чистой водой, угрозы исчезновения ее популяций на данном этапе в регионе нет.**

Качество воды зависит от химического состава, гидрологического и температурного режимов водного объекта, вегетативной активности отдельных водорослей при благоприятной совокупности экологических факторов среды, наличия теплового или химического загрязнения вод. Массовое развитие водорослей характеризует состояние водной экосистемы, определенное действием экзогенных и эндогенных факторов среды.

«Цветение» воды отмечено в термокарстовых озерах (Тройное, Круглое, № 3-5), оно вызвано массовым развитием цианопрокариот *Anabaena flos-aquae* Gr̃ybisson, *A. flos-aquae* Gr̃ybisson ex Bornet et Flahault и *A. lemmermannii* Richter. Показатели численности и биомассы в исследованных озерах изменялись в пределах от 108 тыс. до 525 тыс. кл./л, биомасса – от 0.011 до 0.25 мг/л, что соответствует слабой степени «цветения». Массовое развитие цианопрокариот типично для летнего планктона небольших, хорошо прогреваемых термокарстовых озер Большеземельской тундры. Численность планктона в период «цветения» может достигать 1.5-20 млн. кл./л, при этом цианопрокариоты формируют до 20-80% биомассы, в основном их развитие чаще всего происходит с середины июля до начала сентября (Патова, 2007). Наиболее требовательными к содержанию азота и фосфора являются  $\beta$ -мезосапробные виды *Anabaena flos-aquae* и *A. lemmermannii*, которые чаще других вызывают «цветение» воды в озерах Большеземельской тундры.

По экологической приуроченности лидируют планктонно-бентосные виды, индифферентные по отношению к рН и солености. В соответствии со степенью сапробности, отмеченной для ведущих комплексов водорослей, исследованные водные объекты относятся к  $\beta$ -мезосапробной зоне, с водами II класса качества, что подтверждается и данными гидрохимического анализа. Указанные особенности водных объектов Большеземельской тундры характерны для водоемов с отсутствием или незначительной степенью антропогенного воздействия.

Исследованные водные объекты являются типичными для данного района и отражают спектр водных экосистем Большеземельской тундры. По данным гидрохимического и альгологического анализов, их можно охарактеризовать как чистые, не испытывающие заметного антропогенного воздействия. Они могут быть рекомендованы к включению в состав планируемой особо охраняемой природной территории Республики Коми как эталонные объекты тундровых пресноводных экосистем равнинных озер Большеземельской тундры.

Выполнено при поддержке проекта ПРООН/ГЭФ 00059042 и проектов УрО РАН Фундаментальные исследования «Арктика» № 12-4-7-004-АРКТИКА и 12-4-7-006-АРКТИКА.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Т.В. Гусева и др. М., 1999.

Патова Е.Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоемов восточно-европейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 3. С. 4-10.

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

### ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АГРОТЕХНИКИ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕРПУХИ ВЕНЦЕНОСНОЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

**К.И. Устинова, Ю.А. Шелепанова**

Коми республиканский агропромышленный техникум

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

Серпуха венценосная произрастает на юге европейской части России, Кавказе, Алтае и в Средней Азии. В диком виде в Республике Коми не встречается. Серпуха – широко известное в народной медицине лекарственное растение.

Это растение считается очень перспективным, так как она содержит ценные биологически-активные вещества, а именно: экдистероиды, флавоноиды, эфирные масла, сесквитерпеновые лактоны, каротиноиды, витамин С. В Республике Коми работы по интродукции данного растения начаты в 1988 г. с целью выявления возможностей выращивания в качестве кормовой и лекарственной культуры в условиях севера. Серпуха – многолетнее, мощное травянистое корневищное растение, высотой до 2 м, зимостойкое. В литературе почти нет данных по исследованиям технологии возделывания серпухи в культуре.

Цель работы – изучить агротехнические особенности возделывания серпухи венценосной в условиях торфяно-подзолистых почв Республики Коми.

Нами составлен проект возделывания серпухи в условиях Ресурсного центра. Нас интересуют вопросы, как серпуха будет себя чувствовать в условиях северных почв при внесении удобрений, гербицидов. Определить лучшие сроки посадки, площадь питания, вопросы механизации с целью возделывания культуры на промышленной основе, чтобы можно было получать стабильные хорошие урожаи культуры в условиях Севера.

В 2013 г. мы включились в исследовательскую работу по выращиванию серпухи под руководством ученых Коми научного центра. Нами проведена стратификация семенного материала две недели во влажном песке при температуре холодильника, посев семян на рассаду, выращивание рассадного материала. Рассада выращивалась на небольших грядках в защищенных от ветра условиях. Посев проводили 10 июня, 50-70 шт. семян/м<sup>2</sup>. Всходы появились через 10 дней, массовые всходы – через 20.

Растения в первый месяц выращивания постоянно поливали. К осени получили довольно крепкую рассаду высотой около 15 см.

В мае 2014 г. рассада будет высаживаться на постоянное место, где в дальнейшем пройдут исследования по агротехнике выращивания серпухи.

Нами проводились исследования улучшения всхожести семян обработкой разных стимуляторов роста без проведения стратификации. Если выращивать серпуху на больших площадях, есть большие неудобства при промывании стратифицированных семян.

Серпуха будет выращиваться на почве с содержанием гумуса 3%, подвижного фосфора – 200 мг/кг почвы, рН 5.8.

Опыты проводились по следующей схеме:

Посев стратифицированными семенами.

Обработка семян стимулятором роста «Проросток» арахидоновая кислота.

Обработка семян стимулятором роста «Циркон» природный иммуномодулятор.

Обработка семян стимулятором роста «Эпин».

Выдерживались семена в стимуляторе роста в течение суток.

Семена посеяли 20 марта.

25 марта появились всходы в варианте со стратифицированными семенами.

27 марта появились всходы в варианте, где семена обрабатывались стимулятором роста «Проросток».

В остальных вариантах семена не проросли.

Выводы по опыту:

1. По предварительному опыту можно сказать, что стратификацию для семян серпухи возможно, заменить обработкой семян стимулятором роста «Проросток».

2. Есть смысл изучить действие на семена других стимуляторов роста при разных концентрациях препаратов и сроков обработки.

## О ЗАРАСТАНИИ ВНУТРИБОЛОТНЫХ ОЗЕР АРХАНГЕЛЬСКОЙ И ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

**Д.А. Филиппов**

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН  
Вологодский государственный педагогический университет  
E-mail: *philppov\_d@mail.ru*

Заращение – это естественный процесс, происходящий на всех типах водных объектов и ускоряющийся под влиянием ключевых видов (человек, речной бобр, гидрофильные птицы и др.). Характер заращения тесно связан с гидрологическими особенностями водных объектов, их размерами, морфометрией котловины, химическим составом вод, характером распределения донных отложений и другими факторами.

Немаловажное значение на способ, тип, скорость заращения оказывают прилегающие к водным объектам биогеоценозы, особенно техногенно нарушенные и болотные. Тяжелые условия работы исследователей, слабая доступность болотных водоемов и «низкое» биологическое разнообразие позволяют малым озерам болотных и сильно заболоченных ландшафтов оставаться одними из наименее изученных.

В настоящей работе приводятся предварительные результаты собственных ботанических исследований внутриболотных озер Архангельской и Вологодской областей. За период 2001-2013 гг. было обследовано более 50 малых разнотипных озер, из которых 17 могут быть отнесены к внутриболотным. Ниже приведен их список.

Архангельская область, Каргопольский р-н: 1) оз. Пижмозеро (или Пижемское) (61°40'21" с.ш., 38°16'34" в.д.); Холмогорский р-н: 2) оз. Шулеское (63°19'55" с.ш., 41°54'33" в.д.). Вологодская область, Бабаевский р-н: 3) оз. Доброозерское (60°07'11" с.ш., 35°20'44" в.д.); Белозерский р-н: 4) оз. Копозеро (59°59'04" с.ш., 37°17'28" в.д.); 5) озеро у дер. Михалево № 1 (60°04'17" с.ш., 37°00'50" в.д.); 6) озеро за дер. Михалево № 2 (60°03'55" с.ш., 37°00'21" в.д.); Вожегодский р-н: 7) оз. Чунозеро (60°30'09" с.ш., 39°37'48" в.д.); Вытегорский р-н: 8) оз. Лучное (61°04'29" с.ш., 38°04'32" в.д.); 9) оз. Крестенское (61°13'46" с.ш., 36°30'48" в.д.); 10) оз. Венязеро (61°24'04" с.ш., 37°29'32" в.д.); 11) оз. Черное (61°24'22" с.ш., 37°24'06" в.д.); 12) оз. Верхнеандомское № 1 (61°29'13" с.ш., 37°16'01" в.д.); 13) оз. Верхнеандомское № 2 (61°28'12" с.ш., 37°19'29" в.д.); Сямженский р-н: 14) оз. Шиченгское (59°56'55" с.ш., 41°21'24" в.д.); Усть-Кубинский р-н: 15) оз. Сусельское (60°04'44" с.ш., 39°00'59" в.д.); Устюженский р-н: 16)



оз. Тробилловское (59°05'12" с.ш., 36°24'49" в.д.); Харовский р-н: 17) оз. Сохотское (60°18'55" с.ш., 39°33'51" в.д.).

Для каждого озера составляли флористический список, проводили гербаризацию растений, выполняли геоботанические описания и картирование растительности водоема или отдельных его участков. Гербарные материалы переданы на хранение в гербарий кафедры ботаники ВГПУ и гербарий ИБВВ РАН (IBIW). Для измерения гидрохимических показателей использовали карманный рН-метр/кондуктометр/термометр HI 98130 COMBO (Hanna Instruments).

**Общая характеристика.** Болотные озера, как правило, являются остаточными (=первичными) по происхождению, так как они сформировались в тектонических понижениях в результате деградации поздне- и послеледниковых водоемов. Они могут иметь различные размеры (от 0.01 га до более 1000), форму (округлую, овальную, неправильную), глубину (зависит от морфометрических особенностей исходной тектонической котловины, а также скорости болотообразования), краевое или центральное положение по отношению к болотному массиву.

**Гидрохимия.** В болотных водоемах формируется особый гидрохимический режим. Озера имеют, как правило, низкие значения водородного показателя (от 6.1 до 7.1) и электропроводности (обычно до 30 мS, реже до 75-80 мS), тогда как в неболотных водоемах они достигают гораздо более высоких значений (рН 7.3-9.6, электропроводность – от 70 до 370 мS). Температура воды также обычно на несколько градусов выше в болотных водоемах.

**Флора.** На малых внутриводоемных водоемах произрастает 77 видов сосудистых растений. Виды принадлежат к 52 родам, 36 семействам, пяти классам и четырем отделам: *Equisetophyta* (1 вид, 1 род, 1 семейство), *Polypodiophyta* (1, 1, 1), *Pinophyta* (1, 1, 1), *Magnoliophyta* (74, 49, 33). Из покрытосеменных растений двудольные преобладают над однодольными (41 вид, 55.4% флоры цветковых). Ведущее положение во флористическом спектре занимают семейства, содержащие от двух до 16 видов. Наибольшим видовым богатством отличаются семейства *Cyperaceae* (16 видов), *Ericaceae* и *Salicaceae* (по 5), *Poaceae* (4), *Lamiaceae*, *Rosaceae* и *Potamogetonaceae* (по 3), *Apiaceae*, *Nymphaeaceae* и *Polygonaceae* (по 2). В состав 10 ведущих семейств входит 58.4% отмеченных на болотных озерах видов, что несколько выше, чем во флоре болот (57.5%). Еще 26 семейств включают один-два вида. На уровне родов более высокое видовое богатство отмечается для *Carex* (12 видов), *Salix* (5), *Potamogeton* (3), *Betula*, *Calamagrostis*, *Eriophorum*, *Filipendula*, *Sparganium*, *Typha*, *Utricularia* (по 2). На их до-



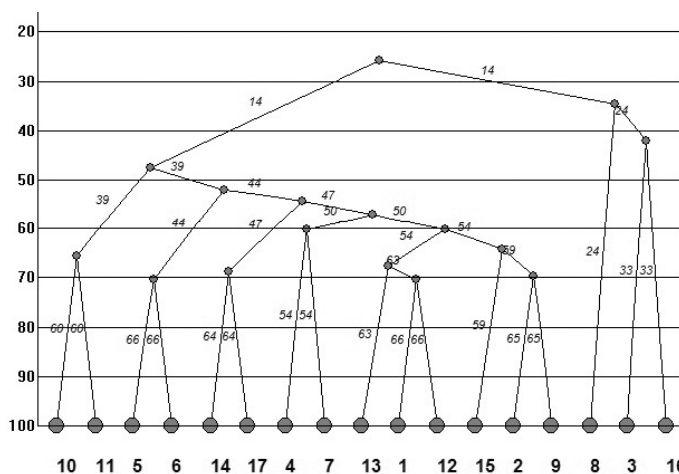
лю приходится 44.2% флоры озер. Остальные рода (43) – моновидовые.

Больше половины выявленной флоры (34 вида) зафиксировано лишь на одном или двух озерах. На трех-пяти болотных водоемах отмечено еще 25 видов и на шести и более озерах – лишь 18. Ни один вид не встречен на всех анализируемых озерах. Наиболее обычными для болотных водоемов являются *Carex lasiocarpa*, *C. rostrata* (на 15 озерах), *Menyanthes trifoliata*, *Nuphar lutea* (по 14), *Chamaedaphne calyculata* (12), *Cicuta virosa*, *Thyselinum palustre*, *Comarum palustre* (по 11), *Equisetum fluviatile* (10), *Naumburgia thyrsoflora* (9), *Carex acuta*, *Oxycoccus palustris*, *Phragmites australis*, *Galium palustre* (по 8), *Potamogeton natans* (7). Обращает внимание крайне низкая доля настоящих гидрофитов при высокой доле типично болотных видов.

На архангельских болотных озерах редкие виды не встретились. На вологодских водоемах обнаружены популяции 11 видов, внесенных в региональную Красную книгу (2004). Из них один потенциально уязвимый – 3/NT (*Baeothryon alpinum*), два вида, требующих внимания, – 3/LC (*Carex pseudocyperus*, *Utricularia intermedia*) и восемь видов биологического контроля (*Betula humilis*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Iris pseudacorus*, *Nymphaea candida*, *Rumex hydrolapathum*, *Salix myrtilloides*, *Sparganium natans*, *Typha angustifolia* s.l.). Почти все редкие виды (кроме пузырчатки средней, кувшинки снежно-белой, водокраса обыкновенного, осоки ложносытевой) отмечены лишь на одном водоеме и в единичных экземплярах.

На каждом отдельном озере обнаружено от пяти до 48 видов, составляя в среднем 19 видов. Для сравнительного анализа флор в программном модуле «GRAPHS» (Новаковский, 2004) с использованием коэффициента общности видового состава Сьеренсена-Чекановского (Ksc) была построена дендрограмма (см. рисунок).

При невысоком сходстве изученных флор (Ksc = 0.14-0.66), прослеживается разделение анализируемой выборки на семь групп. Первая группа флор (№ 3, 8, 16) приурочена к крупным верховым болотам, озера имеют малые размеры. Вторая (№ 2, 9, 15) – формируется в краевых частях болотных систем. В третью (№ 1, 12, 13) вошли небольшие по размерам (1-2 га) и глубокие водоемы. Ландшафтная обусловленность флоры озер прослеживается во всех остальных четырех группах (№ 4, 7; 14, 17; 5, 6; 10, 11). Таким образом, на специфику флоры внутриболотных озер влияют особенности морфометрии самих водоемов и окружающих их болотных массивов, а также ландшафтные особенности территории.



Дендрограмма, отражающая сходство флор внутриболотных озер: 1 – оз. Пижмозеро; 2 – оз. Шульское; 3 – оз. Доброозерское; 4 – оз. Копозеро; 5 – озеро у дер. Михалево № 1; 6 – озеро за дер. Михалево № 2; 7 – оз. Чунозеро; 8 – оз. Лучное; 9 – оз. Крестенское; 10 – оз. Венязеро; 11 – оз. Черное; 12 – оз. Верхнеандомское №1; 13 – оз. Верхнеандомское №2; 14 – оз. Шиченгское; 15 – оз. Сусельское; 16 – оз. Тробиловское; 17 – оз. Сохотское.

**Растительность.** Растительный покров болотных озер формирует ограниченное число мало видовых ценозов с одним (реже двумя) доминирующими видами и невысоким (редко более 75-80%) общим проективным покрытием. Нами были описаны сообщества, отнесенные к 32 ассоциациям (в скобках указаны озера, в которых данные ценозы встречаются): 1) асс. *Nuphar lutea* (1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17); 2) асс. *Nymphaea candida* – *Nuphar lutea* (1, 12, 15); 3) асс. *Potamogeton natans* – *Nuphar lutea* (1, 4, 12, 14, 15); 4) асс. *Equisetum fluviatile* – *Nuphar lutea* (1, 14, 15); 5) асс. *Phragmites australis* – *Nuphar lutea* (14, 15); 6) асс. *Nymphaea candida* (15); 7) асс. *Potamogeton natans* (2, 14); 8) асс. *Equisetum fluviatile* – *Potamogeton natans* (2); 9) асс. *Hydrocharis morsus-ranae* (17); 10) асс. *Equisetum fluviatile* (2); 11) асс. *Menyanthes trifoliata* (10, 15); 12) асс. *Carex lasiocarpa* – *Menyanthes trifoliata* (15); 13) асс. *Utricularia intermedia* – *Menyanthes trifoliata* (15); 14) асс. *Equisetum fluviatile* – *Menyanthes trifoliata* (15); 15) асс. *Carex rostrata* – *Menyanthes trifoliata* (2, 7, 15); 16) асс. *Menyanthes trifoliata* – *Comarum palustre* (14); 17) асс. *Comarum palustre* – *Carex lasiocarpa* (2, 11, 17); 18) асс. *Comarum palustre* – *Phragmites australis* (14); 19) асс. *Carex acuta* (9, 14); 20) асс. *Carex acuta* – *Calamagrostis* (9, 14).

magrostis canescens (14); 21) acc. Carex lasiocarpa – Calamagrostis purpurea (11); 22) acc. Typha angustifolia (14); 23) acc. Phragmites australis (4, 9, 14, 15); 24) acc. Iris pseudacorus – Phragmites australis (9); 25) acc. Thelypteris palustris – Phragmites australis (17); 26) acc. Typha angustifolia – Phragmites australis (14); 27) acc. Hydrocharis morsus-ranae – Calliergon megallophyllum (1); 28) acc. Andromeda polyfolia – Scorpidium scorpioides (1); 29) acc. Carex lasiocarpa – Scorpidium scorpioides (1); 30) acc. Carex rostrata – Scorpidium scorpioides (1); 31) acc. Thelypteris palustris – Sphagnum riparium (14, 17); 32) acc. Sphagnum cuspidatum (17).

В результате работы удалось выявить несколько общих закономерностей: 1) в зарастании внутриболотных озер принимают участие 77 видов сосудистых растений, велика роль болотных, а не водных видов; 2) гидрофиты и гидрогелофиты участвуют в краевом, сильно фрагментарном, реже полосном зарастании, а гелофиты и гидрофиты формируют экотонные «водно-болотные» ценозы «по бровкам» (по берегу озера в узком понимании); 3) все растительные сообщества являются маловидовыми, в них доминирует один вид (реже два), общее проективное покрытие редко превышает 75-80%; 4) внутриболотные озера относятся к почти незаросшим (<1% акватории), очень слабо или слабо заросшим (1-10%) водоемам, а повышение степени и скорости зарастания возможно лишь при активном участии человека (осушение болота и озера путем создания копаных канав и каналов); 5) на зарастание в большей степени влияют относительные пропорции размеров озера по отношению к общей площади болота, гидрохимические показатели (закисление среды сфагновыми мхами) и морфометрия озер (глубина, наличие заливов), а также ландшафтные особенности территории.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №13-05-00837А и №14-04-32258 мол-а.

За помощь в полевых исследованиях автор благодарит А.Б. Чхобадзе (ВГПУ), О.В. Галанину (БИН РАН, СПбГУ), М.Г. Носкову (СПбГУ), А.В. Шарапова, К.Ф. Беляева и В.А. Филиппова.

#### ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Вологодской области. Т. 2. Растения и грибы / Отв. ред. Т.А. Суслова и Г.Ю. Конечная. Вологда: ВГПУ, Изд-во «Русь», 2004. 359 с.

Новаковский А.Б. Возможности и принципы работы программного модуля «GRAPHS». Препринт. Сыктывкар, 2004. 28 с.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ ЛАПЧАТКИ РАСПРОСТЕРТОЙ

Л.Н. Чермных

Вятский государственный гуманитарный университет  
E-mail: [botany@vshu.kirov.ru](mailto:botany@vshu.kirov.ru)

Лапчатка распростертая (*Potentilla humifusa* Willd. ex Schlecht.) – стержнекорневое травянистое растение с многолетними моноподиально нарастающими розеточными осями и однолетними вегетативно-генеративными побегами; розеточный гемикриптофит (Чермных, Савиных, 2012). Встречается в европейской части России, Западной и Восточной Сибири, на Кавказе. На территории Кировской области отмечена в Кильмезском, Нолинском и Советском районах, включена в Красную книгу Кировской области с неопределенным статусом – IV категория (Красная книга Кировской области, 2001). Лапчатка произрастает здесь в светлых сухих местообитаниях – по опушкам, просекам, полянам, вдоль дорог и на песчаных почвах в остепненных травяных и зеленомошных сосняках.

В Кировской области по ООПТ «Медведский бор» в Нолинском районе проходит северная граница распространения этого степного вида. Выявление особенностей существования ценопопуляций в этих условиях обеспечивает актуальность изучения биоморфологии и популяционной биологии *P. humifusa* для разработки рекомендаций по ее охране.

С этой целью в 2012 и 2013 гг. изучали структуру и динамику ценопопуляций (ЦП) *P. humifusa*. Исследование проводили в окрестностях пос. Медведок Нолинского района Кировской области на территории ООПТ «Медведский бор». Были изучены шесть ЦП лапчатки, различающихся по экологическим условиям произрастания. Они описаны согласно методике наблюдений за состоянием ЦП редких и охраняемых видов сосудистых растений Денисова (1986) и подходов Л.В. Тетерюк (2009). Для характеристики местообитания ЦП проводили геоботаническое описание по общепринятым методикам (Шенников, 1964). За счетную единицу принята особь семенного происхождения. Для оценки онтогенетической структуры рассчитывали следующие параметры ценопопуляции: численность, плотность, возрастной состав, индекс восстановления ( $I_v$ ), индекс замещения ( $I_z$ ) по Л.А. Жуковой (1995), тип популяции (Животовский, 2001).

ЦП 1 расположена на территории ЛЭП в вейниково-лапчатковой ассоциации. Единично здесь встречаются древесные растения:

*Pinus sylvestris* L., *Chamaecytisus ruthenicus* Fisch. ex Woloszcz. Проективное покрытие травостоя составляет 60%. Здесь присутствуют *Calamagrostis sepigeios* (L.) Roth, *Potentilla argentea* L., *P. humifusa*, *Dianthus arenarius* L., *Artemisia campestris* L., *Pimpinella saxifraga* L., *Centaurea sumensis* Kalen., *Astragalus arenarius* L., *Hypericum perforatum* L. и др. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова – 20%. Он представлен *Cladonia sylvatica* (Wallr.) Rabenh.

ЦП 2 произрастает на окраине бора беломошника. В ней единично представлены *P. sylvestris*, *Ch. ruthenicus*. Проективное покрытие травостоя – 55%. Здесь встречаются *A. campestris*, *C. epigeios*, *P. argentea*, *P. humifusa*, *Fragaria vesca* L., *Bromus sinermis* Leyss., *A. arenarius* и др. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова из *C. sylvatica* – 5%.

ЦП 3 описана на окраине бора беломошника. Единично встречается *P. sylvestris*, *Ch. ruthenicus*. Проективное покрытие травостоя из *C. epigeios*, *P. saxifraga*, *P. argentea*, *P. humifusa*, *A. arenarius*, *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. и др. – 60%. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова из *C. sylvatica* – 15%.

ЦП 4 произрастает вдоль края дороги в вейниково-разнотравном бору. Сомкнутость крон *P. Sylvestris* – 0,4, кустарников (*Ch. ruthenicus*) – 0,1. *Prunus padus* L., *Sorbus aucuparia* L. встречаются единично. Проективное покрытие травянистого яруса из *C. epigeios*, *Agrostis tenuis* Sibth., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *P. humifusa*, *H. arenarium*, *Dianthus borbassii* Vandas, *Trifolium repens* L., *A. dioica* и др. – 70%. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова из *C. sylvatica* – 20%.

ЦП 5 произрастает в полевице-астроголово-ассоциации на опушке леса близ дороги. Единично встречается *P. sylvestris*, *Ch. ruthenicus*. Проективное покрытие травостоя – 85%. Он представлен *A. arenarius*, *P. humifusa*, *A. tenuis*, *Leucanthemum vulgare* Lam., *Trifolium pratense* L., *Hieracium cymosum* Dc., *F. vesca*, *Galium mollugo* L. и др.

ЦП 6 произрастает вдоль дороги в сосновом лишайниковом лесу. Сомкнутость крон *P. sylvestris* – 0,3; единично встречаются *Quercus robur* L., *S. aucuparia*. Кустарниковый ярус включает *Ch. ruthenicus*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – от 60%. Он представлен *C. epigeios*, *A. tenuis*, *P. humifusa* и др. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова из *C. rangiferina*, *Cladonia mitisandst* Ruoss – 10%.

Очевидно, что на территории Медведского бора *P. humifusa* встречается лишь в антропогенно нарушенных и экотонных со-

обществах, что характерно для многих степных растений на северной границе их распространения. Исследование показало, что структура ценопопуляций зависит от условий обитания и степени антропогенной нагрузки (см. таблицу).

Онтогенетические спектры всех исследованных ценопопуляций неполночленные. Отсутствие проростков можно объяснить быстрым прохождением начальных этапов прегенеративного периода и ранним переходом растений в имматурное онтогенетическое состояние. По-видимому, до момента наблюдений (июль) растения стали уже имматурными. К цветению растения переходят во второй год жизни (Черных, Савиных, 2012). Максимальная доля во всех ценопопуляциях приходится на растения имматурного и виргинильного онтогенетических состояний. Условия обитания, по-видимому, способствуют быстрому появлению молодых особей и их разрастанию. В то же время постгенеративного возрастного состояния достигают лишь единицы особей. Это связано с отмиранием большей части их в старом генеративном онтогенетическом состоянии.

Значительных колебаний в возрастном спектре нет. Все спектры левосторонние. По возрастному спектру, согласно критериям Л.А. Животовского, большая часть описанных ценопопуляций (ЦП 1-5) – молодые, ЦП 6 – зреющая.

Плотность особей лапчатки распростертой максимальна в ценопопуляциях, расположенных на краю бора, и с большей антропогенной нагрузкой с повреждением субстрата. Ценопопуляции с наименьшей плотностью были описаны на территории бора по краю песчаной дороги. К сожалению, в составе современных сосняков *P. humifusa* встречается крайне редко. Отдельные обнаруженные особи в лесу были представлены единичными растениями. По морфологической структуре они подобны отдельным партикулам из симподиально нарастающих вегетативных осей с одним вторичным стержневым корнем. Это связано с тем, что *P. humifusa*, как и другие моноцентрические степные травы, характеризуется дуализмом жизненных стратегий (Пичугина, Савиных, 2006): эксплеренты на открытых местах и пациенты при загушении травостоя и затенении.

В соответствии с индексом восстановления ( $I_b$ ) во всех ЦП число потомков, приходящихся на одну генеративную особь, больше 1, а в ЦПЗ – 4.05. Индекс замещения ( $I_3$ ) близок к  $I_b$  в связи с отсутствием или небольшим числом постгенеративных особей. Таким образом, эффективность самоподдержания ценопопуляций *P. humifusa* на северной границе ее ареала в пределах ООПТ «Медведский бор» достаточно высока, что обеспечивает длительное су-

Характеристика ценопопуляций *P. humifusa*

№ ЦП	Онтогенетические состояния, %						Демографические показатели						Плотность особей, шт./м <sup>2</sup>
	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	ss	s	lv	lz	Тип ЦП	Тип онтогенетического спектра	
1	0	28.6	23.4	34.7	12.9	0.4	0	0	1.2	1.2	Молодая	Левосторонний	3.5
2	0	52.6	16.1	20	10.9	0.4	0	0	2.2	2.2	Молодая	Левосторонний	12.9
3	0	33.1	47.1	15.4	4.1	0.3	0	0	4.05	4.05	Молодая	Левосторонний	18.3
4	0	31	39.5	15.5	9.3	1.5	3.2	0	2.7	2.4	Молодая	Левосторонний	1.7
5	0	7.8	61.5	21.5	7.7	0.5	1	0	2.3	2.2	Молодая	Левосторонний	2.9
6	0	3.1	56.3	25	9.4	3.1	3.1	0	1.6	1.5	Зреющая	Левосторонний	1.3

*Примечание:* j – ювенильное онтогенетическое состояние (о.с.), im – имматурное о.с., v – виргинильное о.с., g<sub>1</sub> – молодое генеративное о.с., g<sub>2</sub> – зрелое генеративное о.с., g<sub>3</sub> – старое генеративное о.с., ss – субсенильное о.с., s – сенильное о.с., lv – индекс восстановления; lz – индекс замещения; Δ (Delta) – индекс возрастной популяции; щ (Omega) – индекс эффективности.

ществование этого растения в составе данного сообщества. Для сохранения *P. humifusa* на северной границе ареала в пределах Медведского бора желателен осветление сосняков для обеспечения длительного и непрерывного существования ее в составе лесного сообщества.

#### ЛИТЕРАТУРА

Денисова Л.В., Никитина С.В., Заугольникова Л.Б. Программа и методика наблюдений за ценопопуляциями видов растений Красной книги СССР. М., 1986. 34 с.

Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3-7.

Жукова Л.А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола: РИИК «Ланар», 1995. 224 с.

Красная книга Кировской области: Животные, растения, грибы / Отв. ред. Л.Н. Добринский, Н.С. Корытин. Екатеринбург, 2001. 450 с.

Пичугина Е.В., Савиных Н.П. Особенности онтогенеза *Jurinea cyanoides* (Asteraceae) на северной границе ареала // Растительные ресурсы. 2006. Вып. 3. С. 10-25.

Тетерук Л.В. Практические рекомендации по проведению ценопопуляционных исследований редких и охраняемых видов сосудистых растений // Инновационные методы и подходы в изучении естественной и антропогенной динамики окружающей среды: Матер. Всерос. науч. школы для молодежи (в 3 частях). Часть 2. Семинары. Киров: ООО «Лобань», 2009.

Флора СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1941. 566 с.

Чермных Л.Н., Савиных Н.П. К биоморфологии лапчатки распростертой // Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. Киров: ООО «Лобань», 2012.

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



## Секция 2. ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИВОТНОГО МИРА

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОРФОЛОГИИ ОТОЛИТОВ ЛОКАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК БЕЛОМОРСКОЙ СЕЛЬДИ

А.С. Безбородов  
Северный филиал ПИНРО  
E-mail: bezborodov@pinro.ru

Многолетние наблюдения и исследования беломорской сельди *Clupea pallasii marisalbi* позволили накопить большой объем материала и говорить о том, что особи одного вида из разных заливов имеют ряд отличий. Их можно выделить как во внешних признаках, так и в особенностях внутреннего строения рыб.

В качестве регистрирующих возраст структур у сельди беломорской используются отолиды. Отолиды сельди были измерены на микроскопе МБС-10 с окуляр-микрометром (увеличение 2×8) по трем направлениям – длина от построструма до рострума (длина 1), от построструма до антирострума (длина 2) и по ширине (рис. 1). Выборка составила 300 экз., по 100 экз. из Двинского (Яндовая губа), Онежского (о-в Кий) и Кандалакшского (губа Чупа) заливов. В зависимости от района обитания сельди ее отолиды имеют некоторые различия в строении.

У беломорской сельди отолиды относительно мелкие (у восьмилетней особи, выловленной в Онежском заливе Белого моря, они имеют длину 4.8 мм). Общая форма отолидов схожая: эллипсоидная форма, передний конец разделен на два «зубца» (рострум и антирострум), задний конец заканчивается двумя небольшими «зубцами» (построструм и парарострум), края отолиды слабо изрезаны (Гошева, 1977). Отолиды полупрозрачные, блестящие. Рострум длинный, закругленный или заостренный на конце. Антирострум округлый. Большая выемка остроугольная, редко почти

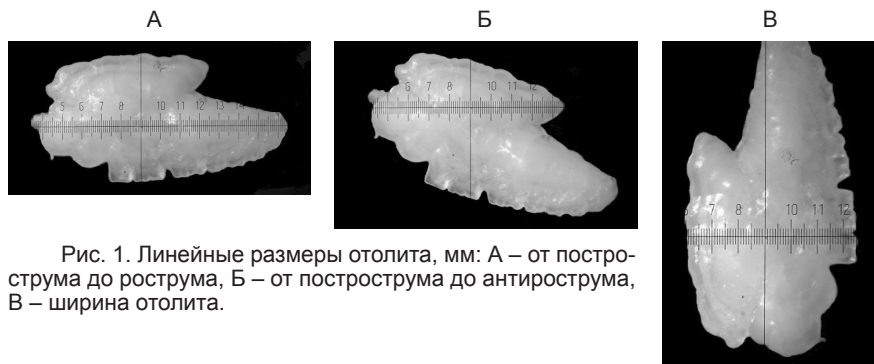


Рис. 1. Линейные размеры отолида, мм: А – от построструма до рострума, Б – от построструма до антирострума, В – ширина отолида.

прямоугольная. Ядрышко гиалиновое, хорошо различимое (Светочева и др., 2002). Исследование показывает различия в линейных размерах отолидов: наиболее крупные по длине и ширине представлены в Онежском заливе (о-в Кий), наименьшие размеры принадлежат отолидам из Двинского залива (Яндовая губа). Отолиты из губы Чупа Кандалакшского залива занимают промежуточное место (рис. 2).

Кроме различий в линейных размерах, отолиты различны и по своей форме. Усредненные контуры отолидов сельди трех заливов показывают, что форма отолида отличается в зависимости от принадлежности рыбы к определенному заливу (рис. 3).

У отолидов сельди из губы Чупа разница между показателями длина 1 и длина 2 была наименьшая, их соотношение равно 1.35. Они выглядят уже и меньше других. Впадина между передними «зубцами» выражена в средней степени, иногда слабо. Отоли-

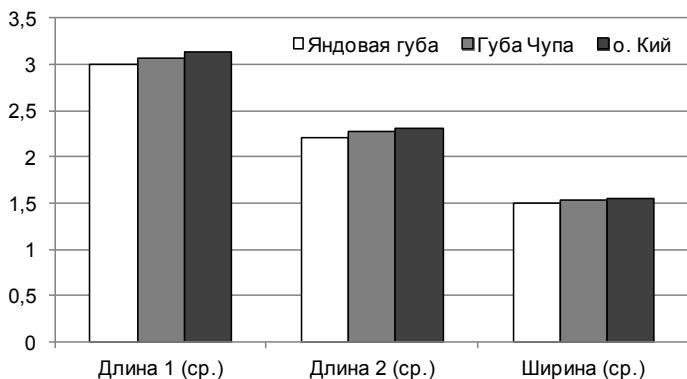
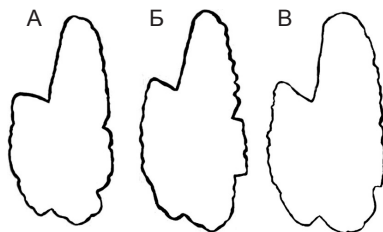


Рис. 2. Линейные измерения отолидов беломорской сельди, мм.

Рис. 3. Усредненная форма отолитов беломорской сельди: А – Яндовая губа, Б – губа Чупа, В – о-в Кий.



ты из Онежского залива наиболее крупные, имеют хорошо выраженную впадину между рострумом и антирострумом отолита. Наибольшая ширина в центральной части отолита придает им округлую веретенообразную форму. Отолиты из Двинского залива очень схожи с таковыми из Онежского. Они также имеют явную впадину между «зубцами» переднего конца, соотношение между измерениями длина 1 и длина 2 отолинов из обоих заливов равно 1.36. Ширина в центральной части отолита меньше, что делает их визуально уже отолинов из Онежского залива.

Существуют общие черты в строении отолинов одного вида, и присутствуют некоторые особенности строения отолинов внутри условно изолированных популяций этого вида (на примере беломорской сельди). Но говорить о методе определения популяции по отолинам нельзя. Разница не явная, она определяется лишь при массовом исследовании. Схожие по строению отолины встречаются у особей беломорской сельди как из Двинского, так и из Онежского и Кандалакшского заливов. Возможно, что сельдь Яндовой губы меньше смешивается с другими группировками. Сельдь губы Чупа состоит из разнокачественных рыб, возможных группировок, в которые входит кандалакшская (мелкая) и «ивановская» (крупная) сельди (Фукс, 2013). Признак строения отолинов может быть достоверным применительно лишь к выборке, а не к отдельным экземплярам. Использование его возможно вместе с другими показателями.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гошева Т.Д. Строение отолинов и особенности роста беломорской сельди *Clupea harengus maris-albi* Berg // Вопросы ихтиологии. 1977. Т. 17. Вып. 6 (107). С. 1034-1040.

Светочева О.Н., Стасенкова Н.И., Гошева Т.Д. Морфология отолинов некоторых рыб Белого моря // Вопросы ихтиологии. 2002. Т. 42. № 3. С. 360-367.

Фукс Г.В. Зависимость длины отолита от длины тела беломорской сельди (*Clupea pallasii marisalbi*) // Арктика: экология и экономика. М., 2013. № 4. С. 81-83.

**ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ КОЛЛЕКЦИИ КРАЕВЕДЧЕСКИХ МУЗЕЕВ  
ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ: НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ  
(НА ПРИМЕРЕ ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ  
ВОЛОГОДСКОГО МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА)**

**Е.А. Бушуева, Г.И. Истомина**

Вологодский государственный университет

E-mail: *Letaneya@yandex.ru*

В фондах Вологодского государственного историко-архитектурного и художественного музея-заповедника представлены естественно-научные коллекции, собранные в регионе с начала XX в. Они имеют большой научный интерес, так как отражают особенности природных сообществ за столетний период. Научная обработка зоологической коллекции ранее не предпринималась, в то же время это позволило бы внести существенный вклад в исследование фауны региона, дополнив имеющиеся сведения о видовом богатстве и распространении животных.

Данная работа направлена на инвентаризацию энтомологической коллекции Вологодского музея-заповедника. В настоящее время нами проведен анализ части коллекции, собранной в 1967-2013 гг. Изучено 572 экз. насекомых, полученные сведения внесены в банк данных.

Исследование коллекции показало, что ее пополнение новыми материалами происходило неравномерно и, как правило, зависело от интересов сотрудников отдела природы Вологодского музея-заповедника и организации экспедиций в отдельные годы. Так, наибольшее количество экземпляров собрано в начале 2000-х гг. (15% от общего числа насекомых), в конце 1980-х гг. (10%) и в 1990-х гг. (8%) (рис. 1). Это объясняется тем, что в 2005 г. сотрудники музея принимали участие в экспедиции Вологодского государственного педагогического университета в Вытегорский район. В 1980-е гг. в отделе природы работала Л.П. Романова – старший научный сотрудник отдела природы Вологодского государственного музея-заповедника, которая активно пополняла фонд (Романова, 1999). В 1990-е гг. музейная коллекция комплектовалась материалами собранными студентами Вологодского государственного педагогического университета.

Анализ коллекции показал, что имеющиеся материалы были собраны в 14 из 26 районов Вологодской области, преимущественно в центральной части (Вологодский район) – 46% от общего числа насекомых, из них значительная доля – на территории г. Вологда (12%) (рис. 2).

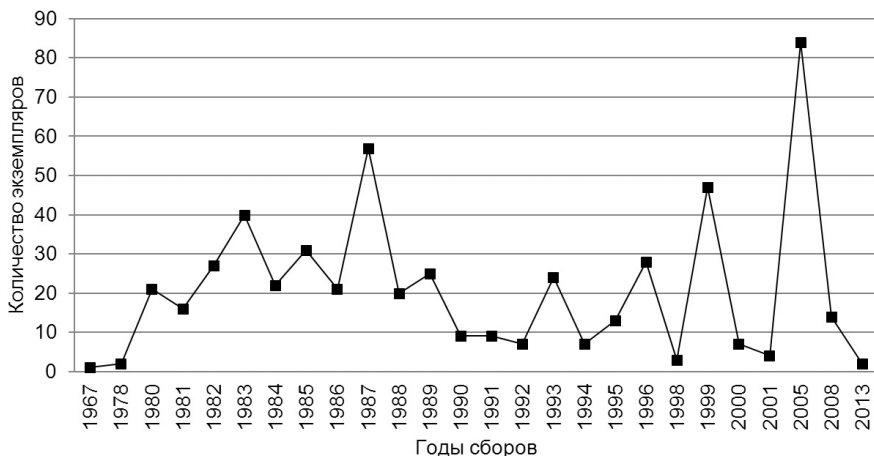


Рис. 1. Хронология пополнения энтомологической коллекции Вологодского музея-заповедника.

При анализе коллекционного материала выявлено, что только **36%** от общего числа насекомых снабжены сведениями о занимаемых местообитаниях. Среди них преобладают насекомые, собранные на лугах (**58%**). Значительно меньше представителей собрано в лесах (**35%**) и на опушках (**7%**).



Рис. 2. Точки сборов насекомых, представленных в коллекции Вологодского музея-заповедника.

**Систематическая характеристика энтомологической коллекции  
Вологодского музея-заповедника**

Отряд	Семейство	Род	Вид
Жесткокрылые	24	93	144
Чешуекрылые	5	20	34
Стрекозы	5	10	14
Полужесткокрылые	3	7	7
Перепончатокрылые	1	3	10
Прямокрылые	2	4	6
Итого	40	137	215

В коллекции отмечено 215 видов насекомых из шести отрядов (см. таблицу). По видовому богатству и численности преобладают представители отряда жесткокрылых (*Coleoptera*). В составе коллекции к данному таксону принадлежит 144 вида (67% от общего числа видов). Также значительно количество видов насекомых из отряда чешуекрылых (*Lepidoptera*) – 34 (16%).

К числу наиболее многочисленных видов насекомых в составе коллекции из отряда жесткокрылые (*Coleoptera*) относятся *Coccinella septempunctata* L., *Rhagium mordax* Dg., *Evodinus interrogationis* L., *Bromius obscurus* L.; из отряда чешуекрылые (*Lepidoptera*): *Pieris napi* L., *Colias hyale* L., *Leptidea sinapis* L., *Nymphalis urticae* L. Эти виды широко распространены и часто доминируют в природных сообществах региона (Беляева и др., 2008).

В составе коллекции выявлен вид Красной книги Вологодской области (Белова, 2008) *Bombus barbutellus* L. Ранее вид был отмечен в юго-западных и центральных районах области. Экземпляры, хранящиеся в музее, собраны в Присухонской низине, эти сведения расширяют представления о распространении данного вида в регионе.

Таким образом, анализ энтомологической коллекции Вологодского музея-заповедника, собранной с 1967 по 2013 г., показал, что ее комплектование наиболее активно происходило в период с 1980-х по 2000-е гг., причем в коллекции преобладают насекомые из центральной части Вологодской области и принадлежащие к широко распространенным видам жесткокрылых и чешуекрылых, обитающих на открытых участках. Это можно объяснить тем, что пополнение энтомологической коллекции в данный промежуток времени проводилось в основном не специалистами.

Данная работа проводилась в рамках гранта ВГПУ на выполнение научно-исследовательских работ студентов (2013-2014 гг.).

## ЛИТЕРАТУРА

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

Романова Л.П. Естественно-научные коллекции отдела природы Вологодского музея-заповедника и их комплектование // Труды Государственного Дарвиновского музея. Выпуск II. Методы препаровки и реставрации естественно-научных коллекций / Под общ. ред. А.И. Клюкиной. М.: ГДМ, 1999. С. 70-73.

**ЛОКАЛЬНЫЕ ФАУНЫ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ  
(LEPIDOPTERA: RHORALOCERA) ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ:  
СЕВЕР ЮГОРСКОГО ПОЛУОСТРОВА (АМДЕРМА)**

**А.А. Власова, Г.С. Потапов**

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

E-mail: vlasowaalisa@yandex.ru

Локальные фауны булавоусых чешуекрылых на обширных пространствах европейского севера России до сих пор исследованы довольно фрагментарно. Особенно это касается тундр восточной части региона из-за ее слабой хозяйственной освоенности и труднодоступности. Наиболее полные данные имеются по различным локалитетам п-ова Канин и о-ва Колгуев, Большеземельской тундры и Полярного Урала (Татаринов, 1999, 2001, 2005, 2012), а также Пай-Хоя. Опубликован общий очерк фауны дневных чешуекрылых Арктики (Чернов, 2006). Отмечено полное отсутствие *Rhoralocera* в составе предельно обедненной фауны чешуекрылых полярных пустынь Высокой Арктики (Макарова, 2012).

При изучении фауны булавоусых чешуекрылых типичных тундр на севере Югорского п-ова (пос. Амдерма) было собрано 47 экз. Малый объем выборки в целом типичен для Арктики. Численность имаго дневных бабочек здесь чаще всего невысока, а их лет короток и прерывист из-за погодных условий.

Арктические виды составляют треть фауны Амдермы. Это три вида перламутровок: эваркт *Boloria chariclea*, а также гемиаркты *B. improba* и *B. alaskensis*. Остальное приходится на арктобореальный вид *Boloria frigga* и три вида более южного происхождения (*Nymphalis xanthomelas*, *Aporia crataegi*, *Pieris napi*). Наибольшее число видов и особей дневных чешуекрылых отмечено на участках с наличием врезанных долин, укрытых от ветра, с развитием альпийских и нивальных луговых экосистем.



Пик численности летающих чешуекрылых в районе Амдермы приходился на третью декаду июля. В условиях Арктики массовый лет имаго булавоусых чешуекрылых обычно очень короткий и приходится на наиболее теплый период, при этом сроки лета могут существенно смещаться в зависимости от погоды (Чернов, 2006).

В районе Амдермы наибольшее число собранных особей приходится на перламутровок *Boloria chariclea* и *B. alaskensis*. При этом *Boloria chariclea* – типичный эвартк, один из наиболее далеко продвигающихся на Север видов булавоусых чешуекрылых (Чернов, 2006).

Особый интерес представляет активная экспансия на Север южных фаунистических элементов, которая прослеживается с 1990-х гг. (Болотов, 2004; Татаринов, 2012). 30% выборки приходится на целый ряд мигрирующих видов, которые выявлены на севере Югорского п-ова. В середине июля на разнотравных луговинах вдоль дорог в пос. Амдерма встречались особи *Nymphalis xanthomelas*, где питались нектаром на соцветиях мытника судетского.

Было отмечено, что *N. xanthomelas* многочисленна в горнолесном и подгольцовом поясах Северного и Приполярного Урала, а с 2005 г. образует весьма многочисленную группировку в равнинной тайге Республики Коми к северу от Ухты (Татаринов, 2012). Приуроченность мигрантов исключительно к антропогенно нарушенным биотопам в поселке и их малая численность свидетельствуют скорее о случайном залете, нежели об образовании временной популяции вида в районе Амдермы.

В южных тундрах *Aporia crataegi* образует временные популяции, гусеницы развиваются на ивах, голубике и карликовой березке и в отдельные годы могут перезимовывать (Чернов, 2006), но появление отдельных особей в районе Амдермы скорее всего связано со вспышкой численности вида на Урале и Европейском Севере, которая началась в 2011 г. и продолжилась в 2012-2013 гг. Однако зимовать в экстремальных условиях типичных тундр района Амдермы этот вид не может.

Находка особи *Pieris napi* вблизи Амдермы подтверждает данные о довольно дальних залетах этого вида на Север.

В целом, фауна дневных чешуекрылых Амдермы оказалась достаточно динамичной, со значимым участием залетных видов, несмотря на удаленное расположение этого арктического района. Часть мигрантов (*Aporia crataegi*, *Pieris napi*) появляется здесь во второй декаде июня, заметно раньше, нежели начинается основной лет местных видов, пик которого приходится на вторую и тре-



тью декады июля. Такое явление типично для арктической фауны (Чернов, 2006). Но находки многоцветниц в середине июля по времени совпали с вылетом большинства местных видов. Увеличение частоты миграций более южных видов на Север и возрастание численности мигрантов обусловлено современными изменениями климата (Болотов, 2004).

Исследования поддержаны грантами Президента России МД-6465. 2014.5; РФФИ № 14-04-31044, 11-04-98817-р\_север\_а; Уральского отделения РАН № 14-5-НП-71; 12-П-5-1014, 12-У-5-1022, 12-М-45-2062, 12-5-7-009; государственной ведомственной программой «Темплан вузов» № 546152011, Министерством образования и науки Российской Федерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Болотов И.Н.* Многолетние изменения фауны булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Diurna) северной тайги запада Русской равнины // Экология. 2004. № 2. С. 141-147.

*Макарова О.Л., Свиридов А.В., Клепиков М.А.* Чешуекрылые (Lepidoptera) полярных пустынь // Зоол. журн. 2012. Т. 91. № 9. С. 1043-1057.

*Татаринов А.Г.* Ландшафтно-зональное распределение булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Papilionoidea, Hesperioidea) на северо-востоке Русской равнины // Зоол. журн. 2012. Т. 91. № 8. С. 937-949.

*Татаринов А.Г., Долгин М.М.* Булавоусые чешуекрылые. Фауна европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1999. Т. VII. Ч. 1. 183 с.

*Татаринов А.Г., Долгин М.М.* Видовое разнообразие булавоусых чешуекрылых на европейском Северо-Востоке России. СПб.: Наука, 2001. 244 с.

*Татаринов А.Г., Кулакова О.И.* Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera, Rhopalocera) Большеземельской тундры // Евроазиатский энтомолог. журн. 2005. № 4. С. 331-337.

*Чернов Ю.И., Татаринов А.Г.* Дневные бабочки (Lepidoptera, Rhopalocera) в фауне Арктики // Зоол. журн. 2006. Т. 85. № 10. С. 1205-1229.

#### ПАЛОЧКОВИДЫ КОЛЕНЧАТОУСЫЕ (HETEROPTERA: BERUPTIDAE) РЕСПУБЛИКИ КОМИ

**А.Н. Зиновьева**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: zinovjeva@ib.komisc.ru

Палочковиды коленчатоусые – небольшое семейство клопов, насчитывающее в мировой фауне около 155 видов из 45 родов. В Палеарктике отмечено 54 вида из 13 родов (**Pericart, 2001**). Удлиненные (3.5-10.0 мм), слегка уплощенные беритиды отличаются

сы от других клопов длинными тонкими ногами с булавовидным утолщением на вершине первого членика усика и бедрах. Бежево-серые надкрылья клопов целиком или частично покрыты сетчатым рисунком, лишены волосков, щетинок и чешуек. Голова впереди с вытянутым гребневидным отростком или округленная. Вероятно, виды со смешанным, растительным и животным питанием (Кержнер, Ячевский, 1964). Яйца беритид округлой или слегка вытянутой формы, которые самки откладывают на листья и стебли растений. Зимуют имаго (Wagner, 1966).

Цель исследований – обобщение имеющихся данных по распространению и экологии палочковидов коленчатоусых в Республике Коми. Работа основана на материалах, собранных в 2001-2011 гг. в различных районах республики. Клопов собирали в июне-сентябре при помощи энтомологического сачка кошением по травянистой растительности и методом ручного сбора. Ниже приводится аннотированный список, включающий название вида, имеющиеся в литературе сведения, материал с указанием даты и места сбора, экологические особенности и ареал. Порядок расположения таксонов в списке приводится по каталогу Палеарктики (Pericart, 2001). **Всего было собрано и определено 90 экз. клопов.** Материал хранится в научном музее Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Семейство BERYTIDAE Fieber, 1851 – Палочковиды коленчатоусые

Подсемейство BERYTINAE Fieber, 1851

Род *Berytinus* Kirkaldy, 1900

Подрод *Berytinus* Kirkaldy, 1900

*Berytinus clavipes* (Fabricius, 1775) – беритинус булавоногий  
Кержнер, Седых, 1970:99, Седых, 1974:80; Биологическое разнообразие..., 2007:203; Зиновьева, 2005:52; 2006:63.

Материал: пос. Путьец, 7.09.2005 – 1 ♂; заказник «Белая Кедва», 16.07.2005 – 1 ♂; пос. Том, 13.07.2009 – 1 ♀; пос. Селоговож, 11.06.2005 – 1 ♂, 2 ♀; г. Ухта, 29.05.1984 – 1 ♂, К.Ф. Седых; пос. Веселый Кут, 20.07.1963 – 1 ♀, Е.Н. Габова; пос. Водный, 21.08.1964 – 2 ♀, К.Ф. Седых; дер. Черныш, 30.05.2007 – 2 ♂; с. Ношуль, 28.05.2007 – 1 ♂; пос. Кажим, 23.06.2004 – 2 ♀, 1.07.2004 – 1 ♂; дер. Ловля, 27.05.2005 – 2 ♂, 1 ♀; дер. Турубановская, 18.08.2011 – 9 ♂, 7 ♀; с. Летка, 27.06.1982 – 2 ♂; с. Слудка, 9.08.2005 – 1 ♂.

Экология: хортобионт, встречается на растениях сем. Fabaceae. Обычен на мелкозлаковых и разнотравно-мелкотравных лугах.

Одно поколение в год. Зимуют имаго, яйца откладывают с мая по июнь, личинки появляются в июле (Wagner, 1966).

Распространение: трансевразийский.

*Berytinus minor minor* (Herrich-Schaeffer, 1835) – беритинус малый

Кержнер, Седых, 1970:99; Седых, 1974:80; Зиновьева, 2006:63.

Материал: пос. Лемты, 21.07.2007 – 1 ♂; Ухтинский район, 5.06.1968 – 1 ♂, г. Ухта, 28.05.1977 – 2 ♂, 5 ♀, пос. Водный, 11.08.1964 – 2 ♂, К.Ф. Седых; с. Ношуль, 28.05.2007 – 2 ♂, 1 ♀; пос. Кажим, 1.07.2004 – 1 ♂; с. Летка, 21.06.1976 – 1 ♀; с. Гурьевка, 24.05.2005 – 1 ♂.

Экология: хортобионт на мелкозлаковых и разнотравно-мелкотравных лугах. Отмечен на *Trifolium sp.*, *Medicago sp.*, *Melilotus sp.* Одно поколение в год. Зимуют имаго, самка приклеивает яйца к растительным остаткам, листьям и стеблям кормовых растений. Личинки появляются в июле (Wagner, 1966).

Распространение: голарктический.

*Berytinus crassipes* (Herrich-Schaeffer, 1835) – беритинус толстоногий

Кержнер, Седых, 1970:99; Седых, 1974:80.

Материал: г. Ухта, 6.06.1965 – 1 ♂, 1 ♀, К.Ф. Седых.

Экология: хортобионт на *Vicia sp.*, *Medicago sp.* Одно поколение в год. Самки откладывают яйца на стебли кормовых растений в конце мая–июне. В июле–августе появляется новое поколение. Зимуют имаго (Wagner, 1966).

Распространение: европейско-сибирский.

Подсемейство GAMPSOCORINAE Southwood et Leston, 1959

Триба GAMPSOCORINI Southwood et Leston, 1959

Род Gampsocoris Fuss, 1852

*Gampsocoris culicinus* Seidenstucker, 1948

Зиновьева, 2006:63.

Материал: пос. Ваймес, 29.05.2007 – 1 экз.; с. Гурьевка, правый берег р. Летка, 24.05.2005 – 1 ♀.

Экология: хортобионт, отловлен на злаково-одуванчиковом лугу. Встречается на *Pulmonaria obscura* (Кержнер, Ячевский, 1964). Одно поколение в год. Имаго окрыляются во второй половине августа и зимуют (Wagner, 1966).

Распространение: западно-центрально-палеарктический.

Подсемейство METACANTHINAE Douglas et Scott, 1865

Триба METATROPINI Henry, 1997

Род *Metatropis* Fieber, 1859

*Metatropis rufescens* (Herrich-Schaeffer, 1835)

Зиновьева, 2006:63.

Материал: дер. Ляли, 16.06.2011 – 1 ♂; с. Усть-Пожег, 28.05.2011 – 1 ♂; с. Гурьевка, 24.05.2005 – 1 экз.; с. Прокопьевка, 8.08.2005 – 1 экз.

Экология: в ельнике-брусничнике на *Linnaea borealis*, в сфагновом ельнике. По данным Е. Wagnera (1966), одно поколение в год, спаривание происходит в конце мая–июне. Имаго нового поколения появляются в июле-августе и осенью уходят на зимовку.

Распространение: европейско-сибирский.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ (грант № 13-04-00660-а).

#### ЛИТЕРАТУРА

Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 4: Охраняемые природные комплексы Тимана (Ч. 2). Комплексный ландшафтный заказник «Белая Кедва» / А.А. Колесникова, С.В. Пестов, А.Н. Зиновьева, Н.И. Филиппов. Сыктывкар, 2007. С. 122-142.

Зиновьева А.Н. Фауна и экология полужесткокрылых (Heteroptera) Койгородского района Республики Коми // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XII молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2005. С. 51-53.

Зиновьева А.Н. Видовой состав полужесткокрылых (Heteroptera) подзоны южной тайги Республики Коми // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: научный и образовательный аспекты: Матер. Всерос. научн. школы. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2006. Вып. 4. С. 61-63.

Кержнер И.М., Седых К.Ф. К фауне полужесткокрылых (Heteroptera) Южного Тимана // Известия Коми филиала географического общества СССР. Т. II. Вып 3 (13). Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1970. С. 95-100.

Кержнер И.М., Ячевский Т.Л. Отряд Hemiptera (Heteroptera) – Полу-жесткокрылые, или клопы // Определитель насекомых европейской части СССР. М.-Л.: Наука, 1964. Т. 1. С. 655-845.

Седых К.Ф. Животный мир Коми АССР. Беспозвоночные. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1974. С. 75-82.

Pericart J. Family Berytidae Fieber, 1851 – stilt bugs / Catalogue of the Heteroptera of the Palearctic Region. Aukema B., Rieger Chr. (ed.). Netherlands Entomol. Soc. Amsterdam, 2001. Vol. 4. P. 230-243.

Wagner E. Wanzen oder Heteropteren. I. Pentatomorpha. Die Tierwelt Deutschlands. Teil 54. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena: Hamburg, 1966. P. 186-194.

## АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ТРАВМАТИЗМА ЛОШАДЕЙ В КОННОСПОРТИВНОЙ ШКОЛЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЕГО ПРОФИЛАКТИКИ

**И.О. Зорина, К.А. Шиловская**

Коми республиканский агропромышленный техникум

E-mail: [irka666\\_94@mail.ru](mailto:irka666_94@mail.ru); [bampiruga@gmail.com](mailto:bampiruga@gmail.com)

Ветеринарные мероприятия делятся на два основных вида:

1) массовые: зоогигиенические, диагностические, специально профилактические, лечебно-профилактические, ветеринарно-санитарные меры и оздоровительные мероприятия;

2) индивидуальные: хирургические операции, акушерско-гинекологическая помощь, ветеринарно-санитарная экспертиза.

Особые мероприятия – анализ ветеринарной деятельности.

Цель нашей работы – разработать методы профилактики травматизма для ГБОУДОД РК «Детско-юношеская конноспортивная школа».

Задачи, которые стояли перед нами, заключались в следующем: исследовать причины травматизма лошадей в данной конноспортивной школе, выявить наиболее часто встречающиеся заболевания; сопоставить причины, их вызывающие, с литературными данными; проанализировать адекватность методов лечения, применяемых в конноспортивной школе; осуществить поиск новых путей решения в борьбе с приобретенными в результате травмы хроническими заболеваниями; разработать надежные методы профилактики.

**Характеристика конноспортивной школы.** В 1988 г. завуч Сыктывкарского сельскохозяйственного техникума С.С. Захарова организовала конноспортивную секцию. Начали с одной лошади. Первым был приобретен жеребец по кличке Гапон. В настоящее время школа содержит более 40 голов лошадей различных пород и пони.

Лошади содержатся на двух конюшнях, имеются пастбище – 10 га, левады, для тренировок – закрытый манеж, конкурное поле с трибунами, класс для теоретических занятий, раздевалки, душевая и другие подсобные помещения.

Начиная с 1991 г. ежегодно проводятся классификационные соревнования, где спортсмены выполняют разряды. Республиканские соревнования проходят с 1997 г. Основная задача школы по Уставу – образовательная деятельность. Сборная команда спортсменов школы регулярно выезжает на региональные и Российские конноспортивные соревнования, где занимает призовые места.

Проводятся занятия по социальной реабилитации и адаптации детей-инвалидов (иппотерапия). Студенты Коми республиканского агропромышленного техникума и Вятской государственной сельскохозяйственной академии проходят технологическую и преддипломную практику. Учащиеся общеобразовательных школ г. Сыктывкара и районов республики приезжают на экскурсии.

Школа многим дала путевку в жизнь и позволила реализовать себя, в том числе и в коневодстве России. Так, например, у олимпийского чемпиона по конному спорту В.П. Угрюмова занималась выпускница школы И. Высоцкая, а ее сестра, также выпускница школы Е. Высоцкая, является членом сборной команды России по троеборью в группе «В». В настоящее время Евгения получила лицензию на право участия в конноспортивных соревнованиях международного уровня.

В сегодняшнем мире, где царствует гиподинамия, конный спорт и даже просто верховая езда дает людям возможность получить необходимый заряд бодрости, а оздоровительный эффект от общения с таким красивым, большим и сильным животным, как лошадь, доказан во всем мире и признается всеми специалистами.

**Анализ травматизма.** Самым «щедрым» на травмы был 2007 г., потом количество травм снизилось, но в последний год вновь увеличилось. Наиболее часто встречающиеся травмы: раны, ушибы, бурситы, тендовагиниты.

Основными факторами, вызывающими травматизм, являются ошибки в условиях эксплуатации и содержания лошадей (опасные ограждения левад, малое количество опилок и скользкий грунт).

**Краткая характеристика заболеваний.** Бурсит – это воспаление слизистой сумки сустава. Причина патологии связана с повреждением бурс, лежащих под связками в местах их прохождения через скакательный или локтевой суставы, развивается главным образом на почве травм (лошадь лежит и давит на бурсу подковами), но иногда вызывается инфекцией. Травма и последующее воспаление приводят к развитию больших уродливых отеков в области пяточного бугра скакательного сустава или локтевого бугра.

Рана (лат. *vulnus*) — это открытое механическое повреждение органов и тканей с нарушением целостности кожи или слизистой оболочки.

Ушиб (лат. *contusid*) – закрытое повреждение тканей и органов без существенного нарушения их структуры. Ушибы обычно возникают в результате удара тупым предметом или при падении.

Тендовагинит – воспаление сухожилия и сухожильного влагалища. Острый серозный тендовагинит возникает в результате

перенапряжения какого-либо сухожилия во время работы; травмы, инфекции или инвазии. Перенапряжение наступает от неправильной постановки конечностей, недостатков ковки, конституциональной слабости сухожилий и использования лошади для тяжелой работы после продолжительного покоя. Кроме того, тендовагиниты развиваются после ушибов сухожилий копытом, прыжков, очень тяжелой работы, а также, если животное запуталось в цепях и веревках.

В результате проведенного исследования выяснилось, что количество ран увеличилось, но значительно уменьшилось количество бурситов, тендовагинитов и ушибов. Разницу в случаях травматизма можно объяснить различным подходом к работе, квалификацией специалистов.

Основной причиной увеличения ран у лошадей является неправильная высота ограждения левад. Высота ограждения левад должна быть 1.8-2.0 м. Материалами для этого служат металлические трубы диаметром не менее 7 см в три ряда или обрезная доска в три ряда, или жерди диаметром до 10 см каждая, также расположенные в три ряда. Проволока может травмировать животных. В данной конюшне это условие нарушается (высота изгороди – 1.35 м), вследствие чего возможны случаи перепрыгивания лошадьми изгороди и травматизма при ее задевании.

**Экономический ущерб.** В конноспортивной школе ущерб, нанесенный травмами лошадей, складывается из затрат на лечение, потерь денежных средств вследствие простоя лошади, использующейся в прокате. Например, возьмем, казалось бы, простую травму, такую как ушиб мягких тканей, сопровождающийся хромотой. В результате такой травмы в конноспортивной школе лошади будет проведено следующее лечение:

1. Травматин – 10 мл, внутримышечно, дважды, через день.
2. Айнил 10% – 12 мл, внутривенно, один раз в день, три дня.
3. Местно – Зоо VIP гель охлаждающий с ментолом и эвкалиптовым маслом – 50 мл, каждые 2 ч в первые сутки.

Таким образом, по средним ценам расходы на лечение данной лошади составят:

1. Травматин –  $180.00 \text{ руб.} \times 2 = 360.00 \text{ руб.}$
2. Айнил –  $140.00 \text{ руб.} \times 3 = 420.00 \text{ руб.}$
3. Гель –  $50 \text{ мл} \times 10 \text{ раз} \times 50.00 \text{ руб.} = 500.00 \text{ руб.}$
4. Всего затрачено: 1280.00 руб.

Кроме этого, если лошадь используется в прокате, к этой сумме добавляются потери денежных средств от простоя. Примерно, это выглядит так: 1 ч проката стоит 500 руб., лошадь в среднем



используется один раз в день, простой при ушибе будет минимум пять дней, что составит 2500.00 руб. за время болезни.

Общий ущерб – это сумма всех видов ущерба. В данном случае это –  $1280.00 + 2500.00 = 3780.00$  руб.

**Профилактика травматизма.** Для лошадей, склонных к появлению бурситов, заключается в подкладывании большего количества опилок. Для профилактики тендовагинитов необходимо соблюдать личную гигиену лошадей, при длительных тренировках делать перерывы, массажи, не использовать лошадь на скользком грунте.

Электронный пастух – принцип действия. Пастбище огораживают оголенной проволокой, подвешиваемой на изоляторах. К ней подводится напряжение от генератора импульсов. Коснувшись проволоки, животное получает неприятный удар электрическим током, безопасным для его жизни. После нескольких прикосновений у животного вырабатывается условный рефлекс, и оно не пытается больше выйти за изгородь.

Плюсы электрической изгороди: прекрасный контроль над животными и их защита, защита пространств от вторжения хищников или вредителей, простота в конструкции, монтаже и транспортировке, безопасна для животных, надежна при контакте с посторонними предметами.

Таким образом, для снижения ранений лошадей необходимо в первую очередь поменять ограждение левад, привести в соответствие с нормой. Регулярно очищать левады и пастбища от различных посторонних предметов. Лошадям с бурситами стелить больше опилок в денник. При выгоне лошадей на прогулку необходимо выпускать их небольшими группами спокойным аллюром.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУПНЫХ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т.Н. Конакова<sup>1</sup>, А.В. Голубкина<sup>2</sup>, А.А. Колесникова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет

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

Представители почвенной мезофауны наиболее подвижны по сравнению с более мелкими организмами и способны находить благоприятные условия, перемещаясь на значительные расстояния (Роль почвы..., 2011). На неравномерность их распределения



в природных экосистемах влияет множество факторов, таких как кислотность и степень увлажнения почвы, температура, микро-рельеф, зона влияния расположения крупных деревьев, антропогенные нарушения и т.д. Для исследования и определения степени воздействия условий окружающей среды на почвенных беспозвоночных необходимо представлять их пространственное распределение.

Ранее на территории Республики Коми, как и на всем европейском Севере, пространственному распределению почвенных беспозвоночных не уделяли особого внимания. Однако в последние годы изучение данного вопроса стало весьма актуальным (Жолесникова и др., 2013; Голубкина и др., 2013), территория Республики Коми – уникальный модельный полигон для таких исследований. Практически 95% площади республики занимает таежная зона, при этом на подзону средней тайги приходится 39.5%, северной – 25.4%. Сосновые леса занимают второе место по площади покрытия после еловых лесов. В кустарничковом ярусе сосняков таежной зоны преобладают черника, брусника. В долинах рек и на водораздельных участках с богатыми почвами в лесных сообществах развивается сомкнутый травяной ярус. Напочвенный покров среднетаежных лесов состоит из зеленых мхов, при увеличении влажности сменяемых кукушкиным льном и сфагновыми мхами. Для сухих сосновых лесов характерны лишайники. В северотаежной подзоне сосновые леса представлены в основном сфагновым и зеленомошно-лишайниковым типами (Леса Республики Коми, 1999).

Для проведения исследований, целью которых явилось определение особенностей пространственного распределения крупных почвенных беспозвоночных в сосновых лесах, было обследовано по три биотопа в пределах средней и северной подзон таежной зоны РК (см. таблицу), в которых летом 2012 г. проведен отбор почвенных проб. В средней тайге исследования проводили на территории комплексного заказника «Белый» в сосняке вересково-лишайниковом (С1), сосняке лишайниково-зеленомошном (С2) и сосняке багульниково-сфагновом (С3). В северной тайге были обследованы сосняки зеленомошно-лишайниковый (С4), зеленомошный (С5) и багульниково-сфагновый (С6). На каждом участке, размером 25×20 м, по регулярной сетке отбирали 25 почвенных проб площадью 100 см<sup>2</sup> на глубину 10 см. Камеральную обработку материала проводили согласно стандартным методам почвенно-зоологических исследований. Кроме этого учитывали некоторые почвенные факторы: температуру, влажность и кислотность почвы.

Параметры мезофауны в сосняках Республики Коми

Средняя тайга							
Биотоп	Тип почвы	Средняя температура подстилки, °С	Полевая влажность почвы, %	pH подстилки (H <sub>2</sub> O)	Численность мезофауны (экз./M <sup>2</sup> ±SE)	Коэффициент вариации (CV, %)	Индекс Мориситы (Im)
Сосняк вересково-лишайниковый (C1)	Подзол малоомощный иллювиально-железистый	17.3	51.06	4.29±0.10	512±74.68	72.93	1.51
Сосняк лишайниково-зеленомошный (C2)	Подзол малоомощный иллювиально-железистый	17.0	114.73	4.17±0.10	136±54.37	200.1	7.82
Сосняк багульниково-сфагновый (C3)	Торфяно-глебовая	10.9	314.85	3.86±0.10	1800±435.89	118.63	2.35
Северная тайга							
Сосняк зеленомошно-лишайниковый (C4)	Подзол	16.2	20.3	4.40±0.10	956±161	84	1.68
Сосняк зеленомошный (C5)	Подзол	16.0	18.6	4.41±0.10	828±118.4	72	1.49
Сосняк багульниково-сфагновый (C6)	Торфяно-подзол	14.0	71.4	4.23±0.10	1004±181.5	84	1.67

Проведенные исследования показали, что в средней тайге численность почвенных беспозвоночных сильно варьирует (см. таблицу). Так, в сосняке вересково-лишайниковом средняя численность мезофауны составила 512±74.68 экз./м<sup>2</sup>. Зарегистрировано шесть таксонов крупных почвенных беспозвоночных, отмечено преобладание пауков, муравьев и личинок жесткокрылых. В сосняке лишайниково-зеленомошном зарегистрированы те же таксоны, что и в сосняке лишайниковом, отмечены растительоядные трипсы. Численность составила 136±54.37 экз./м<sup>2</sup>. Для данного участка, кроме низкой численности, характерен рост коэффициента вариации и индекса Мориситы, что может быть обусловлено несколькими причинами. Во-первых, отбор проб производился в жаркую погоду и соотношение лишайниковых и зеленомошных парцелл было неравномерно, а в связи с установившейся жаркой погодой в период отбора проб (температура подстилки – около 17 °С, воздуха – 25-27 °С) сильно снизилась влажность подстилки, которая является одним из лимитирующих факторов для почвенных беспозвоночных. Во-вторых, на данном участке в летний период отмечена высокая степень антропогенной нагрузки вследствие вытаптывания. В сосняке багульниково-сфагновом зарегистрированы самые высокие

значения численности –  $1800 \pm 435.89$  экз./м<sup>2</sup>, что является не совсем «типичным» для биотопов с повышенной влажностью. Однако здесь преобладали личинки двукрылых и мягкотелок, населяющие достаточно увлажненные местообитания, а также трипсы, питающиеся на багульнике. Индекс агрегированности Морисита составил 2.35, что указывает на довольно высокий уровень пространственной неоднородности мезофауны, характерный и для двух других обследованных биотопов.

Исследования, проведенные в северной тайге, показали, что численность мезофауны в сосняке зеленомошно-лишайниковом составила  $956 \pm 161$  экз./м<sup>2</sup>. Зарегистрировано 10 таксонов, среди которых преобладали личинки двукрылых, личинки мягкотелок и трипсы. В сосняке зеленомошном численность превышала 800 экз./м<sup>2</sup>. Из зарегистрированных 11 таксонов преобладали мягкотелки, личинки двукрылых и кокциды. В самом влажном сосняке численность составила около 1000 экз./м<sup>2</sup>. Среди отмеченных 11 таксонов доминировали личинки двукрылых и дождевые черви рода *Eisenia*. Стоит отметить, что существенных различий между численностью, а также в значениях коэффициента вариации и индекса Морисита в исследованных трех сосняках не наблюдалось (см. таблицу). Распределение беспозвоночных на всех участках агрегированное.

Для северотаежных сосняков проведена оценка связи пространственного распределения почвенных беспозвоночных с факторами среды. Так, в сосняке зеленомошно-лишайниковом агрегированное распределение жужелиц связано с температурой почвы, двукрылых – с влажностью почвы. В сосняке зеленомошном распределение стафилинид зависит от кислотности почвы, щелкунов – от температуры почвы. В сосняке багульниково-сфагновом на неравномерность распределения жужелиц оказывает влияние кислотность почвы, мягкотелок – температура почвы (Кудрин и др., 2014). Предыдущие многолетние исследования в средней тайге показали, что влажность, кислотность и температура лесной подстилки являются основными лимитирующими факторами для жужелиц и стафилинид (Конакова, 2012).

Таким образом, почвенная мезофауна исследуемых сосняков представлена основными таксонами, отмеченными в таежных лесах Республики Коми, при этом их пространственное (горизонтальное) распределение в этих биотопах является агрегированным, что характерно для населения всех почвенных беспозвоночных. Степень агрегированности беспозвоночных повышается в ряду среднетаежных сосняков «лишайниковый – багульниково-сфагновый – лишайниково-зеленомошный». Степень агрегиро-

ванности беспозвоночных в северотаежных сосняках (зеленомошный, зеленомошно-лишайниковый, багульниково-сфагновый) существенно не различается, что подтверждает данные о влиянии относительной монотонности растительного и почвенного покрова на беспозвоночных. Агрегированный тип распределения для различных беспозвоночных имеет отличительные особенности, но на пространственную неоднородность распределения отдельных групп оказывают влияние факторы, лимитирующие распространение беспозвоночных на севере: влажность, кислотность и температура почвы.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ОБН РАН, проект № 12-Т-4-1001 и молодежного научного гранта УРО РАН, проект №14-4-НП-89.

#### ЛИТЕРАТУРА

Голубкина А.В., Колесникова А.А., Конакова Т.Н. Пространственное распределение почвенных беспозвоночных в сосновых лесах заказника «Белый» // Материалы докл. II Всерос. (XVII) молодеж. науч. конф. (с элементами научной школы) «Молодежь и наука на Севере». Сыктывкар, 2013. Т. I. С. 28-29.

Колесникова А.А., Кудрин А.А., Таскаева А.А. и др. Пространственное распределение почвенных беспозвоночных в таежных лесах // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере: Матер. докл. II Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Сыктывкар, 2013. С. 99-101.

Конакова Т.Н. Разнообразие и экология герпетобионтных жесткокрылых (Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) в лесах подзоны средней тайги Республики Коми: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2012. 20 с.

Кудрин А.А., Долгин М.М., Колесникова А.А. и др. Особенности пространственного распределения почвенной фауны в сосновых лесах северной тайги (Республика Коми) // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия Естественные и точные науки. 2014 (в печати).

Леса Республики Коми / Под ред. Г.Н. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.

Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / Под ред. Г.В. Добровольского, И.Ю. Чернова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.

## К ПОЗНАНИЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА ОБЫКНОВЕННОЙ БУРОЗУБКИ БАСЕЙНА РЕКИ ВЫЧЕГДА (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

А.Н. Королев, Д.М. Шадрин, Я.И. Пылина, Е.А. Порошин  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: korolev@ib.komisc.ru

Обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) – один из наиболее широко распространенных и массовых видов землероек Палеарктики. В европейской части России она распространена от тундровой зоны на севере до степной зоны на юге. В Республике Коми встречается во всех подзонах тайги, населяет лесотундру, отмечена в южной тундре (Млекопитающие..., 1994). Для обыкновенной бурозубки характерна значительная морфологическая и хромосомная изменчивость. К настоящему времени описано более 70 хромосомных рас этого вида (Щипанов и др., 2009). Считается, что хромосомные расы представляют собой будущие виды, находящиеся на разных стадиях формирования, поэтому обыкновенная бурозубка часто возводится в ранг надвида.

Большое преимущество в выявлении эволюционных изменений имеют молекулярно-генетические методы, бурно развивающиеся в последние десятилетия. Благодаря их применению установлено, что особенности молекулярной дивергенции бурозубок часто находятся в противоречии с особенностями кариологии (Balakirev et al., 2007).

Цель данной работы – оценить генетический полиморфизм гена *cyt b* мтДНК ряда популяций обыкновенной бурозубки бассейна р. Вычегда и выявить связи «вычегдских» бурозубок с популяциями других регионов.

Сбор материала (мышечные ткани) производился в окрестностях г. Сыктывкар и с. Гам Усть-Вымского района Республики Коми. Отлов зверьков вели давилками. Пробы фиксировали по стандартной методике в этиловом спирте (96%). Всего исследовано 18 проб (12 – из окрестностей Сыктывкара (код на рисунке Syktyvkar) и шесть – из окрестностей с. Гам (код на рисунке Gam)).

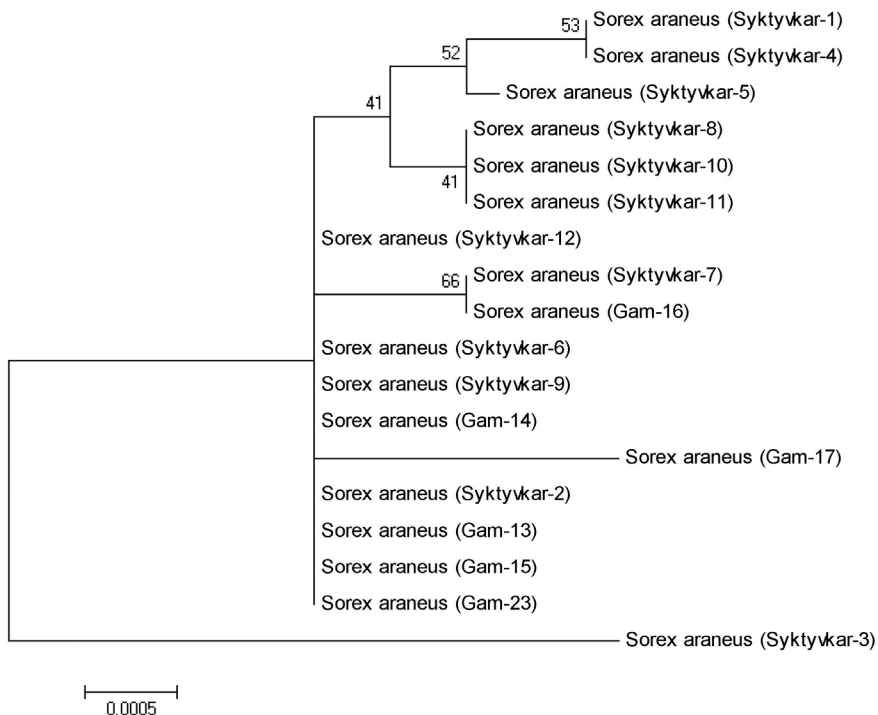
Выделение ДНК производили с помощью набора «FastDNA-SpinKit» («QBioGene», Канада) согласно инструкциям производителя. Амплификацию гена *cyt b* мтДНК осуществляли с использованием праймеров L14734 и H15985 (Ohdachi et al., 2001) по следующей схеме: предварительная денатурация – 5 мин. при 95 °С, 35 циклов; денатурация – 30 сек. при 94 °С; отжиг – 1 мин. при 57 °С; элонгация – 1 мин. при 72 °С; финальная элонгация – 2 мин.

при 72 °С. Секвенирование проводили с применением набора реагентов ABI PrismBigDyeTerminator v. 1.1 на приборе ABI PRISM 310 GeneticAnalyzer («AppliedBiosystems», США) на базе ЦКП «Молекулярная биология» в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН. Выравнивание последовательностей и последующую обработку результатов вели в программе MEGA 5.

Длина секвенированных (и выровненных) последовательностей гена *cyt b* мтДНК составила 1214 п.н. Выявлено 1203 консервативных и 11 варьируемых (из них три парсимони-информативных и восемь уникальных) сайтов. Следует отметить, что из восьми уникальных сайтов шесть принадлежат пробе Syktyvkar-3, два других – пробе Gam-17. Всего выявлено семь гаплотипов. Четыре гаплотипа встречены в нескольких пробах (от двух до восьми), три гаплотипа оказались уникальными. Максимальная частота встреч отмечена для гаплотипа Syktyvkar-2, он обнаружен у четырех особей из окрестностей Сыктывкара и у четырех особей из окрестностей Гама. Генетические дистанции, вычисленные на основании двухпараметрической модели Кимуры, между пробой Syktyvkar-3 и остальными пробами из окрестностей г. Сыктывкар составили от 0.005 до 0.0067, между пробой Gam-17 и остальными пробами из Усть-Вымского района – от 0.0017 до 0.0033.

Все полученные последовательности подвергли филогенетическому анализу, по результатам которого было построено филогенетическое древо (см. рисунок). На древе не наблюдается ярко выраженного разделения выборок по географическому принципу (расстояние между точками сбора проб – порядка 80 км, точки сбора расположены на противоположных берегах р. Вычегда). Это позволяет считать, что все животные принадлежат к одной генетической группировке. Исключение составляет проба Syktyvkar-3, выделившаяся в отдельную кладу.

Сопоставление наших материалов с таковыми по бассейну р. Печора (Королев и др., 2014) и материалами из GenBank (в целом проанализировано 354 последовательности длиной 953 п.н.; использована двухпараметрическая модель Кимуры, методы объединения ближайших соседей, коэффициент бутстрепа – 1000) показало (филогенетическое древо не приводится из-за громоздкости), что все пробы из окрестностей Сыктывкара и Гама, за исключением проб Syktyvkar-3 и Gam-17, формируют одну кладу. К ней в качестве сестринской группы примыкает проба Gam-17, образующая кладу с одной пробой из Шотландии. В целом, данные клады оказались близки популяциям целого ряда регионов европейской части России, в частности Московской, Воронежской, Саратовской и Ростовской областей. Проба Syktyvkar-3 по-



Филогенетическое древо гаплотипов гена *сyt b* мтДНК обыкновенной бурозубки бассейна р. Вычегда (эволюционная модель Кимуры двухпараметрическая (Лукашев, 2009), объединение методом ближайшего соседа, коэффициент бутстрапа – 1000).

пала в одну группу с пробами из Брянской и Саратовской областей, Финляндии, Венгрии, Швейцарии и Шотландии. Пробы из бассейна р. Вычегда оказались достаточно далеко удалены от проб из бассейна р. Печора, несмотря на географическую близость. Как и в случае с пробами из бассейна р. Печора (Королев и др., 2014), анализ проб из бассейна р. Вычегда подтвердил отсутствие значительной генетической дифференциации бурозубок европейской части России (Balakirev et al., 2007). При явном генетическом единстве подавляющего числа собранных проб последние имеют достаточно хаотические связи с другими регионами европейской части России в частности и всего Европейского континента в целом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Республики Коми и гранта РФФИ № 13-04-98823.



#### ЛИТЕРАТУРА

Королев А.Н., Шадрин Д.М., Пылина Я.И. и др. Полиморфизм гена *cyt b* мтДНК обыкновенной бурозубки экотона тайга – тундра европейского Северо-Востока России (в печати).

Лукашев В.В. Молекулярная эволюция и филогенетический анализ. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 256 с.

Млекопитающие. Насекомоядные, Рукокрылые, Зайцеобразные, Грызуны // Фауна европейского Северо-Востока России. Млекопитающие / Отв. ред. В.Н. Большаков. СПб.: Наука, 1994. Т. 2. Ч. 1. 280 с.

Щипанов Н.А., Булатова Н.Ш., Павлова С.В., Щипанов А.Н. Обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus*) – модельный вид эколого-эволюционных исследований // Зоол. журн. 2009. Т. 88. № 8. С. 975-989.

Balakirev A.E., Illarionova N.A., Potapov S.G., Orlov V.N. DNA polymorphism within *Sorex araneus* from European Russia as inferred from mtDNA cytochrome *b* sequences // Russian Journal of Theriology. 2007. Vol. 6. № 1. P. 35-42.

Ohdachi S.D., Dokuchaev N.E., Hasegawa M., Masuda R. Intraspecific phylogeny and geographical variation of six species of northeastern Asiatic *Sorex* shrews based on the mitochondrial cytochrome *b* sequences // Molecular Ecology. 2001. Vol. 10. P. 2199-2213.

### СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* L. РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.А. Костылева, Е.А. Флерова

Ярославская государственная сельскохозяйственная академия  
E-mail: kostyleva@yarcx.ru; katarinum@mail.ru

Рыбинское водохранилище – уникальный водоем, который расположен в основном в Ярославской области, на северо-западе, частично также в Тверской и Вологодской областях. Оно планировалось как самое большое по площади искусственное озеро в мире, его площадь составляет 4580 км<sup>2</sup> (Буторин и др., 1975).

Лещ (*Abramis brama* L.) – наиболее многочислен из ценных промысловых видов рыб водохранилища. На нем отражается влияние продуктов антропогенного воздействия водоема, которые осаждаются в грунтах, так как лещ является бентофагом: загрязнения попадают в его организм с донными отложениями. Таким образом, изучение показателей обмена веществ популяции леща – типичного представителя ихтиофауны Рыбинского водохранилища, имеет ряд теоретических и практических аспектов.

В клетках организма животных, в том числе рыб, идет непрерывный процесс обмена веществ, в котором осуществляется синтез и распад различных по своей природе химических веществ.



Белкам принадлежит чрезвычайно важная роль в регуляции биохимических процессов в организме, так как в процессе жизнедеятельности организма происходит постоянный синтез белков (Курант, 1984).

Поэтому для мониторинговых исследований водоемов необходимо изучить физиологическую норму количества белка в мышечной ткани пресноводных костистых рыб, имеющих большое народнохозяйственное значение.

Цель данной работы – изучить половозрастные особенности содержания белка в мышечной ткани леща Рыбинского водохранилища.

Исследования проводились на лещах, отловленных в сентябре-октябре 2013 г. тралом с экспедиционного судна «Академик Топчиев». Были исследованы рыбы, выловленные на стандартных станциях траления рыбы в Рыбинском водохранилище (рис. 1).

Непосредственно после вылова производилось определение длины и массы рыбы, зрелости гонад, массы порки. Мышцы рыб вырезали, определяли массу и замораживали. Образцы хранились при температуре  $-8^{\circ}\text{C}$  для проведения анализов. Изучено 24 самца, 16 самок (табл. 1).

Содержание белка определяли путем умножения количества общего азота, найденного по способу Кьельдаля, на коэффициент 6.25.

Данные статистической обработки получены с помощью программы Excel 2007 и представлены в виде среднего значения и ошибки среднего ( $M \pm m$ ).

Анализ содержания белка в мышцах леща позволил выявить, что среднее значение общего количества белка в мышечной ткани всех исследованных особей леща достигает 17.5%.

Данный показатель несколько превышает средние значения белка в мышцах ранее изученных представителей этого вида. Следует отметить, что среднее значение



Рис. 1. Карта Рыбинского водохранилища.

Таблица 1

**Морфофизиологические показатели лещей**

Половозрастная группа	Количество особей, шт.	Длина, мм	Масса, г	Масса порки, г
Самцы	24	357.33±3.67	776.25±33.77	709.42±26.04
Самки	16	365.06±4.73	882.69±38.25	770.19±33.25

белка в изученной ткани леща больше, чем у минтая (*Theragra chalcogramma* Pallas) (15.9%), хека (*Merluccius merluccius* L.) (16.6), мойвы (*Mallotus villosus* Muller) (13.6), судака (*Sander lucioperca* L.) (9.8), окуня (*Perca fluviatilis* L.) (15.5), но меньше, чем у горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum) (21.0%), палтуса (*Hippoglossus stenolepis* Schmidt) (18.9), тунца (*Thunnus thynnus* L.) (22.0) (Маляревская, 1979; Родина, 2007). Таким образом, нами не выявлено закономерности содержания белка в мышечной ткани рыб в зависимости от их систематического положения или среды обитания, а скорее всего связано с физиологическим состоянием рыбы в определенный период онтогенеза.

При изучении показателей белка у разных половозрастных групп выявлены следующие особенности. Количество белка в мышцах групп, отличающихся по полу, оказалось близко: у самок леща – 17.00±0.32%, у самцов – 17.69±0.39%. Несмотря на то, что данные показатели незначительно варьируют у разных групп, установлено, что количество белка в мышцах у самок несколько ниже по сравнению с самцами.

Ранее при изучении элементов азотистого баланса у рыб В.З. Курант показывал, что с возрастом потребление, утилизация, эффективность использования и экскреция азота у рыб снижаются. Это отражает затухание белкового обмена рыб при старении (Курант, 1984). Наши исследования согласуются с данными автора. (табл. 2). У лещей возраста 8+ среднее значение белка достигает 17.87%, через год – уменьшается на 0.19%, к 11 годам количество белка в мышечной ткани составляет лишь 15.07% (рис. 2).

Таким образом, обобщив результаты исследования, можно сделать следующие выводы:

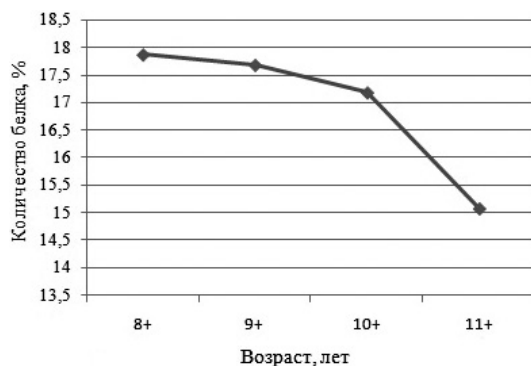
1) Содержание белка в мышечной ткани рыб не зависит от их систематического положения или среды обитания.

2) При сравнении половозрастных групп леща выявлено, что изменения в количестве белка у самок и самцов незначительны.

Таблица 2  
**Изменения белка у групп леща, различающихся по возрасту**

Возраст	Количество особей	Белок, %
8+	9	17.87±0.51
9+	19	17.68±0.39
10+	9	17.18±0.48
11+	3	15.07±0.89

Рис. 2. Зависимость количества белка от возраста рыб.



3) С повышением возраста особей леща происходит уменьшение количества белка в мышечной ткани рыб.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Буторин Н.В., Зимина Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
- Курант В.З. Содержание белков и нуклеиновых кислот в тканях некоторых пресноводных рыб и их зависимость от возраста и сезона: Дис. ... канд. биол. наук. Тернополь, 1984. 159 с.
- Маляревская А.Я. Обмен веществ у рыб в условиях антропогенного евтрофирования водоемов. Киев: Наукова думка, 1979. 256 с.
- Родина Т.Г. Товароведение и экспертиза рыбных товаров и морепродуктов. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 400 с.

### ОКАЗЫВАЕТ ЛИ РЕГУЛЯРНОЕ ЗАТОПЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД В УСЛОВИЯХ ПОЙМЫ?

**А.А. Кудрин**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [allkudrin@gmail.com](mailto:allkudrin@gmail.com)

Пойменные экосистемы, в отличие от водоразделов, формируются под воздействием особых условий (Bauley, 1995). Сюда можно отнести периодическое затопление, особый гидротермический режим, а также формирование пойменного наилка, который, смешиваясь с перегнивающим прошлогодним опадом, становится очень плодородным (Лаптева, 1999). Все это приводит к высокой биологической активности пойменных почв, количественный и видовой состав почвообитающих беспозвоночных животных здесь значительно больше, чем на водоразделах (Добровольский, 1968). Однако, несмотря на общий положительный эффект, затопление может носить временный негативный характер. Так, метаанализ данных (Plum, 2005) показал, что численность и биомас-

са мезофауны значительно сокращается во время половодья, при этом эффект усиливается с увеличением продолжительности затопления, однако данное влияние обратимо, и в течение следующего за половодьем сухого периода происходит восстановление сообщества. Подобный эффект был показан и для коллембол, численность которых сокращалась до 90% во время половодья и затем восстанавливалась в течение шести недель (Russel et al., 2004). Нематоды являются почвенными гидробионтами, обитающими в пленочной воде на поверхности почвенных пор. В связи с этим реакция нематод на затопление в пойме может несколько отличаться от реакций почвенных артропод.

В связи с этим нашей задачей было выяснить, оказывает ли регулярное затопление и его интенсивность воздействие на комплекс почвенных нематод в условиях поймы.

Исследование проводили в пойменных лесах бассейнов рек Сысола (средняя тайга) и Печора (северная тайга). В каждой пойме выбрано по три участка, имеющих различный период затопления во время весеннего половодья (см. таблицу).

Почвенные пробы были отобраны троекратно в течение летнего сезона: после окончания половодья в июне, затем июле и августе. Пробы брались в восьмикратной повторности. Экстрагировали нематод из образцов почвы в соответствии с модифицированным методом Бермана, фиксировали в 4%-ном растворе формалина и готовили временные и постоянные глицериновые препараты. Эколого-трофические группы выделяли согласно классификации Yeates (1993), численность выражали в экз./100 см<sup>3</sup> почвы. Для выявления достоверности влияния факторов реки (R, Печора и Сысола), периода отбора (S, июнь, июль и август), периода затопления (F, короткий, средний и продолжительный) на общую численность нематод был проведен дисперсионный анализ. Достоверность различий численности нематод между участками оценена при помощи критерия Tukey HSD ( $p < 0.05$ ).

Дисперсионный анализ показал достоверное влияние таких факторов, как периоды отбора и затопления, в то время как фактор реки оказался незначимым, в связи с чем в дальнейшем обе

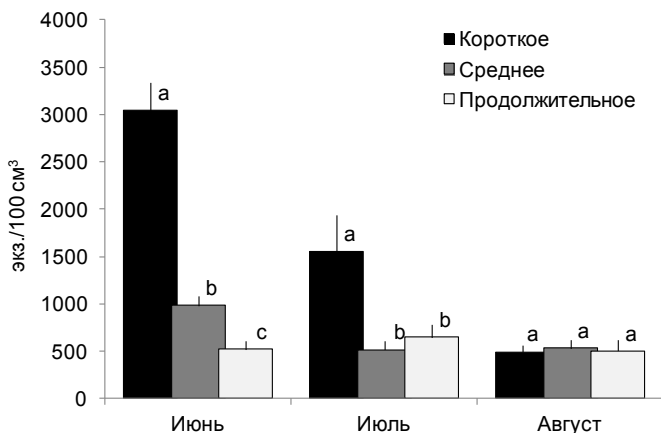
#### Характеристика исследованных участков

Пойма	Река Печора			Река Сысола		
Участок	PF <sub>short</sub>	PF <sub>med</sub>	PF <sub>long</sub>	SF <sub>short</sub>	SF <sub>med</sub>	SF <sub>long</sub>
Период затопления	1-4 дня	2-3 недели	8-12 недель	1-4 дня	2-3 недели	8-12 недель
Полевая влажность	0.77	0.74	2.19	0.60	0.50	1.64

реки будут рассмотрены совместно. Отсутствие достоверного влияния фактора реки к тому же указывает на проявление интрозональности пойменных экосистем.

После окончания половодья (июнь) более низкая численность нематод отмечается на участках со средним и продолжительным затоплением по сравнению с коротко заливаемыми участками. При этом с увеличением продолжительности затопления численность сокращается сильнее (см. рисунок). Подобная реакция почвенных нематод полностью согласуется с общим для почвенных артропод трендом, однако в течение летнего сезона, в случае почвенных нематод, отсутствует процесс восстановления их численности до уровня минимально затопляемых участков. При этом мы наблюдаем обратный процесс сокращения обилия нематод на мало и средне затопляемых участках в течение периода исследования. Подобное отступление объясняется воздействием фактора сезонности, имеющего, наряду с затоплением, значительный эффект на комплекс почвенных нематод в условиях поймы.

Однако механизм отрицательного воздействия естественного затопления в проведенном исследовании, по нашему мнению, несколько отличается от реакций других почвенных животных, затопление которых обычно приводит к сокращению их численности в результате гибели или миграций (Russel et al., 2004; Plum, 2005), и, по-видимому, связан с экстремальными условиями зимнего периода, предшествующего половодью. Так, численность



Численность нематод на участках с различным периодом затопления. Неодинаковые буквы указывают на достоверность различий численности нематод между участками с различным периодом затопления в границах каждого месяца (Tukey HSD test,  $p < 0.05$ ).

нематод в пойме р. Печора до половодья (27 апреля) оказалась значительно ниже, чем после схода воды (июнь), и составила 90 экз./100 см<sup>3</sup> – PF<sub>short</sub>, 123 экз./100 см<sup>3</sup> – PF<sub>med</sub> и 154 экз./100 см<sup>3</sup> – PF<sub>long</sub> (неопубликованные данные, n = 4), что связано с отрицательными температурами воздуха и почвы в течение зимнего периода, воздействие которых имеет негативный эффект на нематод (Wharton, 2003). Таким образом, весеннее половодье, в условиях северных рек, не приводит к сокращению численности нематод, а только замедляет развитие сообщества после зимнего периода тем сильнее, чем продолжительней период затопления. При этом влияние пространственно-временной неоднородности пойм проявляется в значительном эффекте периода отбора и взаимного воздействия данного фактора с периодом затопления, приводящим к отсутствию восстановительных процессов нематод на участках с длительным затоплением и сокращением численности нематод на коротко затапливаемых участках в течение периода исследования. К тому же короткое затопление, по-видимому, положительно отражается на развитии нематод после зимнего периода, принося седименты и ускоряя процесс оттаивания почвы (Лаптева, 1999), в то же время не приводя к длительному сокращению концентрации кислорода в почве.

Таким образом, проведенные исследования показали достоверное влияние периода затопления на комплекс почвенных нематод. Отрицательный характер данное воздействие носит на средне и продолжительно затапливаемых участках по сравнению с коротко затапливаемыми, где половодье, вероятно, оказывает благоприятное воздействие, проявляющееся через внесение седиментов и ускорение процессов оттаивания почвы, в то же время не приводя к длительному сокращению концентрации кислорода в почве. Отрицательное воздействие проявляется не через сокращение численности нематод в результате затопления, а через замедление развития сообщества после зимнего периода.

#### ЛИТЕРАТУРА

Bayley P.B. Understanding large river-floodplain ecosystems // Bioscience. 1995. Vol. 45. P. 153-158.

Лаптева Е.М., Балабко П.Н. Особенности формирования и использования пойменных почв долины р. Печора. Сыктывкар, 1999. 204 с.

Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1968. 296 с.

Yeates G.W., Bongers T., De Goede R.G.M. et al. Feeding habits in soil nematode families and genera — an outline for soil ecologists // J. Nematol. 1993. Vol. 25. P. 315-331.

*Russel D.J., Hawth A., Fox O.* Community dynamics of soil Collembola in floodplains of the Upper Rhine Valley // *Pedobiologia*. 2004. Vol. 48. P. 527-536.

*Plum N.* Terrestrial invertebrate in flooded grassland // *Wetlands*. 2005. Vol. 25. P. 721-737.

*Wharton D.A.* The environmental physiology of Antarctic terrestrial nematodes: a review // *J. Comp. Physiol.* 2003. Vol. 173. P. 621-628.

## АНТОФИЛЬНЫЕ НАСЕКОМЫЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

**С.В. Пестов, Н.И. Филиппов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [pestov@ib.komisc.ru](mailto:pestov@ib.komisc.ru), [filippov@ib.komisc.ru](mailto:filippov@ib.komisc.ru)

В 50-х гг. прошлого века началась интродукция борщевика Сосновского на европейском Севере как перспективного силосного растения. Помимо этого цветки борщевика выделяют большое количество нектара, что позволяет использовать его в качестве медоносного растения. Борщевик – декоративное и эфиромасличное растение и источник сырья для красителей (Скупченко, 1989). В процессе интродукции стали выявляться серьезные недостатки. Прежде всего, в клеточном соке борщевика содержатся биологические активные фурукумарины. Попадание этих веществ на кожу вызывает фотохимические ожоги. Были отмечены случаи ожогов, достигавших III степени, а также летальные исходы от многочисленных ожогов кожи у детей младшего возраста (Далькэ, Чадин, 2008). Специфический запах борщевика сохраняется в мясе и молоке животных, а при наличии других кормов коровы плохо поедали силос. Кроме этого, благодаря высокой семенной продуктивности и холодоустойчивости, борщевик стал неконтролируемо распространяться по всей Европе. Появление борщевика Сосновского вызывает обеднение видового состава окружающей растительности. Крупные листья затеняют окружающие растения, а сам борщевик способен расти в плотных зарослях (Виноградова и др., 2009).

Для борьбы с борщевиком был предложен широкий спектр мер борьбы: механические, химические, биологические. Изучение насекомых-фитофагов борщевика в зоне естественного произрастания борщевика (Кривошеина, 2011; Лунева, 2013; Панасенко и др., 2013) показало отсутствие видов-монофагов, а результаты интродукции олигофагов, которые могут питаться в том числе и на культурных, сложно прогнозировать. Перспективным направлением биологической борьбы является использование видов фи-



тофагов и опылителей, обитающих в зоне интродукции, которые оказывают влияние на вегетативную и генеративную сферу растения. Теоретический интерес представляет изучение процесса приспособления местных видов консументов к внедрению в экосистему чужеродного вида продуцента.

В нашей работе была поставлена цель: выявить видовой состав антофильных насекомых борщевика Сосновского в условиях средней тайги Республики Коми. Исследования проводились в июне-июле 2012-2013 гг. в период цветения борщевика. Выявлено 62 вида из пяти отрядов.

Из отряда Coleoptera отмечено 11 видов. Из них пять видов: *Lepturobosca virens* (L.), *Potosia cuprea metallica* (Herbst), *Stenurella melanura* (L.), *Oxythyrea funesta* (Poda), *Trichius fasciatus* (L.) питаются цветками, поэтому потенциально могут снижать семенную продуктивность растения. Шесть видов являются энтомофагами: *Cantharis fusca* L., *Oedemera femorata* (Scopoli), *Coccinella septempunctata* (L.), *Semiadalia notata* (Laicharting), *Dictyoptera aurora* (Herbst), *Trichodes apiarius* (L.). Жук *Trichodes apiarius* (L.) для фауны Республики Коми указывается впервые. Личинки этого вида развиваются в гнездах пчелиных. К хищникам, с широким спектром кормовых объектов, относятся представители отряда Mecoptera – *Panorpa communis* L.

Наибольшим разнообразием в пределах консортивного комплекса борщевика Сосновского обладает отряд Diptera (33 вида). Имаго двукрылых являются преимущественно нектаро-поллинофагами (исключение составляет *Empis borealis* (L.)). Для ряда видов отмечена специализация имагинального питания пыльцой и нектаром зонтичных: *Ischyrosyrphus glaucius* (L.), *I. laternarius* (Muller), *Leucozона lucorum* (L.), *Eristalis interrupta* (Poda), *Cheilosia pagana* (Mg.), *Ch. illustrata* (Harris). Большим экологическим разнообразием двукрылые обладают на стадии личиночного развития. Личинки большинства видов журчалок, посещающие борщевик, питаются тлями: *Dasysyrphus venustus* (Mg.), *Episyrphus balteatus* (DG), *Ischyrosyrphus glaucius* (L.), *I. laternarius* (Muller), *Leucozона lucorum* (L.), *Melangyna compositarum* (Verrall), *Pipiza bimaculata* Mg., *Syrphus ribesii* (L.), *Volucella pellucens* (L.), *Xanthogramma pedissequum* (Harris). На лучах зонтиков борщевика отмечена тля *Cavariella* sp. В колониях этой тли найдены личинки журчалок рода *Ischyrosyrphus*. Согласно данным литературы (Stubbs, Falk, 1983), личинки видов *Cheilosia illustrata* (Harris), *Ch. pagana* (Mg.) развиваются в стеблях и корнях зонтичных *Angelica*, *Heracleum*, *Anthriscus*. Имаго этих видов, как указано выше, тоже предпочитают зонтичные.



Личинки тахин *Eriothrix rufomaculatus* (DG), *Gymnosoma rotundatum* (L.), *Phasia aurulans* Mg. являются паразитами клопов. Из потенциальных жертв на соцветиях борщевика встречался клоп ягодный *Dolycoris baccarum* (L.) (Heteroptera, Pentatomidae). Личинки *Sarcophaga carnaria* (L.) – паразиты дождевых червей. В разлагающихся веществах растительного и животного происхождения развиваются 16 видов, среди них *Eristalis interrupta* (Poda), *Helophilus affinis* Wahlberg, *H. hybridus* Lw., *Sericomyia silentis* (Harris), *Phaonia angelicae* (Scopoli), *Brachyopa pilosa* Collin, *Temnostoma vespiforme* (L.), *T. sericomylaeforme* (Portschinsky), *Xylota caeruleiventris* Ztt., *Stratiomys chamaeleon* (L.), *Chloromya formosa* (Scopoli), *Cynomya mortuorum* (L.), *Lucilia sericata* (Mg.).

В исследуемом консортивном комплексе весьма разнообразным компонентом является также отряд Нуменоптера, который представлен 16 видами. Имаго всех отмеченных на борщевике перепончатокрылых насекомых питается преимущественно нектаром и пыльцой. Осы (*Ectemnius fossorius* (L.), *E. borealis* (Ztt.), *Gymnomerus laevipes* (Shuckard), *Dolichovespula media* (Retzius), *D. norvegica* (F.), *D. saxonica* (F.), *D. silvestris* (Scopoli), *Vespula austriaca* (Panzer)) на цветах попутно добывают для своих личинок других насекомых. Из надсемейства Apoidea на зонтичных встречены пчела-галикт *Lasioglossum zonulum* (Smith) и шмели *Bombus sporadicus* Nylander, *B. flavidus* Eversmann, *B. hypnorum* (L.), *B. pratorum* (L.). Интересно, что большинство встреченных на борщевике шмелей являются самцами. Это объясняется, вероятно, формой цветка и типом соцветий, легко доступных для их коротких ротовых аппаратов. На зонтике самцы могут длительное время ожидать самок, которые посещают эти цветы для питания. Период питания самок на цветке более короткий и встречаемость их ниже. Пилильщики *Dolerus* sp., *Tenthredo arcuata* Forster, посещающие растения этого вида, питаются на цветах нектаром и пыльцой, иногда разнообразя свой рацион другими насекомыми. На соцветиях борщевика изредка встречаются муравьи *Lasius niger* (L.), питающиеся падью в колониях тли *Cavariella* sp.

Работа поддержана грантом Президиума УрО РАН для молодых ученых и аспирантов № 14-4-НП-18. «Консортивные связи борщевика Соновского в условиях Республики Коми».

#### ЛИТЕРАТУРА

Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах средней России). М.: КМК, 2009. 494 с.

Далькэ И.В., Чадин И.Ф. Методические рекомендации по борьбе с неконтролируемым распространением растений борщевика Сосновского. Сыктывкар, 2008. 28 с.

Кривошеина М.Г. Насекомые – вредители борщевика Сосновского в Московском регионе и перспективы их использования в биологической борьбе // Российский журнал биологических инвазий. 2011. Т. 4. № 1. С. 44-51.

Лулева Н.Н. Борщевик Сосновского в России: современный статус и актуальность его скорейшего подавления // Вестник защиты растений. 2013. № 1. С. 29-43.

Панасенко Н.Н., Харин А.В., Ивенкова И.М., Зайцев С.А. Некоторые сведения о биологии борщевика Сосновского в Брянской области // Вестник Брянского государственного университета. 2013. № 4. С. 139-142.

Скупченко Л.А. Семеноведение борщевика Сосновского на Севере. Л.: Наука, 1989. 119 с.

Stubbs A.E., Falk S.J. British Hoverflies: An Illustrated Identification Guide. British Entomological & Natural History Society. 1983. 253 p.

## КОНСОРТИВНЫЕ СВЯЗИ РАСТЕНИЙ ТРИБЫ CARDUEAE (ASTERACEAE)

Е.Е. Расова<sup>1</sup>, С.В. Пестов<sup>2</sup>, Н.И. Филиппов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сыктывкарский государственный университет

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

E-mail: karagjoz@yandex.ru, pestov@ib.komisc.ru, filippov@ib.komisc.ru

Основой формирования экосистем являются экологические связи. В процессе эволюции организмы разных уровней трофической пирамиды формируют систему коадаптивных комплексов. На формирование взаимосвязей между растениями и насекомыми оказывает влияние множество факторов, в том числе химический состав растительных тканей, погоднo-климатические условия, конкуренция между членами консорции. Большой интерес представляет процесс формирования консортивных связей растений в процессе интродукции. В наших предыдущих работах были рассмотрены аспекты взаимоотношений насекомых фитофагов и экдистероидсодержащих растений рода *Serratula*, интродуцированных в средней тайге Республики Коми (Пестов и др., 2012; Уфимцев, Пестов, 2012; Расова, Пестов, 2013).

В настоящей работе нами предпринята попытка сравнительной характеристики консортивных комплексов растений трибы Cardueae. Объектами изучения являлись три вида местной флоры: *Centaurea phrygia* L., *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill., *Carduus crispus* L. и четыре интродуцированных вида: *Serratula coronata* L.,

*S. inermis* Gilib., *S. quinquefolia* M. Bieb. ex Willd., *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin. Исследования проводились в июле-августе 2012-2013 гг. в окрестностях г. Сыктывкара. Для выявления состава фитофагов осматривали растения на наличие повреждений насекомыми, собирались насекомые с листьев и стеблей растений. Активность опылителей оценивали визуально на учетных площадках за 20 мин. Учеты (по 10-12 для каждого растения) проводились в течение всего периода цветения. Для выявления видового состава после каждого учета осуществлялся сбор насекомых-консорт (всего собрано около 1500 особей). Для анализа структуры комплексов опылителей использован принципиальный компонентный анализ (РСА) с применением программы Past 2.17.

В условиях средней тайги Республики Коми на семи представителях трибы Cardueae нами обнаружено 153 вида насекомых из семи отрядов и 35 семейств (см. таблицу). Самыми разнообразными отрядами являются двукрылые и перепончатокрылые. В видовом составе консортов дикорастущих растений преобладают двукрылые (50-60% видового состава), а у интродуцированных видов – перепончатокрылые (30-60% видового состава). В таблице приведены данные по числу видов насекомых в консортивных комплексах изученных видов. Наибольшее разнообразие отмечено на бодяке – 88 видов. Сборы на *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin. и *Carduus crispus* L. проводились только в течение одного сезона и поэтому данные по видовому составу их консортов носят пока предварительный характер.

Наиболее распространенными фитофагами изученных видов растений являются тля *Uroleucon jaceae* L. и листоед *Cassida vibex* (L.). Ранее (Пестов и др., 2012; Уфимцев, Пестов, 2012) тля *Uroleucon jaceae* L. была указана только на *S. coronata*, а в 2012 г. этот вид обнаружен нами на *Centaurea phrygia* L. На всех обследованных видах растений этой трибы в окрестностях г. Сыктывкара зафиксирован *C. vibex*. Преимущественно на бодяке встречался также вид *Cassida rubiginosa* Muller. Нами отмечено, что смертность *C. vibex* значительно различается при питании на разных растениях (Расова, Пестов, 2013). Наибольшая смертность личинок (62.2%) отмечена на бодяке, наименьшая – на серпухе (20.0%). Листья *Serratula coronata* и *Cirsium heterophyllum* повреждаются минирующей мушкой *Phytomyza spinaciae* Hendel. В головках развиваются пестрокрылки *Terellia ruficauda* (F.) и *Urophora jaceana* (Hering). На стеблях *Cirsium heterophyllum* обнаружены галлы *Urophora cardui* (L.).

Доминирующей группой антофильных насекомых на представителях рода *Serratula* являлись шмели. Всего отмечен 21 вид, из

**Таксономический состав насекомых-консортот растений трибы Cardueae**

Отряд / семейство	<i>Carduus crispus</i>	<i>Centaurea phrygia</i>	<i>Cirsium heterophyllum</i>	<i>Rhaphaniticum carthamoides</i>	<i>Serratula coronata</i>	<i>Serratula innermis</i>	<i>Serratula quinquefolia</i>	Всего видов
HOMOPTERA	–	1	3	–	1	1	1	4
Aphidae	–	1	1	–	1	1	1	2
Cicadellidae	–	–	2	–	–	–	–	2
HETEROPTERA	2	4	7	1	3	2	2	9
Acanthosomatidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Coreidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Miridae	1	2	5	1	1	1	1	5
Pentatomidae	1	2	2	–	2	1	1	2
NEUROPTERA	–	–	–	–	1	–	–	1
Chrysopidae	–	–	–	–	1	–	–	1
COLEOPTERA	2	9	11	1	8	2	1	18
Carabidae	–	1	1	–	–	–	–	1
Cerambycidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Chrysomelidae	1	2	2	–	3	1	1	4
Coccinellidae	1	2	4	–	3	–	–	7
Oedemeridae	–	1	2	–	–	–	–	2
Scarabaeidae	–	2	1	1	1	1	–	2
Tenebrionidae	–	1	–	–	1	–	–	1
LEPIDOPTERA	–	3	3	–	5	3	–	9
Crambidae	–	–	–	–	1	–	–	1
Hesperiidae	–	–	–	–	1	–	–	1
Noctuidae	–	1	–	–	1	–	–	1
Nymphalidae	–	1	3	–	1	2	–	5
Pieridae	–	1	–	–	1	1	–	1
HYMENOPTERA	3	17	13	7	18	19	16	36
Andrenidae	–	1	–	1	–	–	–	2
Apidae	3	10	5	6	17	18	15	22
Megachilidae	–	2	–	–	–	–	–	2
Ichneumonidae	–	2	–	–	–	–	–	2
Sphecidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Halictidae	–	1	1	–	1	1	–	1
Eumenidae	–	–	2	–	–	–	–	2
Eurytomidae	–	1	1	–	–	–	–	1
Tenthredinidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Vespidae	–	–	2	–	–	–	1	3
DIPTERA	5	26	51	6	18	17	6	75
Agromyzidae	–	–	1	–	1	1	–	1
Anthomyiidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Asilidae	–	1	1	–	–	–	–	1
Bibionidae	–	–	1	–	1	–	–	1

Окончание таблицы

Отряд / семейство	<i>Carduus crispus</i>	<i>Centaurea phrygia</i>	<i>Cirsium heterophyllum</i>	<i>Rhaphaniticum carthamoides</i>	<i>Serratula coronata</i>	<i>Serratula innermis</i>	<i>Serratula quinquefolia</i>	Всего видов
Bombyliidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Calliphoridae	–	1	8	–	–	–	–	8
Chloropidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Conopidae	–	1	1	–	–	–	–	2
Empididae	–	1	1	–	1	1	–	1
Lauxaniidae	–	–	–	–	–	1	–	1
Muscidae	2	4	3	–	2	2	2	4
Sarcophagidae	–	–	1	–	–	–	–	1
Syrphidae	3	15	16	6	12	11	4	34
Tachinidae	–	–	12	–	–	1	–	12
Tephritidae	–	3	3	–	1	–	–	4
Всего видов	12	60	88	15	54	44	26	153

Примечание: прочерк – нет данных.

них наиболее распространенными были *Bombus jonellus* (Kirby), *B. pascuorum* (Scopoli) и *B. sporadicus* Nylander. Из шмелей, отмеченных в наших сборах, два вида (*Bombus sporadicus* и *B. schrencki* Morawitz) включены в Красную книгу Республики Коми (2009). Наибольшая доля шмелей отмечалась на *S. quinquefolia* (до 90% от общего числа опылителей).

По данным количественных учетов, двукрылые преобладают на бодяке и васильке. Их обилие на этих растениях составляло около 50%. По данным Г.М. Длусского (2013), полученным в Московской области, в составе опылителей бодяка преобладают перепончатокрылые (50%), а двукрылые составляли только около 5% от общего количества опылителей. Это может свидетельствовать о значительных географических различиях комплексов опылителей. Наиболее разнообразной в видовом отношении группой двукрылых являются мухи журчалки (34 вида). Среди них наиболее часто встречались *Epistrophe nitidicollis* (Mg.), *Episyrphus balteatus* (DG), *Parasyrphus nigratarsis* (Ztt.), *Sphaerophoria scripta* (L.), *Syrphus vitripennis* Mg. Все они на стадии личинки питаются глями.

Жуки в антофильных комплексах трибы Cardueae сравнительно малочисленны. Наибольшее число жесткокрылых отмечено на васильке фригийском – 8,7%. Большинство видов жуков, встречающихся на соцветиях сложноцветных, являются энтомофага-

ми. Среди них наибольшим видовым разнообразием отличаются божьи коровки *Calvia quindecimguttata* (Fabricius), *Coccinella septempunctata* L., *Coccinula quatuordecimpustulata* L., *Semiadalia notata* (Laicharting), *Hippodamia septemmaculata* (DG), *Propylea quatuordecimpunctata* (L.), *Psyllobora vigintiduopunctata* (L.). На цветках бодяка и василька изредка попадались жужелица *Patrobus assimilis* Chaudoir, узконадкрылки *Oedemera femorata* (Scop.) и *O. virescens* (L.). Из жуков-антофагов наиболее часто встречались *Lepturobosca virens* (L.), *Oxythyrea funesta* (Poda) и *Potosia cuprea metallica* (Herbst).

Из чешуекрылых преобладали представители семейства многоцветницы: *Vanessa cardui* (L.), *Nymphalis c-album* (L.), *Brenthis ino* (Rott.), *Argynnis paphia* (L.), *Argynnis adippe* (Den. et Schiff.). Наибольшее обилие чешуекрылых отмечено на бодяке. На *S. quinquefolia* бабочки не отмечены. Белянки *Goneprteryx rhamni* (L.) преобладали на *S. inermis*, многоцветницы чаще встречались на *C. heterophyllum* и *S. coronata*. Реже всего попадались бархатницы: их обилие на всех видах растений не превышало 1%.

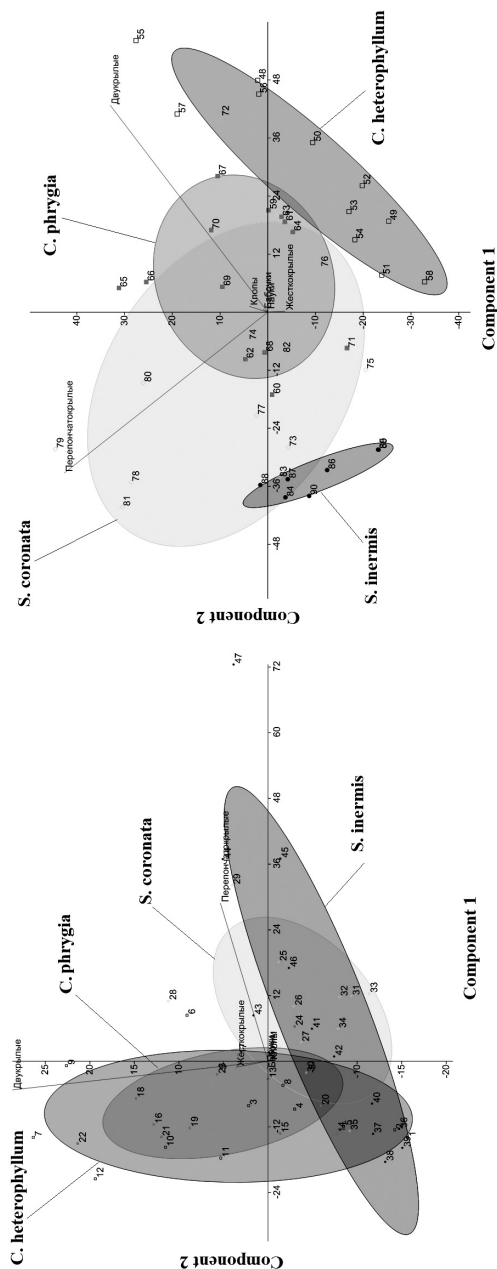
В структуре комплексов опылителей четырех видов растений отмечаются межгодовые различия (см. рисунок).

В 2012 г. отмечено значительное перекрытие экологических ниш в комплексах опылителей четырех изученных видов растений. Перекрытие экологических ниш приводит к обострению конкуренции консортов за пищевую ресурс и энтомофильных растений за опылителей. Во всех изученных ситуациях (Длусский, 2013) конкуренция приводила к заметному снижению семенной продуктивности растений. В 2013 г. перекрытие ниш наблюдалось только у *S. coronata* и *C. phrygia*. Это предположительно связано с межгодовыми различиями погодных условий и сроков цветения растений. В связи с чем может значительно меняться интенсивность конкуренции растений за опылителей.

Авторы выражают благодарность специалистам Института биологии Коми НЦ УрО РАН: д.б.н., зав. отделом М.М. Долгину, к.б.н., в.н.с. А.Г. Татаринovu и к.б.н., н.с. О.И. Кулаковой, к.б.н., м.н.с. Т.Н. Конаковой за помощь в определении насекомых, а также к.б.н., н.с. К.Г. Уфимцеву за участие в обсуждении полученных данных и ценные советы в процессе проведения исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

Длусский Г.М. Значение конкуренции за опыление в формировании структуры комплекса энтомофильных растений // Журнал общей биологии. 2013. Т. 74. № 6. С. 434-449.



Расположение учетов антофильных насекомых в осях главных компонент (2012-2013 гг.).



Красная книга Республики Коми. Сыктывкар, 2009. 791 с.

Пестов С.В., Уфимцев К.Г., Володин В.В. и др. Консортивные связи экистероидсодержащего растения *Serratula coronata* L. (Asteraceae) // Теоретическая и прикладная экология, 2012. № 1. С. 77-82

Расова Е.Е., Пестов С.В. Экология листоеда *Cassida vibex* L. в условиях средней тайги Республики Коми // Молодежь и наука на Севере: Матер. докл. II Всерос.(XVII) молодеж. науч. конф. (в 2-х томах). Сыктывкар, 2013. Т. I. С. 116-118.

Уфимцев К.Г., Пестов С.В. Насекомые-фитофаги экистероидсодержащих растений рода *Serratula* // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. XIX Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2012. С. 101-103.

## ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ГОЛОВЕШКИ-РОТАНА (*PERCCOTTUS GLENII* DUBOWSKI, 1877) ПРУДОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДА СЫКТЫВКАРА

**Р.Р. Рафиков**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: rafikov@ib.komisc.ru

На территории России отмечено стремительное расселение некоторых видов рыб, связанное как с их локальными перевозками, так и с трансформацией речных бассейнов. Изучение морфологических, биологических и экологических особенностей таких представляет значительный интерес, поскольку способствует расширению представлений о процессах адаптации вида к новым условиям. Появление новых элементов в рыбной части сообщества приводит к интенсификации сукцессионных процессов, знание о которых необходимо для прогнозирования возможных преобразований ихтиофаун как отдельных водоемов, так и целых речных бассейнов.

Одним из таких интродуцентов в Республике Коми является представитель китайского фаунистического комплекса головешка-ротан (*Perccottus glenii* Dubowski, 1877). Его нативный ареал на территории России захватывает бассейн Амура и некоторые реки Приморья (Никольский, 1971). Однако за последнее столетие он заметно расширился. В европейскую часть он впервые завезен в 1912 г., а в 1916 г. выпущен в пруд под Санкт-Петербургом. В 1948 г. участники Амурской экспедиции завезли его в Москву. С этого времени и началось активное расселение вида, которому способствовали локальные и далекие перевозки его людьми. К настоящему времени за пределами своего естественного ареала этот вид обнаружен в 48 субъектах Российской Федерации, а также в

Литве, Латвии, Эстонии, Белоруссии, Молдавии, Украине, Казахстане (на севере страны), Монголии, Польше, Словакии, Венгрии, Сербии, Болгарии и Румынии. Инвазийный ареал ротана простирается более чем на  $100^\circ$  с запада на восток и почти на  $20^\circ$  с севера на юг (Решетников, 2009).

Значительная величина инвазийного потенциала обеспечивается крайне широким диапазоном выносливости по отношению к различным абиотическим факторам, порционным нерестом, заботой о потомстве и т.д. В условиях приобретенного ареала данный вид рыб осваивает различные типы техногенных и естественных водоемов, отдавая предпочтение озерам и прудам, зарастающим макрофитами.

К числу таких водоемов относятся два небольших пруда, находящиеся на территории дачного комплекса на северо-западе г. Сыктывкара. Пруд № 1 имеет вытянутую форму, поскольку образован при помощи землеуглубительных работ в русле ручья. Его длина около 300 м, а площадь водного зеркала примерно 6 га. Грунт песчаный с наилком. Пруд № 2 имеет овальную форму, длину порядка 100 м и площадь зеркала около 3 га. По-видимому, в весенний период данные водоемы соединяются протокой с р. Дырнос, являющейся притоком р. Вычегда. В летний период поверхность пруда № 2 может полностью покрываться ряской малой.

По гидрохимическим показателям вода относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу первого типа с повышенным содержанием ионов натрия и калия (минерализации 260 и 300 мг/л соответственно). Это может быть результатом применения на дачных участках, относящихся к водосборной площади прудов, различных удобрений.

Вдоль берегов произрастают лиственные и хвойные породы деревьев, а также отмечены заросли рогоза и различных видов осок, органический опад которых поступает в водоемы, что ухудшает их кислородный режим, особенно в зимний период.

Анализ 27 пластических и восьми меристических морфологических признаков проводили по общепринятой методике (Правдин, 1966). Для более точного определения количества лучей в плавниках и жаберных тычинок их окрашивали ализариновым красным (Якубовский, 1970). Поскольку объем обработанного материала составил 25 экз. из пруда № 1 и 30 экз. из пруда № 2, провести анализ полового деморфизма не представлялось возможным, поэтому данные представлены смешанным по половому составу материалом.

Выборка рыб из пруда № 1 характеризуется относительно меньшими максимальными высотой и шириной тела, а также вы-

сотой анального и длиной брюшного плавников. Размерно-возрастной изменчивостью и половым деморфизмом это объясняться не может, поскольку средняя длина рыб изучаемых водоемов одинакова (86 и 84 мм), а соотношение полов в выборках 1:1. Однако показатели упитанности особей из пруда № 2 несколько выше ( $Q_{\phi}$  2,78 и 2,96;  $Q_{\kappa}$  2.16 и 2.32). Это может свидетельствовать о более благоприятных условиях нагула и, соответственно, отражаться на экстерьерных качествах рыб.

По меристическим показателям ротан, отловленный нами в пруду № 1, отличается большим количеством позвонков и лучей во втором спинном плавнике (табл. 1). Значительная разница количества позвонков у рыб, относящихся к единой локальной группировке, является следствием большого числа аномалий развития (табл. 2). Проявляются они в виде дефектов осевого скелета (компрессия позвонков) и скелета конечностей (дополнительные лучи в плавниках или их срастание).

После перерасчета числа сжатых позвонков их количество для выборок из различных прудов достоверно не отличается (табл. 1). Значительная частота таких аномалий у рыб в пруду № 2 может свидетельствовать о крайне неблагоприятных условиях раннего онтогенеза. Возможно, часть дефективных особей относится к генерации 2010 г., отличающейся длительной высокой температурой в летнее время. Подобные аномалии развития были отмечены нами у рыб, интродуцированных в водоем-охладитель Печорской ГРЭС, имеющий специфический термический и гидрохимический режимы. Доказано, что температура среды на прямую влияет на формирование морфологических структур в раннем онтоге-

Таблица 1

**Меристические признаки головешки-ротана прудов окрестностей г. Сыктывкар**

Количество	Пруд № 1		Пруд № 2		Tst
	X	Mx	X	Mx	
Лучей в первом спинном плавнике	7.92	0.15	7.80	0.11	0.64
во втором спинном плавнике	10.32	0.16	9.60	0.16	<b>3.22</b>
в анальном плавнике	8.20	0.20	8.27	0.18	0.25
в грудном плавнике	17.24	0.12	17.13	0.18	0.49
в брюшном плавнике	4.92	0.06	5.00	0.00	1.44
Поперечных рядов чешуй	38.76	0.25	38.33	0.24	1.22
Жаберных тычинок	11.80	0.19	11.90	0.15	0.41
Позвонков	29.72	0.14	28.97	0.18	<b>3.31</b>
Позвонков (с учетом перерасчета)	29.92	0.11	29.77	0.11	0.95

*Примечание:* здесь и в табл. 3 достоверные различия выделены жирным шрифтом.

Таблица 2

**Количество компрессий позвонков ротана-головешки  
прудов окрестностей г. Сыктывкар**

Водоем	Количество рыб с компрессиями позвонков, шт.	Доля особей с разным количеством случаев компрессий на особь, %		
		Один случай	Два случая	Три случая
Пруд № 1	6	100	–	–
Пруд № 2	17	65	29	6

незе рыб (Татарко, 1968; Павлов, 2007). С другой стороны, значительный вклад в адаптивные возможности вида к факторам среды может вносить ограниченность (и случайный характер) набора генотипов особей, на базе которых происходит формирование новой популяции.

Сравнительный анализ, проведенный с ранее опубликованными по этим группировкам головешки-ротана данными (Бознак, 2004), позволил выявить ряд особенностей (табл. 3). Объединенные выборки рыб, отловленные в 2012-2013 гг., характеризуются большим количеством жаберных тычинок и позвонков (с учетом перерасчета), а также лучей в анальном плавнике. Увеличение со временем количества элементов морфологических структур может трактоваться как адаптация вида к размножению и развитию при температурах, отличных от таковых на части ареала, откуда он был завезен. Возможно, выявленные различия могут быть следствием использования разными операторами неодинаковых приемов оценки меристических признаков.

Таким образом, исходя из проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Благодаря высокому инвазийному потенциалу можно ожидать дальнейшее распространение вида по территории южной части Республики Коми.

Таблица 3

**Сравнение меристических показателей головешки-ротана  
прудов окрестностей г. Сыктывкар по данным разных лет**

Количество	Объединенные выборки				Tst
	Наши данные		Бознак, 2004		
	X	Mx	X	Mx	
Лучей в первом спинном плавнике	7.85	0.09	7.78	0.1	0.55
во втором спинном плавнике	9.93	0.04	10.11	0.2	0.90
в анальном плавнике	8.24	0.13	7.61	0.16	<b>3.02</b>
Жаберных тычинок	11.85	0.12	11.18	0.23	<b>2.61</b>
Позвонков	29.31	0.13	29.12	0.12	1.08
Позвонков (с учетом перерасчета)	29.84	0.08	29.12	0.12	<b>4.95</b>

2. Головешка-ротан прудов окрестностей г. Сыктывкара характеризуется высокой частотой компрессионных явлений в позвоночнике исследованных выборок.

3. По-видимому, выявленное увеличение количества элементов в некоторых меристических структурах можно расценивать как следствие адаптации вида к условиям обитания на севере.

4. При исследовании как видов-вселенцев, так и аборигенных, необходимо обязательное применение специальных средств (бинокляр, различные красители), повышающих точность выявления количества элементов в морфологических структурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

Бознак Э.И. Головешка-ротан *Percottus glenii* (Eleotridae) из бассейна реки Вычегды // Вопр. ихтиологии. 2004. Т. 44. № 5. С. 712-713.

Никольский Г.В. Частная ихтиология. М.: Высш. школа, 1971. 472 с.

Павлов Д.А. Морфологическая изменчивость в раннем онтогенезе костистых рыб. М.: ГЕОС, 2007. 264 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М., 1966. 376 с.

Решетников А.Н. Современный ареал ротана *Percottus glenii* Dybowski, 1877 (Odontobutidae, Pisces) в Евразии // Российский журнал биологических инвазий. 2009. № 3. С. 22-35.

Татарко К.И. Влияние температуры на меристические признаки рыб // Вопр. ихтиологии. 1968. Т. 8. Вып. 3. С. 425-439.

Якубовский М. Методы выявления и окраски системы каналов в боковой линии и костных образований у рыб in toto // Зоол. журн. 1970. Т. 49. № 9. С. 1398-1402.

## **ДИНАМИКА БИОМАССЫ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ APORRECTODEA CALIGINOSA (SAVIGNY 1826) (OLIGOSCHAETA: LUMBRICIDAE) В СТАРОВОЗРАСТНЫХ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ**

**М.П. Шашков**

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН  
E-mail: max.carabus@gmail.com

Наземные экосистемы играют ключевую роль в глобальном цикле органического углерода. По современным оценкам, в живой биомассе, почве и органических остатках в масштабах биосферы содержится около 2500 млрд. т углерода. В умеренных лесах органическое вещество сконцентрировано в почве в виде растительного опада и гумусового почвенного горизонта. Бореальные экосистемы содержат свыше 500 млрд т органического углерода, что более чем в два раза больше, чем в наземной биомассе тропических

лесов (Кокорин, 2004). Разложение растительных остатков происходит при непосредственном участии почвенной фауны, в первую очередь дождевых червей. Наличие и интенсивность деятельности червей напрямую связана с типом гумусообразования (мор, модер и муль) (Ponge, 2003).

В настоящее время для оценки, прогноза динамики лесных экосистем на территории европейской части России и их участия в глобальном балансе углерода применяется модель EFIMOD 2 (Kotayev et al., 2003), включающая в себя модель процессов трансформации органического вещества в почве ROMUL (Chertov et al., 2001). В данной системе участие почвенной фауны представлено только в виде коэффициента. Для дальнейшего развития модели необходима разработка подмодели популяционной динамики дождевых червей. На пути к этому есть серьезное препятствие в виде недостатка литературных данных для параметризации модели. В исследованиях населения дождевых червей на территории европейской части России, как правило, указывается только общая численность видов дождевых червей, редко биомасса, а онтогенетическая структура обычно не рассматривается вовсе.

Объектом данного исследования стал внутрпочвенный червь *Aporrectodea caliginosa*. Данный вид широко распространен в лесах, произрастающих на почвах с органо-минеральным горизонтом, обычно преобладает (по биомассе) в почвенной фауне и, соответственно, делает наибольший вклад в процесс оборота органики в почве.

Согласно экспериментальным данным, пороговая отрицательная температура для выживания взрослых червей *A. caliginosa* составляет  $-5^{\circ}\text{C}$ , а для коконов  $-15^{\circ}\text{C}$  (Holmstrup, Overgaard, 2007; Мещерякова, 2011). Такая морозостойкость позволяет данному виду заселять лесные территории, на которых сильное промерзание почвы случается не каждую зиму, так как жизненный цикл развития «от кокона до кокона» занимает два-три сезона (Achuthan et al., 1998).

Цель исследования – определить показатели биомассы и охарактеризовать популяционную динамику дождевого червя *A. caliginosa* для параметризации подмодели населения дождевых червей в модели трансформации органического вещества почвы.

На территории Калужской области в лесах заповедника «Калужские засеки» и национальном парке «Угра» было изучено шесть участков старовозрастного полидоминантного широколиственного леса, древесный ярус которых представлен широколиственными видами деревьев: *Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill., *Ulmus glabra* Huds., *Acer platanoides* L.,

*Acer campestre* L. На одном участке в составе древостоя участвовали деревья *Populus tremula* L. Возраст древостоя не менее 150-200 лет, на некоторых участках более 250 лет. В подросте исследованных лесов отмечены все широколиственные виды деревьев, кроме дуба. В подлеске преобладает *Corylus avellana* L. В почвенном покрове доминируют неморальные виды (*Aegopodium podagraria* L., *Mercurialis perennis* L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Pulmonaria obscura* Dumort.) и нитрофильный папоротник *Matteucia struthiopteris* (L.) Tod. В весенний период разнообразны эфемероиды (*Allium ursinum* L., *Corydalis cava* (L.) Schweigg. & Korte, *Corydalis bulbosa* (L.) DC., *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers., *Ficaria verna* Huds., *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub). Проективное покрытие *A. ursinum* местами достигает 100%. Моховой ярус не выражен. Почвы на двух исследованных участках темногумусовые с гумусовым горизонтом мощностью от 60 до 130 см, на остальных – серые лесные и дерново-подзолистые с гумусовым горизонтом мощностью около 20 см.

Сбор полевых данных выполнен при помощи ручного разбора почвенных монолитов 25×25 см и 35 см глубиной. Сборы проводились в мае 2003, 2006 и 2012 гг., потому что в это время население червей отражает результаты перезимовки и является отправной точкой для развития населения в данном сезоне.

Для каждого собранного экземпляра *A. caliginosa* определялось онтогенетическое состояние и биомасса. Выделялись три онтогенетических состояния: ювенильные – juvenile, созревающие – subAdult и половозрелые – Adult. Биомасса определялась на влажном фиксированном материале (4% -ный раствор формальдегида) при помощи электронных весов Ohaus Scout Pro 123 с точностью до 1 мг. Полученные данные проанализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализ (ANOVA) при уровне значимости 0.05. Проверка распределений на нормальность проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка, равенство дисперсий между группами оценивали с помощью критерия Левена. В качестве post hoc критерия был использован тест Тьюки. Все расчеты выполнены в открытом статистическом пакете R версии 3.0.2 (R project..., 2013).

Среди населения дождевых червей обследованных участков червь *A. caliginosa* оказался наиболее массовым видом – его общая биомасса составила 24-44 г/м<sup>2</sup> (39-71% от общей биомассы дождевых червей).

На графиках распределения общей биомассы по онтогенетическим стадиям (рис. 1 и 2) видно, что соотношение онтогенетических стадий в 2003 и 2012 гг. сходное. По сравнению с этими по-



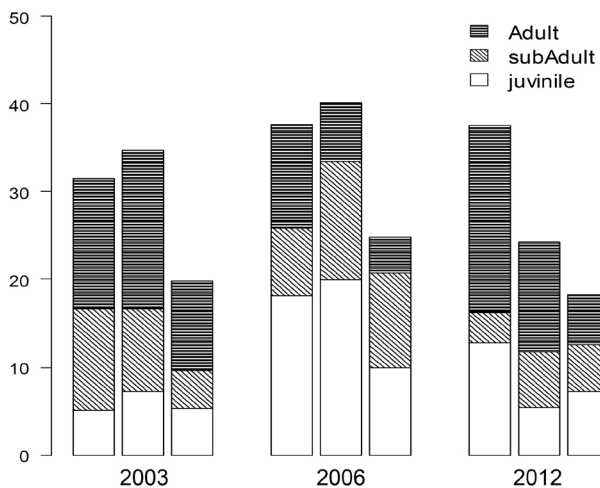


Рис. 1. Соотношение общей биомассы онтогенетических стадий *Aporectodea caliginosa* на исследованных лесных участках, г/м<sup>2</sup>.

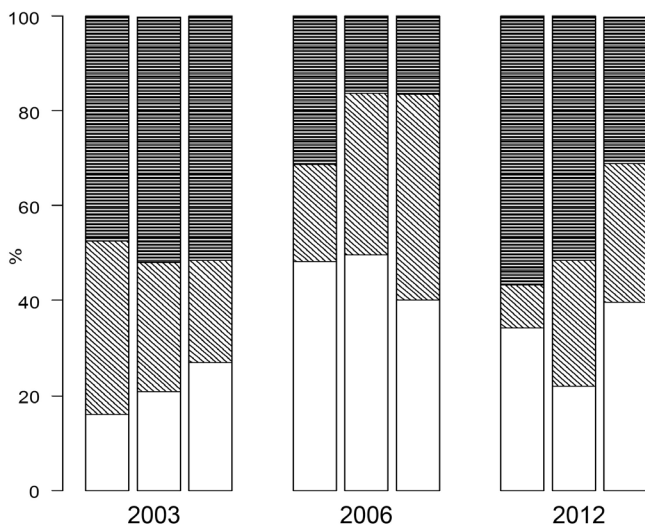


Рис. 2. Процентное соотношение общей биомассы онтогенетических стадий *Aporectodea caliginosa* на исследованных лесных участках. Условные обозначения см. на рис. 1.

казателями в 2006 г. была выше биомасса ювенильных червей, но меньше биомасса половозрелых, при этом уменьшение общей биомассы половозрелых произошло за счет крупных особей. Предположительно, это связано с тем, что зима 2005/06 г. была суровой – температура воздуха неоднократно опускалась ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ , а по некоторым литературным данным (Holmstrup et al., 2007), крупные дождевые черви хуже переносят зиму, чем мелкие.

Статистический анализ показал, что значимые различия между годами по суммарной биомассе есть только для ювенильных дождевых червей. Повышенная биомасса ювенильных червей в 2006 г. может быть объяснена мягкими зимами 2003/04 и 2004/05 гг., в течение которых температура воздуха не опускалась ниже  $-18^{\circ}\text{C}$ , что, возможно, привело к тому, что осенью 2005 г. было отложено большое количество коконов, благополучно перенесших суровую зиму 2005/06 гг., и весной из них массово вышли ювенильные черви.

Предположительно, мы имеем дело с многолетней динамикой населения *A. caliginosa*. Население в 2003 и 2012 гг. проходит через одну фазу, или же популяция стремится к некоторому стабильному состоянию, но случающиеся климатические отклонения (летняя засуха; суровая зима, особенно когда снег ложится уже на промерзшую землю, или, наоборот, мягкие зимы) сдвигают онтогенетический спектр в ту или иную сторону. Особенности населения весны 2006 г. могут свидетельствовать о том, что многолетняя динамика вида *A. caliginosa* в условиях лесных почв с хорошо развитым гумусовым горизонтом может отражать погодные особенности одного-двух предыдущих вегетационных сезонов.

Автор благодарит Н.В. Иванову, М.В. Бобровского, Т.С. Всеволодову-Перель и Б.Р. Стриганову за помощь на разных этапах исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-04-01734-а).

#### ЛИТЕРАТУРА

Мещерякова Е.Н. Устойчивость дождевых червей (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*, *Moniligastridae*) к отрицательным температурам: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2011. 20 с.

Кокорин А. Киотский протокол – дополнительное средство финансирования мер по устойчивому ведению лесного хозяйства // Устойчивое лесоуправление. 2004. № 4 (6). С. 9-20.

Achuthan G.N., Bennour S.A. Cocoons and hatchlings of *Aporrectodea caliginosa* (Savigny 1826) (*Oligochaeta*: *Lumbricidae*) in Benghazi, Libya // Journal of Arid Environments. 1998. Vol. 40. P. 459-466.

Chertov O.G., Komarov A.S., Nadporozhskaya M.A., Bykhovets S.S., Zudin S.L. ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a sub-

stantial tool for forest ecosystem modelling // Ecological Modeling. 2001. Vol. 138. P. 289-308.

*Holmstrup M., Overgaard J., Bayley M.* Small *Dendrobaena* earthworms survive freezing better than large worms // Cryobiology. 2007. Vol. 54. P. 298-300.

*Komarov A., Chertov O.* et all. EFIMOD 2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems // Ecological Modelling. 2003. Vol. 170. P. 373-392.

*Ponge J.F.* Humus form in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity // Soil Biology & Biochemistry. 2003. Vol. 35. P. 935-945.

R project for Statistical Computing // [www.r-project.org](http://www.r-project.org), accessed: November 2013.

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

**ПРОФИЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ**  
**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**  
**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)

Массивные отложения частично сохранившихся растительных остатков и органической материи накапливаются в виде торфяных залежей, в которых хранится огромный объем многослойной информации о былых процессах (Русанова, 2010). Состав гумусовых веществ (ГВ) торфяников является характеристическим показателем, отражающим климатические условия периода его формирования. Это связано с составом ботанического и палинологического материала в периоды голоцена (Левашенко и др., 2007). Содержание функциональных групп и молекулярных фрагментов (по данным  $^{13}\text{C}$ -ЯМР) ГВ торфа зависит от его ботанического вида и степени разложения исходных растительных остатков. Соотношения алифатических и ароматических фрагментов, как правило, связаны с типами и видами торфов, а содержание кислородсодержащих карбоксильных и фенольных групп указывает на степень гумификации растительного опада (Сартаков и др., 2009; Гостищева и др., 2010). Многими исследователями отмечается температурная чувствительность разложения почвенного органического вещества многолетней мерзлоты (Worall et al., 2004).

Цель работы – определение элементного состава и структурно-функциональных параметров ГВ по профилю тундровых бугристых торфяников.

Район исследования расположен в Большеземельской тундре Воркутинского района Республики Коми с распространением массивно-островной многолетней мерзлоты. Исследования проведены в пределах бугристо-мочажинного комплекса на сухоторфяных мерзлотных почвах бугров (разрез 13-Ж) и почвах оголенных торфяных пятен (разрез 12-Ж). Мощность торфяного слоя бугров колеблется от 80 см до 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.

**Элементный состав ГВ тундровых торфяников.** На основании анализа элементного состава препаратов показано уменьшение мольного отношения  $x(H) : x(C)$  для гуминовых кислот (ГК) по профилю почвы оголенных торфяных пятен с 1.05 до 0.83 и сухоторфяных мерзлотных почв бугров с 1.16 до 0.98, что связано с большей конденсированностью молекул ГК и большей степенью гумификации органического вещества. Мольное отношение  $x(O):x(C)$ , а также степень окисленности ГК по профилю торфяных пятен меняется хаотически, а сухоторфяных почв – практически не меняется. Минерализация азотсодержащих фрагментов в составе ГВ, в частности аминокислотных фрагментов, выражается в уменьшении мольного отношения  $x(C) : x(N)$ .

**$^{13}C$ -ЯМР-спектры ГВ тундровых торфяников.** Сопоставление  $^{13}C$ -ЯМР-спектров гуминовых и фульвокислот (ФК) показывает большую интенсивность линий ГК, соответствующую парафи-

**Элементный состав гуминовых кислот бугристых торфяников**

Горизонт/ глубина, см	Мольное отношение элементов				Степень окисленности, $w^2$
	$x(H) : x(C)$	$x(O) : x(C)$	$x(C) : x(N)$	$(H:C)_{исп}^1$	
Разрез 12-Ж					
$T_{крист.}$ 0-5	1.05±0.10	0.52±0.10	18.1±1.3	1.75±0.17	-0.004±0.011
T1 0-20	1.01±0.10	0.59±0.10	19.2±1.4	1.79±0.17	0.163±0.011
T2 20-40	0.82±0.08	0.60±0.09	28.1±2.1	1.63±0.14	0.382±0.014
T3 40-60	0.83±0.08	0.66±0.09	26.7±2.0	1.72±0.14	0.490±0.017
T4 60-80	0.93±0.09	0.62±0.09	20.3±1.5	1.76±0.16	0.304±0.013
Разрез 13-Ж					
T1 0-10	1.16±0.12	0.54±0.11	18.0±1.3	1.89±0.19	-0.082±0.012
T2 10-20	1.10±0.11	0.55±0.11	18.7±1.4	1.84±0.18	-0.001±0.011
T3 20-35	1.07±0.11	0.53±0.11	18.5±1.4	1.78±0.18	-0.001±0.011
T4 40-60	1.06±0.10	0.56±0.10	19.3±1.4	1.82±0.18	0.067±0.010
T5 60-80	0.98±0.10	0.58±0.10	20.4±1.5	1.76±0.16	0.186±0.011

*Примечание:*  $^1 (H:C)_{исп} = x(H) : x(C) + 1.34(x(O) : x(C))$  (Орлов, 1990);  $^2 w = (2x(O) - x(H) : x(C))$ .

новым, метокси- и аминогруппам, ароматическим фрагментам, и меньшую – углеводным фрагментам. Количественный анализ структурных фрагментов молекул ГВ выявил низкую долю атомов углерода ароматических компонентов, составляющую от 16.1 до 27.4% для ГК, от 3.0 до 15.0% – для ФК. ФК торфа обогащены кислородсодержащими фрагментами и меньшим количеством парафиновых структур (до 24.2%). Отмечается близкое содержание карбоксильных групп ГК по сравнению с ФК в торфяниках, что не свойственно для минеральных почв, в которых массовая доля –СООН ФК значительно выше. Высокая доля углеводных фрагментов (до 78.4%) делает молекулы ФК более предпочтительным объектом питания микроорганизмов по сравнению с ГК (до 22.9%), которые более чем на половину состоят из термобиоустойчивых алифатических цепочек и ароматических фрагментов.

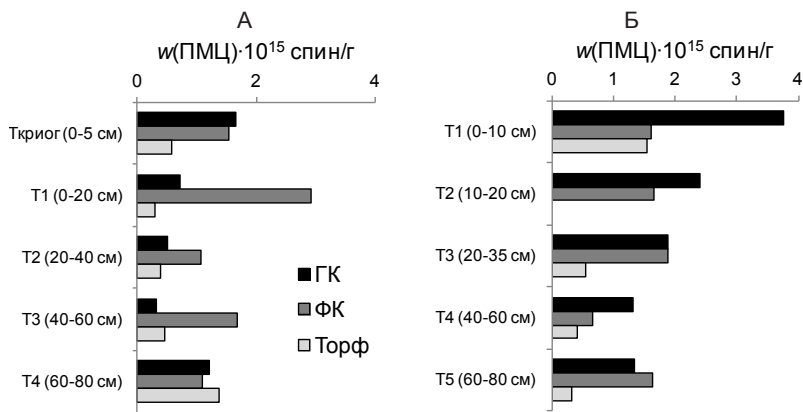
Оценка содержания функциональных групп и молекулярных фрагментов ГК свидетельствует о существенном различии их молекулярного состава при переходе от верхних слоев торфа к нижним и характеризуется: уменьшением относительной доли парафиновых групп (от 46.6 до 30.4%) и увеличением доли ароматических фрагментов молекул (от 16.1 до 27.4%) в составе ГК. Наблюдается тренд, проявляющийся в снижении доли окисленных фрагментов в составе ароматических структур и увеличение – окисленных алифатических фрагментов молекул ГК. Состояние лабильных компонентов в составе ГВ связано со слабой биологической активностью и восстановительными режимами торфяников. Органическое вещество, находясь в законсервированном состоянии, трансформируется крайне медленно. Доля лабильных углеводных фрагментов, amino- и метоксигрупп ГК практически не меняется с глубиной. Содержание карбоксильных групп ГК либо имеет тренд на уменьшение (от 8.5 до 6.1%), либо практически не меняется. Однако наблюдается взаимосвязь колебания содержания карбоксильных и карбонильных групп ГК и ФК, вызванная частичным восстановлением –СООН в анаэробных условиях, что также выражается в накоплении структур хинонов и кетонов по профилю. Длительное воздействие низких температур приводит к отщеплению наименее прочно связанных в молекулах ГК соединений, а также деструкции исходных молекул, за счет чего наблюдался рост доли фульвокислот. Вероятно, именно с этим связано максимальное содержание ароматических фрагментов ФК в слое Т4, находящегося на границе многолетней мерзлоты и испытывающего динамические процессы оттаивания-замерзания, что приводит к трансформации ГК до структур ФК. Изменение структурно-функциональных параметров ФК как наиболее лабильной

совокупности гумусовых веществ наиболее восприимчиво к условиям почвообразования. Хаотическое изменение содержания алкильных, метокси- и аминогрупп, углеводных фрагментов слоев торфа, вероятно, связано с различиями температурных режимов и составом ботанического и палинологического материала в периоды голоцена (Левашенко, 2007).

**Парамагнитная активность ГВ тундровых торфяников.** Расчеты интегральной интенсивности линии поглощения позволили оценить концентрации неспаренных электронов в образцах ГВ. Выявлена высокая корреляция между концентрациями свободных радикалов (СР) торфа и СР ГК ( $r = 0.684$ ,  $n = 10$ ,  $P = 0.95$ ,  $r_{cr} = 0.632$ ) и низкая – с концентрацией СР фульвокислот ( $r = 0.311$ ,  $n = 6$ ,  $P = 0.95$ ,  $r_{cr} = 0.632$ ). Это свидетельствует о локализации парамагнитных центров органического вещества торфяников преимущественно в составе гуминовых кислот.

Содержание свободных радикалов гуминовых и фульвокислот бугристых торфяников имеет тенденцию профильного уменьшения, что вызвано минерализацией органических остатков и меньшей концентрацией прогуминовых веществ в составе гумуса нижних торфяных горизонтов (см. рисунок).

**Молекулярно-массовое распределение ГК тундровых торфяников.** Методом гель-хроматографии были определены параметры молекулярно-массового распределения (ММР) гуминовых кислот тундровых бугристых торфяников. Кривые ММР фракций имеют один ярко выраженный максимум в низкомолекулярной области. Доля низкомолекулярных фракций ГК торфяников доминирует



Содержание ПМЦ в образцах ГК, ФК и торфа: (А) почв оголенных торфяных пятен (разрез 12-Ж) и (Б) сухоторфяных мерзлотных почв бугров (разрез 13-Ж).



(63.2-69.5%) и статистически достоверно превышает массовые доли средне- (29.0-35.3%) и высокомолекулярных (1.1-2.6%) фракций. Наибольшие средневзвешенные молекулярные массы препаратов ГК ( $M_w$  32.4-33.0 kDa) приурочены к верхним горизонтам, с глубиной торфяных горизонтов  $M_w$  уменьшается до 21.7-23.9 kDa. Массовая доля высокомолекулярной фракции горизонтов Т1 максимальна (2.2-2.6%) и снижается с глубиной до 1.1-1.3% горизонтов Т5, что соответствует некоторому повышению доли низкомолекулярной фракции от 63.6-63.8 до 65.0-68.0%. Отмечается резкое увеличение доли высокомолекулярной (2.34%) и уменьшение выхода низкомолекулярной фракций (63.9%) горизонта Т4 на границе многолетнемерзлой толщи. Данные молекулярного массового распределения согласуются с результатами  $^{13}\text{C}$ -ЯМР-спектроскопии. Отмечается, что профильное снижение средневзвешенной молекулярной массы  $M_w$ , массовой доли высокомолекулярной и увеличение выхода низкомолекулярной фракций соответствуют росту ароматичности препаратов ГК и уменьшению доли алкильных групп по данным  $^{13}\text{C}$ -ЯМР-спектроскопии.

Таким образом, данные элементного состава и  $^{13}\text{C}$ -ЯМР-спектроскопии свидетельствуют о накоплении термобактериоустойчивых ароматических фрагментов и уменьшении содержания парафиновых структур ГК по профилю торфяников, перераспределении кислородсодержащих функций от ароматических фрагментов молекул к алифатическим цепям и относительной устойчивости лабильных углеводных фрагментов и метоксигрупп. Содержание свободных радикалов ГВ имеет тенденцию профильного уменьшения, что вызвано минерализацией органических остатков и меньшей концентрацией прогуминовых веществ в составе гумуса нижних торфяных горизонтов. Данные ММР согласуются с результатами  $^{13}\text{C}$ -ЯМР и свидетельствуют о большей приуроченности низкомолекулярной фракции ГК конденсированным структурам и высокомолекулярной фракции – периферическим фрагментам молекул ГК.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

Гостищева М.В., Инишева Л.И., Щеголихина А.И. Характеристика органического вещества торфяных почв эвтрофного болота Таган Томской области // Вестник ТПУ. 2010. № 3. С. 114-119.

Левашенко Д.В., Малясова Е.С. Климатический оптимум голоцена в дельте Печоры // Известия РАН. Сер. географическая. 2007. № 4. С. 125-132.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.

*Русанова Г.В.* Полигенез и эволюция почв субарктического сектора (на примере Большеземельской тундры). СПб.: Наука, 2010. 166 с.

*Сартаков М.П., Тихова В.Д.* Графостатистический анализ и спектроскопия  $^{13}\text{C}$ -ЯМР молекул гуминовых кислот торфов Среднего Приобья // Вестник КрасГАУ. 2009. № 6. С. 76-80.

*Worall F., Burt T., Adamson J.* Can climate change explain increases in DOC flux from upland peat catchments? // Science of the Total Environment. 2004. № 326. P. 95-112.

## **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ ВЫБРОСОВ СЫКТЫВКАРСКОГО ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**М.И. Василевич, В.М. Щанов**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [mvasilevich@ib.komisc.ru](mailto:mvasilevich@ib.komisc.ru)

В настоящее время данные дистанционного зондирования (ДДЗ) являются важным источником информации при оценке пространственно-временных закономерностей распределения структурных и функциональных параметров естественных и нарушенных антропогенной деятельностью природных систем и для получения оперативных данных экологического мониторинга.

Хвойные древесные фитоценозы, доминирующие в северном полушарии, благодаря значительной листовой поверхности, являются хорошим поглотителем аэрозольных загрязнений атмосферного воздуха, служа естественным аккумулятором и препятствуя распространению загрязнения в окружающей среде. Однако при длительном воздействии выбросов изменяется ход роста, снижается устойчивость и ухудшается санитарное состояние лесов, меняется их структура, уменьшается сомкнутость крон (Лесные экосистемы..., 1990).

Для исследования была выбрана залесенная территория вблизи Сыктывкарского лесопромышленного комплекса СЛПК – одно из крупнейших предприятий целлюлозно-бумажного производства в европейской части России. Преобладающие компоненты в выбросах комбината – карбонатно-сульфатная пыль, оксиды серы, углерода, азота. Основными показателями загрязнения в жидкой фазе являются  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Исследователями Института биологии Коми НЦ УрО РАН (Торлопова, 2003) проводилась оценка структуры и состояния сосновых и еловых фитоценозов в зоне действия СЛПК в период 1995-2001 гг. Результаты этих

наблюдений показали снижение прироста стволовой древесины и жизненного состояния древостоев, ухудшение состояния подроста и растений напочвенного покрова, наблюдается дехромация хвои и дефолиация кроны деревьев.

Цель данной работы – оценить влияние выбросов СЛПК на состояние хвойных фитоценозов, расположенных в зоне их воздействия с использованием дистанционных методов.

Для оценки состояния хвойного древостоя в зоне влияния выбросов СЛПК использовали летние и зимние снимки спутников Landsat TM 4/5 и Landsat 8 OLI с пространственным разрешением 30 м за период с 1986 по 2013 г. Предобработку материалов спутниковых изображений высокого разрешения Landsat провели общепринятыми методами, включая пространственную, радиометрическую и топо-коррекцию (Liang, 2008). Выделение основных классов растительного покрова для анализа особенностей их пространственной приуроченности осуществляли по изображению Landsat TM 5, полученному для 22.06.2011, методом решающих правил или «пороговой» классификации.

В ходе выполнения управляемой классификации выделено 18 классов земной поверхности, из них 16 приходится на разные типы растительного покрова на выделенной территории площадью 119 тыс. га (см. таблицу). Сообщества растительности – типичные для средней подзоны тайги, местами нарушенные сплошными вырубками и другими видами деятельности. Растительностью

#### Классы растительности, выделенные по снимку Landsat TM 5 (22.06.2011 г.)

Класс растительности	Площадь, тыс. га	Доля, % от общей площади
Сосняк чернично-зеленомошный с примесью ели	19.1	16.0
Лиственный лес (береза, ива, осина) с низкой долей хвойных	19.0	15.9
Ельник чернично-зеленомошный с примесью сосны	15.3	12.9
Сосняк сфагновый	12.4	10.4
Ельник зеленомошный	12.1	10.1
Травяные ассоциации влажные	7.6	6.4
Сосняк лишайниковый	7.0	5.8
Сосняк бруснично-лишайниковый	3.4	2.8
Сосняк бруснично-зеленомошный	3.1	2.6
Травяные ассоциации	2.6	2.2
Ельник бруснично-зеленомошный с примесью сосны	1.7	1.5
Сосняк багульниково-сфагновый	1.7	1.4
Ельник чернично-зеленомошный плотно сомкнутый	1.0	0.8
Березово-ивняковые ассоциации	0.9	0.7
Болота сфагновые, березово-ивняковые поросли	0.4	0.3
Травяные сообщества на болотах	0.2	0.2

покрыто 90% исследованной территории. Значительную долю занимают лиственные леса (15.9%), что связано с высокой освоенностью территории рубками, что помимо возможного влияния выбросов СЛПК определяет высокую антропогенную нагрузку на растительный покров территории исследования. Сосновые ассоциации доминируют и в сумме составляют 39% от всей растительности данного района. Еловые ассоциации представлены на 25% выделенной территории с ельником чернично-зеленомошным с примесью сосны в большей доле. Точность классификации проверена по контрольным полевым точкам с составлением матрицы ошибок, получено совпадение в 83% случаев ( $N = 41$ ).

Приблизительную оценку распределения запасов фитомассы и изменение в фитоценозах проводили на основании расчета и сравнения значений нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Отмечена связь между величинами NDVI и наземной фитомассой в виде логарифмических и линейных зависимостей (Елсаков, 2005; Epstein, 2009).

Применение индекса NDVI для расчета распределения запасов фитомассы и их изменение в фитоценозах проводили на основании летних снимков (конец июня-начало июля) за период 1987-2011 гг. с использованием 10 снимков. Средние отрицательные изменения к-тренда показали, что на исследованной территории наибольшие изменения наблюдаются на заболоченных участках вблизи СЛПК, а также в ельниках. Средние значения уменьшения запасов биомассы составили для этих сообществ 0.2%/год, т.е. за 24 года на 4.8% соответственно.

При обработке изображений использовали принцип декомпозиции спектральных смесей (метод SMA, *Spectral Mixed Analysis*), исходя из положения, что доля компонент при этом принимается пропорционально их площади в проекции на земную поверхность (Елсаков, 2005; Epstein, 2009). Это позволяет количественно оценить вклад отдельных компонент в отражательную способность элементов изображения. В качестве «чистых компонент» использовали параметры, полученные для открытых пологих заснеженных участков (сомкнутость крон равна 0), и характеристики участков с максимально сомкнутым древостоем (сомкнутость крон 0.9-0.95). Калибровка построенной модели и проверка ее точности выполнены на основании анализа сходимости полученных величин и пространственно-привязанных данных. Между дистанционными и полевыми показателями отмечена значимая положительная коррелятивная связь ( $r = 0.93$ ), максимальное отклонение значений – 10% (рис. 1).

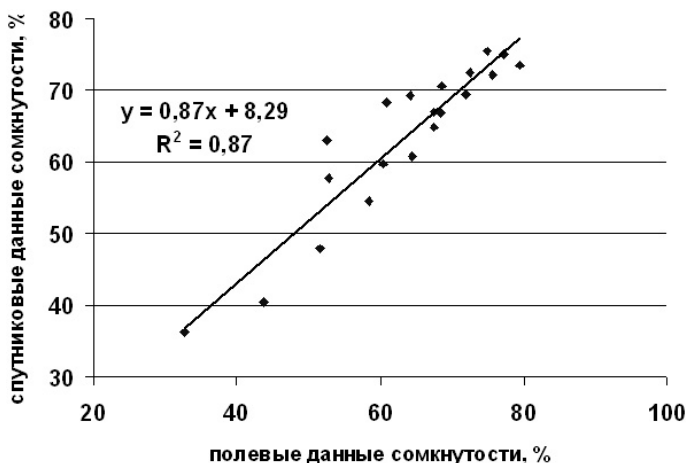


Рис. 1. Зависимость между рассчитанными по снимку и полученными по полевым данным значениям сомкнутости крон, %.

Анализ сомкнутости древостоя методом SMA проводили для двух временных интервалов: 1986/1987-2002/2003 гг. и 2002/2003-2013 гг. Первый период (с 1986 по 2003 г.) связан с временем работы СЛПК до проведения реконструкции газоочистных сооружений. Второй период представлен интервалом времени после реконструкции и до настоящего момента. Изменение сомкнутости древостоя для первого периода было рассчитано на основе усреднения четырех растров изображений 1986-2002, 1986-2003, 1987-2002, 1987-2003 гг. Были выделены нетронутые участки леса с уменьшением сомкнутости древостоя без влияния каких-либо видов хозяйственной деятельности. Участки расположены в северном и северо-западном направлениях от предприятия, что согласуется с преобладающими направлениями ветра, с наибольшим уменьшением сомкнутости местами до 25-35%. Участки приурочены в основном к еловым и заболоченным сосновым фитоценозам в зоне наибольшего воздействия выбросов. Среднее значение уменьшения сомкнутости древостоя на выделенных участках составило 6%.

На выделенных участках наибольшие изменения отмечены для ельников зеленомошных (30%), сосняков чернично-зеленомошных с примесью ели (24) и ельников чернично-зеленомошных с примесью сосны (19%).

Оценка изменений сомкнутости крон за период 2003-2013 гг. показала, что изменения сомкнутости за 10 лет в этих участках продолжаются. В заболоченных фитоценозах уменьшение этого значения достигает 50%. На тех же выделенных участках среднее значение уменьшения сомкнутости составило за десять лет 10%. Анализ изменений сомкнутости крон за весь период исследования показал, что среднее значение уменьшения сомкнутости за весь период с 1986 по 2013 г. составило 15%. Согласно расчету изменения сомкнутости методом SMA, возможное негативное влияние выбросов на состояние древостоя достигает на выделенных участках расстояния 15 км от основного источника выбросов данного предприятия.

Одним из основных компонентов выбросов СЛПК в жидкой фазе, негативно влияющих на жизненное состояние древостоя, являются сульфат-ионы, которые в составе кислых атмосферных осадков вызывают разреженность крон, усыхание верхушек и ветвей, негативно влияют на состояние подроста. Анализ химического состава снежного покрова вокруг СЛПК показал, что максимум поступления сульфат-ионов находится непосредственно вблизи от источника выбросов, а трехкратное превышение над фоном отмечено на расстоянии до 15 км (рис. 2). Отмечено, что большая часть выделенных участков расположена в зоне трехкратного превышения содержания сульфат-ионов, где возможно негативное влияние на состояние древостоя.

Таким образом, результаты обработки космоснимков позволили оценить изменения состояния растительных фитоценозов в зоне воздействия выбросов СЛПК. Данная территория на протяжении всего периода помимо действия выбросов была подвержена интенсивному воздействию хозяйственной деятельности: сплошным рубкам, деградации в результате строительства промышленных сооружений, дорог и прочих объектов.

Расчет индекса NDVI позволил установить снижение запасов биомассы в среднем на 0.2%/год на участках леса, где не обнаружено другого антропогенного воздействия помимо эмиссии промышленных выбросов. Среднее значение уменьшения сомкнутости за весь период с 1986 по 2013 г. составило 15%. По результатам исследования возможное воздействие выбросов предприятия может достигать расстояния 15 км от основного источника выбросов по доминирующему направлению розы ветров, что практически совпадает с оценкой распространения выбросов по анализу химического состава снежного покрова.





Отрицательные изменения сомкнутости крон



Рис. 2. Отрицательные изменения сомкнутости, основанные на расчетах индекса сомкнутости за 1986-2013 гг. с изолиниями, отражающими кратность превышения над фоном содержания в снеге сульфат-ионов в 2002-2007 гг.

#### ЛИТЕРАТУРА

Елсаков В.В., Щанов В.М. Особенности спектральных характеристик приморских лугов восточного побережья Малоземельской тундры // Биоразнообразие наземных и водных экосистем охраняемых территорий Малоземельской тундры и прилегающих районов. Сыктывкар, 2005. С. 148-159.

Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеев и др. Л.: Наука, 1990. С. 38-53.

Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А. Влияние загрязнителей на хвойные фитоценозы. Екатеринбург, 2003. 139 с.

Epstein H.E. Vegetation biomass, leaf area index, and NDVI patterns and relationships along two latitudinal transects in arctic tundra // Abstract GC31A-0697, presented at AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, December 14-18, 2009, 90:gc31A-0697.

Liang T., Zhang X., Xie H. Toward improved daily snow cover mapping with advanced combination of MODIS and AMSR-E measurements // Remote Sensing of Environment. 2008. P. 3750-3761.

## **ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ТУНДРОВЫХ БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКАХ**

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

Повышенное внимание к проблемам эволюции, истории формирования почв в голоцене вызвано необходимостью анализа текущего и будущего поведения почв, прогнозирования направленности естественного развития в связи с будущими глобальными колебаниями климата. История эволюционного развития почв, формирующихся на протяжении голоцена, может быть изучена на примере торфяников, в которых записан огромный объем многослойной информации при наращивании новых слоев торфа (Русанова, 2011). В торфяных месторождениях северного полушария в районах многолетней мерзлоты законсервировано, по последним оценкам, 277 Пг органического углерода (Tarnocai et al., 2009). Считается, что глобальные изменения климата, в первую очередь, коснутся высоких широт из-за потенциального выброса большого количества парниковых газов от торфяных месторождений. В палеоклиматических исследованиях становится все более распространенным поиск маркеров глобального изменения климата. Некоторые исследователи уже использовали подход к реконструкции климата прошлого и условий окружающей среды в северных широтах с применением различных индикаторов химического и биологического происхождения (Yunker et al., 2011).

Н-алканы как липидные биомаркеры могут помочь в идентификации состава почвенного органического вещества, реконструировать экологические условия прошлого и дать оценку микробной деградации в отложениях торфа. Исследование состава н-алканов может оказаться полезным при изучении последовательности торфонакопления и использовании их в качестве молекулярных показателей прошлых растительных сообществ в слоях торфа (Zheng et al., 2007).

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) обладают канцерогенными, мутагенными и токсическими свойствами и являются приоритетными загрязнителями, по данным мониторинга окружающей среды Арктики (АМАР) и Агентства по охране окружающей среды США (US EPA). Аккумуляция различных компонентов ПАУ в почвах может быть связана как с геохимическим фоном, в том числе утечкой и эрозией ископаемого углерода, эпигенетическими процессами, такими как разложение ор-



ганического вещества торфяников, так и с антропогенными факторами (Ровинский и др., 1988). Изучение состава полиаренов в тундровых почвах торфяников позволит приблизиться к расшифровке научных основ гумусообразования, выявить их особенности в зоне криогенеза.

Цель работы – изучение количественного и качественного состава н-алканов и ПАУ в тундровых бугристых торфяниках, выявление закономерностей их накопления и миграции.

Исследования проведены в Большеземельской тундре в Воркутинском районе Республики Коми с распространением массивно-островной многолетней мерзлоты. Объектами выступили тундровые бугристые торфяники. В основу определения ПАУ в почвах положены методики US EPA 8310, ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.39-03, а также работа Д.Н. Габова с соавт. (2007). Качественное и количественное определение содержания ПАУ осуществляли методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в градиентном режиме и спектрофлуориметрическим детектированием на хроматографе «Люмахром», н-алканов – методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии на приборе «Thermo Trace DSQ Ultra».

В результате исследования выявлены закономерности состава н-алканов и ПАУ в тундровых бугристых торфяниках. В торфяниках доминируют высокомолекулярные н-алканы с «нечетным» числом атомов углерода ( $C_{23}$ - $C_{33}$ ), суммарная массовая доля которых на порядок превышает массовую долю «четных» углеводородов. Аккумуляция насыщенных углеводородов и полиаренов в сезоннооттаивающих слоях торфяников обуславливается современными процессами почвообразования. В торфяной толще многолетней мерзлоты углеводороды законсервированы и находятся в стабильном состоянии (рис. 1).

Для оценки преобразования биопродуцентов органического вещества Е. Брей и Е. Эванс предложили использовать отношения нечетных алканов к четным – индексы CPI (**carbon preference index**), рассчитываемые по формуле:

$$CPI = 0.5[(\sum C_{25,27,29,31,33} / \sum C_{24,26,28,30,32}) + (\sum C_{25,27,29,31,33} / \sum C_{26,28,30,32,34})].$$

В профилях обоих исследуемых торфяников индекс CPI, а значит и степень разложенности органического вещества торфа увеличиваются от верхних горизонтов до глубины 20-40 см (рис. 2).

В горизонтах с многолетней мерзлотой 40-80 см индекс CPI несколько падает, видимо, из-за законсервированности степени разложения органического вещества на определенном уровне. Следует отметить, что индекс нечетности более высок в торфянике без

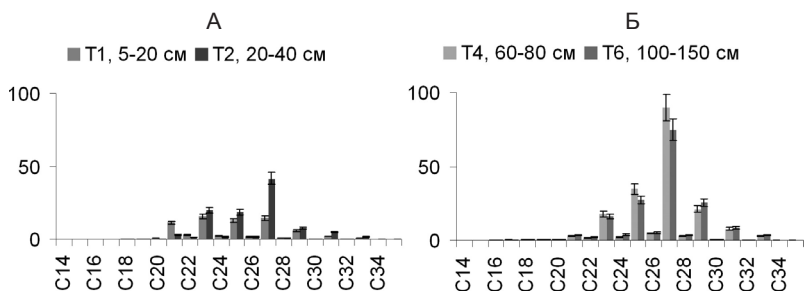


Рис. 1. Содержание n-алканов (мкг/г) в сезоннооттаивающих слоях (А) и горизонтах многолетней мерзлоты (Б) в тундровых бугристых торфяниках.

растительности, что, по-видимому, является следствием повышенного содержания алкана C27, продуцированного при разложении древесных остатков, количество которых в свою очередь больше в мерзлотных горизонтах торфяника без растительности. Таким образом, индекс CPI может использоваться как маркер степени гумификации органического вещества торфяной растительности.

Общее содержание суммы ПАУ в тундровой мерзлотной остаточной торфяной почве (бугор с растительностью) широко варьирует от 135 до 268 нг/г. Наибольшим количеством представлены следующие ПАУ, нг/г: нафталин (96-153), фенантрен (18-46), флуорантен (3-11), пирен (3-12), хризен (1-11), бенз[ghi]перилен (3-47).

В образцах почвы бугра с растительностью преобладают 2-4-ядерные полиарены, доля которых постоянна до глубины 60 см (95% от суммы ПАУ). В горизонте мерзлого торфа Т5 (60-80 см) доля низкомолекулярных ПАУ падает до 78% вследствие существенного увеличения доли 6-ядерного бензперилена. Абсолютное содержание по профилю 2-4-ядерных ПАУ постепенно уменьшается от 248 нг/г в горизонте Т1 до 148 нг/г в горизонте

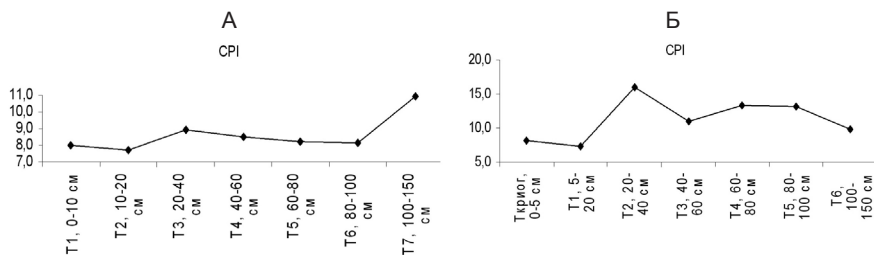


Рис. 2. Значения индексов CPI в тундровых торфяниках. А – торфяник с растительностью, Б – торфяник, пятно пучения.

T4, 5,6-ядерных – от 20 до 6 нг/г соответственно. В мерзлом горизонте T5 происходит увеличение содержания 2-4-ядерных ПАУ до 185 нг/г, 5,6-ядерных – до 53 нг/г (рис. 3).

Общее содержание суммы ПАУ в тундровой мерзлотной остаточно торфяной почве (пятно пучения) в два-три раза выше, по сравнению с почвой бугра с растительностью, и составляет от 295 до 834 нг/г. Наибольшим количеством представлены следующие ПАУ, нг/г: нафталин (113-197), фенантрен (25-47), флуорантен (3-13), пирен (2-73), хризен (4-37), бенз(б)флуорантен (3-190), бенз(к)флуорантен (1-25), бенз[ghi]перилен (38-555).

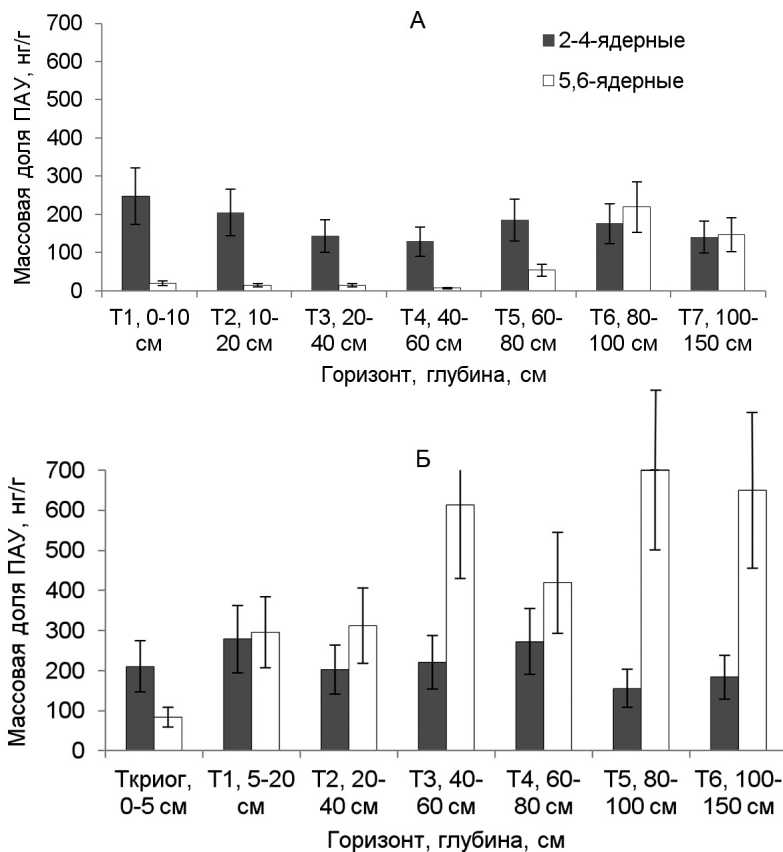


Рис. 3. Распределение ПАУ в профилях тундровой мерзлотной остаточно торфяной почвы: А – с растительностью, Б – и пятна пучения.

В образцах почвы бугра (пятно пучения) доля «легких» 2-4-ядерных полиаренов снижается от 70% в горизонте Т1 до 26-39% в горизонтах Т4 и Т5. Таким образом, в профиле почвы пятна пучения преобладают высокомолекулярные 5,6-ядерные ПАУ вследствие существенного увеличения содержания таких соединений, как бенз[ghi]перилен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен. Абсолютное содержание по профилю 2-4-ядерных ПАУ колеблется на уровне от 200-280 нг/г, 5,6-ядерных – существенно возрастает от 84 до 613 нг/г соответственно, особенно в мерзлотных горизонтах Т4 и Т5.

Таким образом, выявлены количественные закономерности трансформации n-алканов и ПАУ в тундровых бугристых торфяниках. Характерные спектры распределения n-алканов и полиаренов в сезоннооттаивающих слоях и многолетней мерзлоте торфяников могут быть предложены в качестве маркеров глобального изменения климата высоких широт.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-04-31303 и проекта молодых ученых и аспирантов УрО РАН № 14-4-НП-51.

#### ЛИТЕРАТУРА

Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Полициклические ароматические углеводороды в подзолистых и торфянисто-подзолисто-глеватых почвах фоновых ландшафтов // Почвоведение. 2007. № 3. С. 282-291.

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

Русанова Г.В. Динамические аспекты почвообразования в большеземельской тундре // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. Вып. 2(6). С. 38-44.

Tarnocai C., Canadell J., Schuur E., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochemical Cycles. 2009. Vol. 23. GB2023, doi:2010.1029/2008GB003327.

Yunker M.B., Macdonald R.W., Snowdon L.R., Fowler B.R. Alkane and PAH biomarkers as tracers of terrigenous organic carbon in Arctic Ocean sediments // Organic Geochemistry. 2011. Vol. 42. P. 1109-1146.

Zheng Y., Zhou W., Meyers P.A., Xie S. Lipid biomarkers in the Zoigk-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China // Organic Geochemistry. 2007. Vol. 38. P. 1927-1940.

## ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА ГРАНИЦЕ СРЕДНЕЙ И ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Н.В. Геникова, Н.И. Рыжкова

Институт леса КарНЦ РАН

E-mail: [genikova@krc.karelia.ru](mailto:genikova@krc.karelia.ru), [ryzhkova@krc.karelia.ru](mailto:ryzhkova@krc.karelia.ru)

Антропогенные местообитания способствуют распространению заносных видов, некоторые из них способны внедряться в естественные сообщества, при этом разнообразие биотопов увеличивает видовое богатство территории. Все эти аспекты делают проблему фрагментированных ландшафтов актуальной.

В условиях однородного по экологическим условиям ландшафта, но с фрагментированным растительным покровом, мы изучили видовой состав сообществ, находящихся в непосредственной близости друг к другу. Территория расположена вблизи российско-финляндской границы (на северо-запад от пос. Элисенваара) на границе южной и средней подзон тайги. На этой территории, принадлежавшей Финляндии, в первой половине прошлого века существовали фермерские хозяйства, а также были созданы культуры ели, лиственницы, сосны сибирской. В настоящее время на территории активно ведется лесозаготовительная деятельность.

Нами сравнивался видовой состав сосудистых растений лесных сообществ (лиственничник кисличный, ельники черничные, ельники кисличные), злаково-разнотравных лугов (заросшие сельскохозяйудия, заброшенные несколько лет назад сенокосы), двухлетней вырубке, обочин грунтовой дороги, пересекающей весь участок.

Далее все материалы были объединены в четыре группы – объединенные парциальные флоры (ПФ) (Юрцев, Камелин, 1991): лес, вырубка, луг, дорога. Сравнительный анализ составов растительности различных типов местообитаний проводился с использованием методов сравнительной флористики (Гнатюк, Крышень, 2005).

Исследованные ПФ включают в себя 191 вид сосудистых растений, из них 64 встречается в лесных сообществах, 110 – на вырубке, 105 – вдоль обочины дороги и 102 – на лугу. В сумме исследованная площадь составила 80 га, 25 га занимает вырубка, по 20 га приходится на лесные участки и луга, площадь изученной части дороги составляет примерно 15 га. При сопоставимом размере четырех биотопов общее количество видов, встречающихся в лесных сообществах, значительно ниже, чем в других местообитаниях.

Из 191 вида сосудистых растений 139 – аборигенные, 48 – адвентивные и четыре – культивируемые. Наибольшее количество адвентивных видов отмечено в луговых сообществах (36), меньше – вдоль обочины дороги (29), еще меньше – на вырубке (21), в лесных сообществах обнаружен только один заносный вид – *Melandrium dioicum*. Из четырех культивируемых видов два – это посадки кедровой сосны и лиственницы сибирской, на лугу отмечена роза морщинистая и на обочине дороги – хмель вьющийся. Последние два вида, по-видимому, произрастали в фермерском хозяйстве, существовавшем в первой половине прошлого века, и сохранились до наших дней, не расселяясь за пределы участков, где высаживались. Из 139 аборигенных видов апофитами являются 63 вида, наибольшее их количество в ПФ обочины дороги, наименьшее – в лесной ПФ (14, при этом надо особо отметить, что для большинства из них лес является естественным местообитанием). Таким образом, коэффициент синантропности (доля адвентивных видов и эуапофитов в ПФ) составляет для лесной ПФ – 0.23, вырубки – 0.59, дороги – 0.74, луговой – 0.75.

Таксономический анализ флоры исследованных биотопов показал различия в спектре ведущих семейств для лесной ПФ по сравнению с ПФ антропогенно нарушенных территорий. В лесных сообществах ведущими семействами являются *Ericaceae*, *Poaceae* и *Rosaceae*. ПФ остальных местообитаний характеризуется преобладанием видов из семейств *Asteraceae*, *Poaceae*, *Rosaceae* и *Fabaceae*.

Из 191 вида только четыре встречены во всех исследованных биотопах (*Aegopodium podagraria*, *Angelica sylvestris*, *Anthriscus sylvestris*, *Campanula rotundifolia*). Все это лесные виды, активно распространяющиеся по нарушенным местообитаниям.

Число видов, присутствующих только в одной ПФ, отличается несильно (13-18), но здесь важнее отношение их к общему числу видов ПФ, которое определяет ее специфичность.

В лесных сообществах таких видов 18, больше четверти (27%) от состава ПФ (*Carex globularis*, *Dactylorhiza maculata*, *Dryopteris expansa*, *Goodyera repens*, *Larix sibirica*, *Linnaea borealis*, *Lycopodium annotinum*, *Melampyrum pratense*, *Orthilia secunda*, *Phegopteris connectilis*, *Pinus sibirica*, *Poa trivialis*, *Pyrola media*, *P. minor*, *P. rotundifolia*, *Ribes spicatum*, *Rubus arcticus*, *Viola palustris*). Большинство перечисленных видов редко встречаются в нарушенных местообитаниях, и они являются преимущественно лесными видами. Особо отметим лиственницу сибирскую и сосну сибирскую, которые произрастают в культурах; их жизнеспособного возобновления нами не зафиксировано ни на одном лесном участке.

Только на вырубке отмечено 13 видов, специфичность – 12%. Это *Actaea spicata*, *Aquilegia vulgaris*, *Campanula persicifolia*, *Chrysaspis aurea*, *Epilobium adenocaulon*, *Hieracium pratense*, *H. sylvaticum*, *H. vulgatum*, *Luzula pallescens*, *Moehringia trinervia*, *Potentilla norvegica*, *Ribes nigrum*, *Viola arvensis*. Часть этих видов осталась на вырубке от исходного лесного сообщества, это аборигенные виды, относительно редко встречающиеся во вторичных местообитаниях (например, *Actaea spicata*, *Campanula persicifolia*). Другую часть видов составляют геми- и эвапофиты, а также адвентивные виды, заселившие вырубку в первый и второй годы после рубки древостоя.

Только по обочинам дороги встречено 17 видов – специфичность 16% (*Alsine media*, *Arctium tomentosum*, *Bunias orientalis*, *Calamagrostis phragmitoides*, *Carduus crispus*, *Centaurea phrygia*, *Deschampsia cespitosa*, *Equisetum arvense*, *E. hyemale*, *Erigeron politus*, *Filipendula ulmaria*, *Juncus bufonius*, *Glechoma hederacea*, *Humulus lupulus*, *Linaria vulgaris*, *Mentha arvensis*, *Rumex thyrsiflorus*). Из 17 видов только четыре являются заносными, остальные – аборигенные виды, довольно часто произрастающие во вторичных биотопах (геми- и эвапофиты).

Только на лугу отмечено 18 видов растений, специфичность 18% (*Capsella bursa-pastoris*, *Daphne mezereum*, *Dianthus deltoides*, *Erysimum cheiranthoides*, *Euphorbia virgata*, *Galium uliginosum*, *Geum rivale*, *Medicago falcata*, *Melandrium album*, *Persicaria tomentosa*, *Polygonum aviculare*, *Potentilla erecta*, *Rosa acicularis*, *Rosa rugosa*, *Salix aurita*, *Salix phylicifolia*, *Spergula arvensis*, *Thlaspi arvense*). Большинство из перечисленных видов (11) являются адвентивными.

Сравнение списков видов исследованных биотопов с применением коэффициента Жаккара показало, что лесная ПФ сильно отличается от других биотопов, особенно от дороги и луга (0.13 и 0.09 соответственно). Остальные коэффициенты значительно выше, хотя в целом невелики и колеблются от 0.3 до 0.45.

Анализ географической структуры исследованных ПФ показал, что лесная ПФ сформирована, в основном, зональным бореальным геоэлементом – 73%.

На вырубке насчитывается 56 бореальных аборигенных видов, что составляет 63% от общего количества видов ПФ. Видов с южными связями в абсолютном количестве в два раза больше, чем на лесных участках, но их процентное соотношение практически такое же. Из 13 видов южной группы, отмеченных в лесу, 11 обитает и на вырубке. Доля плюризональных видов на вырубке (12%) гораздо выше, чем в лесу (3%).



Среди видов, растущих по обочинам дороги, преобладают бореальные (72%), доля плюризональных видов составляет 15%, чуть меньше южных геоэлементов (13%).

Луговая ПФ отличается наиболее низким абсолютным и относительным количеством южных видов (восемь видов и 12%) на фоне преобладания бореальных видов (71%).

Фрагментированность ландшафтов способствует увеличению видового разнообразия территории. Видовое богатство антропогенных растительных сообществ (вырубка, обочина дороги, луг) в два-три раза выше, чем у зональных средневозрастных и спелых ельников. Следует также отметить специфичность состава лесной ПФ. Несмотря на непосредственное примыкание лесных сообществ к лугам, обочине дороги, вырубке, не происходит обогащения состава напочвенного покрова, т.е. среда, созданная древесными растениями, не допускает проникновения луговых и заносных видов под полог.

ПФ вырубки, наоборот, оказалась наиболее богатой и наименее специфичной. Уничтожение древесного яруса и повреждение напочвенного покрова освобождают территорию для заселения ее видами с соседних сообществ, оставляя, однако, возможность для лесных видов переживать неблагоприятные условия в убежищах из завалов сучьев, вблизи пней и т.п. Этим объясняется тот факт, что на вырубке наименьшая абсолютная и относительная численность отсутствующих в других исследованных сообществах видов. Однако удивительно и то, что такие виды появились всего за два года существования местообитания.

В целом, антропогенная фрагментация ландшафтов ведет к увеличению флористического богатства территории, а также способствует синантропизации локальной флоры. В то же время сложившиеся лесные и луговые сообщества способны препятствовать проникновению и закреплению в них «чуждых» элементов, что подчеркивает важность фитосоциального фактора в динамике и устойчивости сообществ.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гнатюк Е.П., Крышень А.М. Методы исследования ценофлор (на примере растительных сообществ вырубок Карелии). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 68 с.

Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики. Пермь: Пермский университет, 1991. 80 с.

## КЛИМАТОГЕННАЯ ДИНАМИКА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ВЫСОКОГОРЬЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

**А.А. Григорьев, С.Г. Шиятов, П.А. Моисеев**  
Институт экологии растений и животных УрО РАН  
E-mail: [grigoriev.a.a@ipae.uran.ru](mailto:grigoriev.a.a@ipae.uran.ru)

Международные соглашения последних десятилетий (рамочная конвенция ООН об изменении климата, Киотский протокол и др.) дали мощный импульс к изучению реакции экосистем на глобальные и региональные изменения климата. Для оценки изменений климатических факторов, их влияния на формирование и рост лесных насаждений наиболее привлекательными территориями являются высокогорные и высокоширотные районы.

В настоящее время время разработано и описано большое количество методов для оценки реакции высокогорных лесных экосистем на изменение климата. В рассматриваемом аспекте наиболее информативным средством документирования изменений во времени и пространстве достаточно крупных наземных объектов, в частности, древесной и кустарниковой растительности, является метод ландшафтных фотографий, полученных с одних и тех же точек в разное время. Однако данный метод применяется достаточно редко, что связано с плохой сохранностью старых снимков, трудностью нахождения прежних точек и определения времени съемки, особенно после ухода автора из жизни (Шиятов, 2009). В высокогорных районах использование этого способа значительно облегчается, так как можно сравнительно легко определить точку съемки благодаря многоплановости снимков и хорошо заметным ориентирам (Горчаковский, Шиятов, 1985).

Достоинствами данного метода является: 1) наглядность информации, получаемой с поверхности земли; 2) получение качественной и количественной информации о составе, структуре и пространственном положении древостоев и сообществ крупных кустарников; 3) возможность получения сравнительной информации для больших участков земной поверхности (на удалении до 5-7 км) (Шиятов, 2009).

В настоящих исследованиях были использованы исторические фотоснимки (более 30 лет), сделанные П.Л. Горчаковским, Л.Н. Тюлиной, С.Г. Шиятовым и К.Н. Игошиной в различных высокогорных районах Южного Урала (хребты Таганай, Большая Сука, Нургуш, Зигальга, Авалаяк, Машак и Нары, горные массивы Ирмель и Ямантау).

Для осуществления повторного фотографирования находилось точное место прежней фотосъемки. После чего производилась повторная съемка. Обязательными условиями для данных работ являлись: ясная погода и соответствие времени года прежней и настоящей фотосъемки. В общей сложности в период с 2008 по 2010 г. нам удалось получить повторные снимки более чем со 130 точек.

Проведенный анализ разновременных фотоснимков, сделанных с одних и тех же точек в различных горных районах Южного Урала, свидетельствует о явно выраженной тенденции к продвижению верхней границы древесной и кустарниковой растительности в горные тундры за последние 60-80 лет. На некоторых склонах верхняя граница редин, редколесий и сомкнутых лесов поднялась выше в горы на 70-90 м. Заметно увеличились площади, занятые можжевельником обыкновенным. В качестве примера приведены разновременные фотоснимки (см. рисунок), сделанные на хребте Таганай (район «Долины сказок»).

На различных участках продвижение древесной и кустарниковой растительности в горы протекает с неодинаковой интенсивностью, что определяется локальными условиями местопроизрастания (высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов, степень каменистости и увлажнения почвы склонов, высота снежного покрова). Наиболее выраженные изменения в высотном положении верхней границы древесной растительности наблюдаются на относительно пологих, дренированных, менее каменистых склонах с оптимальной высотой снежного покрова (0.5-1.5 м).

Анализ данных метеостанций региона (Таганай и Златоуст) показал, что с 1880-х по 2000-е гг. средние температуры летних месяцев повысились на 1 °С, зимних – на 3-4 °С. Это сопровождалось увеличением количества осадков, особенно в зимний период (Моисеев, 2011).

Полученные результаты указывают на сокращения площадей, занимаемых горными тундрами. Заметно уменьшилась численность популяций высокогорных реликтовых и эндемичных травянистых видов (голубики, шикши, дриады, золотого



корня, ястребинки, ситника, овсяницы и др.). На хребтах, высота которых не превышает 1200-1300 м (Машак, Таганай, Нары, Большая Сука), практически не осталось участков, занятых горными тундрами. Если облесение высокогорий Южного Урала продолжится в будущем с такими же темпами, то некоторые из этих видов могут исчезнуть с его территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 12-04-31014 и Программы УрО РАН № 12-С-4-1038.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г.* Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.

*Моисеев П.А.* Структура и динамика древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания на Урале: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург, 2011. 44 с.

*Шиятов С.Г.* Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 219 с.

### БИОМАССА НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СТАРОВОЗРАСТНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**И.С. Грозовская**

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН  
E-mail: [irinagrozkovskaya@gmail.com](mailto:irinagrozkovskaya@gmail.com)

В последние годы в области экологического моделирования стала насущной задача учета роли живого напочвенного покрова в общей структуре и функционировании лесных экосистем. Известно, что основной ролью напочвенного покрова (под последним понимаются травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы лесного растительного сообщества) в функционировании лесных экосистем являются образование и отчуждение органического вещества (Тужилкина, 2012). В этой связи для моделирования динамики напочвенного покрова необходимо выделить функциональные группы видов растений, сходные по биомассе, химическому составу видов и др. (Жомаров и др., 2007), предназначенные для моделирования общего биологического круговорота элементов в системе моделей лесных экосистем.

При решении задач оценки и анализа общих структурно-функциональных черт растительного покрова и генерализованном опи-

сании растительности удобно использовать эколого-ценотические, как и другие в широком смысле функциональные группы (ФГР) растений (Смирнов, 2006).

Цель нашего исследования – уточнить состав и охарактеризовать биомассу функциональных групп (ФГР) в напочвенном покрове бореальных темнохвойных лесов, выделенных с использованием эколого-ценотического подхода.

Для обобщения существующей в литературе информации по биомассе и продуктивности лесного напочвенного покрова нами была разработана база данных «Биомасса», включающая в себя информацию по биомассе видов и групп видов недревесных сосудистых растений, мохообразных и лишайников в лесных сообществах (Ханина и др., 2013). Анализ базы данных показал, что недостаточно сведений по биомассе старовозрастных лесов, относящихся к редким группам типов леса – высокотравным и крупнопоротниковым. Поэтому в качестве объектов исследования нами были выбраны старовозрастные еловые и пихто-еловые леса Костромской области.

Изучены пять типов леса (табл. 1): 1) ельник/пихто-ельник бореально-мелкотравный (PcBr), 2) пихто-ельник бореально-неморальный (PcBN), 3) ельник черничный (PcVm), 4) ельник высокотравный (EB), 5) ельник крупнопоротниковый (PcLf) (Грозовская, 2012).

Для сбора полевого материала по биомассе напочвенного покрова в каждом из типов леса заложены учетные площади размером 40×40 м<sup>2</sup>. В напочвенном покрове выделяли микрогруппировки видов по сходству видового состава и доминирующей эколого-ценотической группе (ЭЦГ) видов. В микрогруппировках закладывали площадки 25×25 см<sup>2</sup>, для которых составляли список видов сосудистых растений. На площадках срезали надземную часть растений с разделением на виды. Методом монолитов на этих же

Таблица 1

**Типы микрогруппировок напочвенного покрова  
исследованных типов леса**

Тип микрогруппировки	Виды-доминанты
Бореально-мелкотравная (Br)	<i>Oxalis acetosella</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Phegopteris connectilis</i>
Бореально-неморальная (BN)	<i>Stellaria holostea</i> , <i>Oxalis acetosella</i>
Бореально-кустарничковая (Vm)	<i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Oxalis acetosella</i>
Высокотравная (TH)	<i>Aconitum septentrionale</i> , <i>Athyrium filix-femina</i> , <i>Cirsium oleraceum</i> , <i>Diplazium sibiricum</i> , <i>Filipendula ulmaria</i>
Крупнопоротниковая (Lf)	<i>Dryopteris dilatata</i> , <i>Oxalis acetosella</i>

площадках отбирали подземные части растений с разделением их по видовой принадлежности (Андреева, 2002). При анализе для каждой площадки 25×25 см<sup>2</sup> рассчитывали суммарную надземную и подземную биомассу растений, которую переводили в г/м<sup>2</sup>. Площадки группировали по типам микрогруппировок, тип определяли по доминированию в напочвенном покрове растений одной или нескольких ЭЦГ (табл. 1). Анализ проведен по данным 195 площадок 25×25 см<sup>2</sup>, на которых собрана надземная биомасса напочвенного покрова, 165 площадок, на которых собрана подземная биомасса. Проведен сравнительный анализ результатов полевых исследований с литературными данными (база данных «Биомасса»).

В напочвенном покрове исследованных типов леса выделено пять типов микрогруппировок (табл. 1). Числовые характеристики надземной биомассы микрогруппировок, рассчитанные для разных типов леса (табл. 2), свидетельствуют об относительно высокой обособленности площадок высокотравной и крупнопапоротниковой микрогруппировок по значениям биомассы произрастающих на них видов и о сходстве площадок остальных типов по значениям надземной и подземной биомассы видов сосудистых растений. Хотя биомасса микрогруппировок одного типа, встреченных в разных типах леса, может варьировать (табл. 2). В целом по значениям надземной и подземной биомассы сосудистых растений наблюдается достаточно четкое ранжирование площадок по типам микрогруппировок (см. рисунок). Надземная биомасса растений возрастает в ряду Br → BN → Vm → Lf → TH, подземная биомасса – Br → BN → Vm → TH → Lf (см. рисунок). **Самые низкие средние значения по надземной и подземной биомассе имеют Br и BN микрогруппировки, промежуточные – Vm, самые высокие – Lf и TH.**

Таблица 2

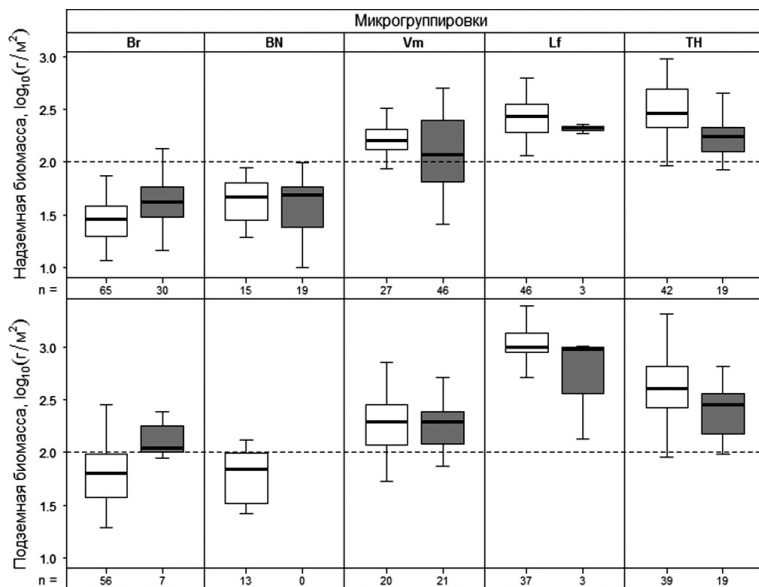
**Надземная биомасса сосудистых растений  
в микрогруппировках разных типов, выделенных в напочвенном покрове  
исследованных типов леса (абсолютно сухой вес, г/м<sup>2</sup>)**

Тип микрогруппировки	PcBr	PcBN	PcVm	PcLf	PcH
Br	34.52±2.60	32.19±1.75	35.56±4.03	22.67±3.38	
BN	55.95±4.92	63.47±8.51		26.80±3.45	
Vm	169.93±16.71		252.16±42.31		
Lf	268.51±42.37	308.75±55.45	154.88±11.68	332.93±28.59	214.00±20.47
TH		145.76±12.04			448.09±87.67

*Примечание:* типы леса см. в тексте статьи, типы микрогруппировок – в табл. 1. Приведены средние значения биомассы и ошибки среднего.

По нашим данным, надземная биомасса Lf и TH микрогруппировок сходна между собой, в то время как по подземной биомассе *Dryopteris dilatata*, абсолютно доминирующий в Lf микрогруппировке, явно лидирует. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с литературными данными, где наблюдается увеличение значений медиан по надземной и подземной биомассе сосудистых растений в ряду Br → BN → Vm → TH → Lf (см. рисунок).

Результаты трехфакторного иерархического дисперсионного анализа показали, что два фактора из трех статистически значимо влияют на надземную и подземную биомассу сосудистых растений напочвенного покрова – это тип леса и микрогруппировки (табл. 3). Отметим, что микрогруппировки отвечают за существенно большую долю дисперсии биомассы, чем тип леса, и для подземной биомассы различия во влиянии факторов проявляются сильнее, чем для надземной. Результаты попарного сравнения биомассы сосудистых растений в трех типах леса (PcBr, PcH и PcLf) выявили наличие следующих значимых различий. По надземной био-



Надземная и подземная биомасса сосудистых растений по авторским и литературным данным. Белые прямоугольники построены по экспериментальным данным; серые – по литературным. Числа под осью означают величину выборки. Типы микрогруппировок см. в табл. 1.



Таблица 3

**Компоненты дисперсии (КД) в процентах  
 и P-значения для типов леса и микрогруппировок\***

Источники вариации	Надземная биомасса		Подземная биомасса	
	КД, %	P	КД, %	P
Типы леса	30.0	0.001	17.3	0.004
Микрогруппировки	60.7	0.000	70.5	0.000
Остаточная вариация	9.3		12.2	

\* Площадки 40×40 м<sup>2</sup> – статистически незначимый фактор, его компонент дисперсии равен нулю.

массе ельник высокотравный значимо отличается и от ельника бо-реально-мелкотравного, и от ельника крупнопоротникового. По подземной биомассе значимо различаются между собой ельник бо-реально-мелкотравный и ельник высокотравный. В остальных па-рах как по надземной, так и по подземной биомассе значимых раз-личий не обнаружено. Таким образом, результаты дисперсионно-го анализа свидетельствуют, что для исследованных лесов биомас-са сосудистых растений травяно-кустарничкового яруса в большей мере различается между пространственными микрогруппировками напочвенного покрова, чем между разными типами леса.

Полученные экспериментальные результаты хорошо согласо-уются с литературными данными, где наблюдается увеличение зна-чений медиан по надземной и подземной биомассе сосудистых рас-тений в ряду Br → BN → Vm → TH → Lf (см. рисунок). Как зна-чения медиан, так и другие описательные статистики, получен-ные по экспериментальным данным, близки к результатам, опи-санным в литературе.

Таким образом, в ходе исследования был проведен количе-ственный анализ значений биомассы сосудистых растений, изме-ренной в напочвенном покрове старовозрастных еловых и пихто-еловых лесов северо-востока Костромской области. Получены дан-ные, которые дополняют литературные по редким группам типов леса – высокотравной и крупнопоротниковой. Эксперименталь-ные данные по биомассе напочвенного покрова, полученные как для редких групп типов леса, так и для более распространенных, соответствуют в целом литературным данным и сопоставимы с ни-ми. Выявленные различия по биомассе между пространственны-ми микрогруппировками, выделенными по доминирующей эколо-го-ценогической группе видов, подтверждают перспективность их использования в качестве элементарной единицы в задаче генера-лизации напочвенного покрова при включении его в круговорот-ные модели лесных экосистем.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю М.В. Бобровскому, коллегам Л.Г. Ханиной, В.Э. Смирнову, М.С. Романову за активную помощь в обработке и анализе материала. А также хочу поблагодарить Е.В. Терентьеву, М.П. Шашкова, Н.В. Иванову, С.А. Грозовского за помощь в организации и проведении полевых работ.

Работа проведена при поддержке программы № 30 фундаментальных исследований Президиума РАН, проект «Экосистемные функции живого напочвенного покрова бореальных лесов Европейской России».

#### ЛИТЕРАТУРА

*Андреева Е.Н.* Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2002. 240 с.

*Грозовская И.С.* Биопродукционные характеристики живого напочвенного покрова старовозрастных пихто-ельников северо-востока Костромской области // Известия Самарского НЦ УрО РАН. 2012. Т. 14. № 1(6). С. 1445-1448.

*Комаров А.С., Чертов О.Г., Михайлов А.В.* и др. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Отв. ред. В.Н. Кудряков. М.: Наука, 2007. 380 с.

*Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В.* Обоснование системы эколого-ценологических групп видов растений лесной зоны европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюл. МОИП. Сер. Биологическая. 2006. Т. 111. № 2. С. 36-47.

*Тужилкина В.В.* Структура фитомассы и запасы углерода в растениях напочвенного покрова лесов на северо-востоке европейской России // Растительные ресурсы, 2012. Т. 48. № 1. С. 44-50.

*Ханина Л.Г., Грозовская И.С., Смирнов В.Э.* и др. Анализ базы по биомассе лесного напочвенного покрова для моделирования его динамики в круговоротных моделях лесных экосистем // Хвойные бореальные зоны. 2013. Т. 31. № 1-2. С. 22-29.

### **МОНИТОРИНГ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ В РАЙОНЕ ОБЪЕКТА УНИЧТОЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ В ПОСЕЛКЕ МИРНЫЙ ОРИЧЕВСКОГО РАЙОНА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Т.С. Едигарева**

Вятский государственный гуманитарный университет  
E-mail: [tatyanaedigareva@mail.ru](mailto:tatyanaedigareva@mail.ru)

Атмосфера, как определенная оболочка Земли, крайне важна для жизни. Некоторые растения наиболее чутко реагируют на характер и степень загрязнения атмосферы. Одним из индикаторов загрязнения атмосферного воздуха является ель (Лорсанова,

2009). В Кировской области ель – одна из лесообразующих пород (Клирсова, 1967).

На территории Оричевского района Кировской области расположен объект уничтожения химического оружия (ОУХО). Уничтожение химического оружия на объекте проводится с 2006 г. В 2004 г. были заложены площадки для описания и последующего мониторинга растительности в районе ОУХО. При выборе участков учитывали специфику природных систем в зоне нахождения объекта, характер почвенного покрова, удаленность от источника воздействия и расположение относительно сторон горизонта. Всего в районе ОУХО заложено 145 участков мониторинга с различными типами растительности (Домнина и др., 2012). Изучение еловых лесов в районе ОУХО проводилось на участках № 5, 13, 17, 55, 59.

Цель данной работы – мониторинг еловых лесов в районе ОУХО в пос. Мирный Оричевского района Кировской области.

Растительность на постоянных участках, расположенных в разных направлениях относительно сторон горизонта на расстоянии 1-4 км относительно ОУХО, описывали с использованием стандартных методик (Шенников, 1964; Ипатов, 1998). Мониторинг за состоянием лесов проводили на большинстве участков с 2004 по 2013 г. в период наиболее активного роста и развития растений (середина июля).

Растительность на участке № 5 изучали с 2004 г.

В древостое исследованного сообщества за весь промежуток времени совместно с *Picea × fennica* (Regel.) Kom. произрастала *Betula pendula* Roth. Смена ассоциации произошла в 2010 г. с елово-березняка черничного на елово-березняк чернично-мертвопокровный по причине выхода *P. × fennica* в первый ярус.

Проективное покрытие подроста колебалось от 2 до 25%. В подросте в течение десяти лет регулярно были отмечены *P. × fennica* (проективное покрытие которой колебалось от 2 до 39%), а также *Abies sibirica* Ledeb. (проективное покрытие – от 1 до 5%). Остальные виды отмечены не регулярно.

Проективное покрытие подростка составило 1-5%. В составе подростка ежегодно встречались *Frangula alnus* Mill., *Sorbus aucuparia* L., остальные виды – периодически.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 15-67%. Из 31 вида ежегодно отмечены *Vaccinium myrtillus* L., *Linnaea borealis* L., *Oxalis acetosella* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P.Fuchs, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Rubus saxatilis* L., *Equisetum sylvaticum* L. Остальные виды на площадке мониторинга встречались в отдельные годы.

Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса колебалось от 1 до 5%.

Мониторинг растительности участка № 13 проводили с 2004 г.

В древостое совместно с *P. × fennica* произрастали *B. pendula*, *Pinus sylvestris* L. В 2009 г. ассоциация с сосново-ельника черничного сменилась на ельник чернично-зеленомошный.

Проективное покрытие подроста составило 5-40%. В подросте регулярно были отмечены *P. × fennica* (проективное покрытие колебалось от 4 до 30%), *Populus tremula* L. (проективное покрытие 1-40%), *B. pendula* (проективное покрытие – 1-4%), остальные виды – периодически.

Проективное покрытие подлеска составило 1-6%. В подлеске ежегодно отмечена *F. alnus*. Остальные виды встречались не регулярно.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 20-45%. Из 18 видов травяно-кустарничкового яруса были встречены ежегодно *V. myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea* L., *L. pilosa*. Остальные виды на площадке мониторинга фиксировались только в отдельные годы.

Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса колебалось от 20 до 65%.

Мониторинг растительности на участке № 17 проводили с 2004 г.

В древостое совместно с *P. × fennica* произрастали *B. pendula*, *P. sylvestris*. Значительных изменений в ассоциациях не наблюдалось.

Проективное покрытие подроста составило 5-25%. В подросте ежегодно отмечалась *P. × fennica* (проективное покрытие колеблется от 5 до 29%), *Tilia cordata* Mill. (проективное покрытие – 1% и менее). Остальные виды встречались периодически.

Проективное покрытие подлеска составило 1-3%. В подлеске ежегодно отмечались *F. alnus*, *S. aucuparia*, *Juniperus communis* L., *Rosa acicularis* Lindl. Другие виды в подлеске не регулярны.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 40-90%. Видовой состав включал 25 видов, из них ежегодно отмечены *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Trientalis europaea* L., *Melampyrum sylvaticum* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Orthilia secunda* (L.) House, *V. myrtillus*, *Solidago virgaurea* L., *L. pilosa*, *V. vitis-idaea*, *R. saxatilis*, *L. borealis*. Остальные виды встречены на участке в отдельные годы.

Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса колебалось от 10 до 35%.

Мониторинг растительности на участке № 55 проводили с 2005 г.

В древостое совместно с *P. × fennica* ежегодно отмечены *B. pendula*, *P. tremula*. Ассоциация с 2009 г. сменилась с березово-ельника чернично-зеленомошного на березово-ельник черничный.

Проективное покрытие подроста составило 30-40%. В подросте за весь период наблюдений были отмечены *P. × fennica* (проективное покрытие колебалось от 27 до 40%), *A. sibirica* (проективное покрытие – 1-2%), остальные виды были встречены периодически.

Проективное покрытие подлеска составило 2-10%. Ежегодно отмечены *S. aucuparia*, *Lonicera xylosteum* L., *F. alnus*, *R. aciculari*. Остальные виды встречались нерегулярно.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 30-50%. В ярусе отмечено 39 видов. Ежегодно были отмечены *O. acetosella*, *V. myrtillus*, *E. sylvaticum*, *V. vitis-idaea*, *R. saxatilis*, *S. virgaurea*, *T. europaea*, *D. carthusiana*, *O. secunda*, *M. Sylvaticum*. Остальные виды встречались в отдельные годы.

Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса колебалось от 20 до 30%.

Мониторинг растительности на участке № 59 проводили с 2005 г.

В древостое совместно с *P. × fennica* ежегодно отмечена *P. tremula*. Ассоциация изменялась незначительно.

Проективное покрытие подроста составило 2-40%. В течение десяти лет регулярно были отмечены *P. × fennica* (проективное покрытие колебалось от 1 до 19%), *A. sibirica* (проективное покрытие – 1-10%). Остальные виды встречались периодически.

Проективное покрытие подлеска составило 1-6%. Ежегодно встречены *S. aucuparia*, *F. alnus*, *R. idaeus*. Остальные виды на участке мониторинга отмечены нерегулярно.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 15-60%. Из 26 видов регулярно отмечены *V. myrtillus*, *O. acetosella*, *O. secunda*, *M. bifolium*, *L. pilosa*, *Lycopodium annotinum* L., *L. borealis*, *R. saxatilis*, *S. virgaurea*, *T. europaea*, *Chimaphila umbellata* (L.) W.P.C. Barton, *D. carthusiana*, *Fragaria vesca* L., *M. sylvaticum*, *Carex digitata* L. Остальные виды были отмечены на участке в отдельные годы.

Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса колебалось от 1 до 3%.

Анализ геоботанических описаний пяти участков мониторинга за десятилетний период показал, что ельники Оричевского района Кировской области характеризовались ежегодным наличием

в древостое *P. × fennica* (участки № 5, 13, 17, 55, 59), *B. pendula* (участки № 5, 13, 17, 55), *P. sylvestris* (участки № 13, 17), *P. tremula* (участки № 55, 59).

Возобновление древостоя происходило с участием таких видов как *P. × fennica* (участки № 5, 13, 17, 55, 59), *A. sibirica* (№ 5, 55, 59), *P. tremula* (№ 13), *B. pendula* (№ 13), *T. cordata* (№ 17).

В подлеске ежегодно отмечались *F. alnus* (участки № 5, 13, 17, 55, 59), *S. aucuparia* (№ 5, 17, 55, 59), *J. communis* (№ 17), *R. acicularis* (№ 17, 55), *L. xylosteum* (№ 55), *R. idaeus* (№ 59).

В травяно-кустарничковом ярусе ежегодно произрастали *V. myrtillus* (участки № 5, 13, 17, 55, 59), *L. borealis* (№ 5, 17, 59), *O. acetosella* (№ 5, 55, 59), *L. pilosa* (№ 5, 13, 17, 59), *D. carthusiana* (№ 5, 55, 59), *P. aquilinum* (№ 5), *R. saxatilis* (№ 5, 17, 55, 59), *E. sylvaticum* (№ 5, 55), *V. vitis-idaea* (№ 13, 17, 55), *M. bifolium* (№ 17, 59), *T. europaea* (№ 17, 55, 59), *M. sylvaticum* (№ 17, 55, 59), *C. arundinacea* (№ 17), *O. secunda* (№ 17, 55, 59), *S. virgaurea* (№ 17, 55, 59), *L. annotinum* (№ 59), *C. umbellata* (№ 59), *F. vesca* (№ 59), *C. digitata* (№ 59).

Изученные еловые леса в районе ОУХО в пос. Мирный Оричевского района типичны для подзоны южной тайги Кировской области (Клиросова, 1967; Василевич, 2003). Сравнение описаний сообществ не показало существенных изменений в структуре еловых лесов и влияния ОУХО в пос. Мирный Оричевского района Кировской области. Смена ассоциаций и изменение проективного покрытия обусловлены естественной сукцессией и погодными условиями в течение года.

#### ЛИТЕРАТУРА

Василевич В.И. Еловые леса Кировской области // Бот. журн. 2003. Т. 88. № 7. С. 1-11.

Домнина Е.А., Рябова Е.В., Шабалкина С.В. Мониторинг сосновых лесов в районе объекта уничтожения химического оружия в пос. Мирный Кировской области // Известия Самарского НЦ УрО РАН. 2012. Т. 14. № 1 (6). С. 1449-1452.

Ипатов В.С. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 93 с.

Клиросова В.П. Растительность // Природа кировской области. 1967. С. 180-236.

Лорсанова Я.Э. Растения-индикаторы состояния окружающей среды (на примере воздействия атмосферного воздуха) // [http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2009/03/rus\\_23\\_2009\\_3.pdf](http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2009/03/rus_23_2009_3.pdf).

Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.

## ТЕСТИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СВИНЦА НА МОДЕЛЬНЫЙ ВИД МИКРОВОДОРОСЛИ *SCOTIELLOPSIS TERRESTRIS* (REISIGL) PUNC. ET KALINA (CHLOROPHYTA)

О.В. Зайцева

Сыктывкарский государственный университет

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

Свинец входит в число восьми самых токсичных металлов (не является ни жизненно необходимым, ни благотворным, даже в малых дозах приводит к нарушению нормальных метаболических функций) (Юфит, 2002). Источники свинца являются постоянными при современной деятельности человека, загрязнение им окружающей среды вряд ли уменьшится в ближайшем будущем, а значит, все живые организмы будут испытывать на себе хроническое влияние данного металла.

Цель работы – экспериментальное изучение влияния повышенных концентраций (превышающих ПДК) соли свинца на морфологические и количественные показатели тест-объекта – зеленой почвенной микроводоросли *Scotiellopsis terrestris* из коллекции Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

В связи с этим были поставлены следующие задачи: получить биомассу выбранного тест-объекта для проведения исследования; провести эксперимент по влиянию ацетата свинца в концентрациях 1, 5, 10 ПДК на микроводоросль, выявить морфологические изменения у клеток *S. terrestris* после воздействия на них соли свинца; выполнить количественный учет клеток микроводоросли при разных ПДК; оценить возможности использования *S. terrestris* как тест-объекта для биотестирования.

Штамм *S. terrestris* выделен из образцов почв, отобранных в горных сообществах национального парка «Югыд ва» (бассейн р. Кожым) на Алькесвожском золоторудном месторождении летом 2010 г. специалистами Института биологии. Источником исследуемого тяжелого металла был выбран ацетат свинца ( $Pb(CH_3COO)_2$ ) в концентрации, равной 1, 5 и 10 ПДК, а также в контроле. Исследовательская работа проходила с 18.11.2013 по 24.01.2014 г. Культивирование микроводоросли проводили на питательной среде Болда. Измеряли следующие морфологические параметры: средняя длина и средняя ширина клеток. Количественные показатели включали: число и биомассу клеток в 1 л. Химический анализ среды и биомассы водорослей выполнен в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.



Чтобы ответить на вопрос, каким образом свинец влияет на развитие микроводоросли *Scotiellopsis terrestris*, необходимо познакомиться с характеристикой данного вида. В определителе (Андреева, 1998) даны следующие характеристики: типичны одиночные, веретеновидные, лимоновидные, изредка шарокоэллипсоидные клетки до 13-20 мкм длиной 9-14 мкм шириной. Оболочка с 6-12 ребрами, не всегда хорошо заметными у молодых клеток и довольно массивными у зрелых, многослойная, с грубыми ребрами – у старых клеток. В старых культурах появляются шаровидные клетки от 20 до 56 мкм в диаметре, с толстой слоистой оболочкой до 5.0-5.5 мкм в толщину, сначала зеленые, затем приобретают ржаво-коричневую, темно-коричневую или оранжевую окраску, иногда с несколькими периноидами. Автоспоры по 2-16, 7-13, мкм длиной, 4.0-8.5 мкм шириной, освобождающиеся путем разрыва материнской оболочки.

После проведения эксперимента были получены результаты по изменению морфологических и количественных показателей под влиянием разных концентраций свинца в течение двух месяцев, представленные в табл. 1, 2.

Как видно из табл. 1, под влиянием разных концентраций свинца наблюдается изменение морфологических показателей у исследованных водорослей. В контрольной пробе (без действия токсиканта) отмечено незначительное увеличение средней длины и ширины клеток *S. terrestris* к концу эксперимента, при этом резких изменений данных показателей в течение всего опыта не наблюдается. Это свидетельствует о том, что популяция клеток в рассматриваемой колбе «контроль» стареет равномерно и медленно. Наиболее заметные изменения размеров как ширины, так и длины (в сторону увеличения) наблюдаются при концентрациях 5 и 10 ПДК. При этом максимальные средние рассматриваемых показателей были отмечены на более ранних этапах, чем в контроле и 1 ПДК. Все это может указывать на увеличение скорости старения водоросли в условиях действия токсиканта. В экспериментальной колбе с концентрацией свинца 1 ПДК, так же как и в контроле, происходит равномерное развитие клеток *S. terrestris*, однако через месяц после начала исследования произошло резкое увеличение размеров, что говорит об увеличении скорости старения выбранного тест-объекта, вероятно, в результате действия токсиканта. Также наблюдается следующая зависимость к концу эксперимента: чем выше содержание свинца в колбе, тем больше стандартное отклонение средней ширины и длины, т.е. отмечается увеличение вариации размеров клеток. Также при 1, 5 и 10 ПДК стандартное отклонение увеличивается во времени.

Таблица 1

Морфологические показатели микроводоросли *Scotiellopsis terrestris*

Дата измерения	Контроль			1 ПДК			5 ПДК			10 ПДК						
	с.д.	с.ш.	с.о.	с.д.	с.ш.	с.о.	с.д.	с.ш.	с.о.	с.д.	с.ш.	с.о.				
19.11.13	16.18	2.28	8.94	1.90	16.72	2.33	10.53	2.06	14.22	1.70	8.05	1.31	13.56	2.89	8.89	1.66
25.11.13	15.49	2.68	9.66	2.52	16.15	3.30	10.27	2.33	17.11	2.50	11.40	2.21	14.97	3.79	10.85	2.78
03.12.13	16.47	2.22	10.70	2.01	16.00	3.62	10.63	2.45	18.39	2.76	12.51	2.66	17.07	3.66	12.09	2.75
09.12.13	16.63	2.01	10.87	1.66	16.49	3.28	11.06	2.22	20.33	2.13	15.02	2.21	21.42	2.77	15.89	2.72
27.12.13	17.40	1.44	10.56	0.96	19.65	3.63	15.04	2.74	23.98	2.36	19.26	1.81	22.31	3.76	17.54	3.67
24.01.14	19.44	2.28	13.68	2.03	19.15	4.03	16.30	2.92	13.87	5.31	11.95	4.57	19.76	5.84	15.14	4.64

Примечание: с.д. – средняя длина клеток, с.о. – стандартное отклонение, с.ш. – средняя ширина клеток.

Таблица 2

Количественные показатели микроводоросли *Scotiellopsis terrestris*

Дата измерения	Контроль		1 ПДК		5 ПДК		10 ПДК	
	Число клеток в 1 л, млрд	Биомасса клеток в 1 л, мг	Число клеток в 1 л, млрд	Биомасса клеток в 1 л, мг	Число клеток в 1 л, млрд	Биомасса клеток в 1 л, мг	Число клеток в 1 л, млрд	Биомасса клеток в 1 л, мг
19.11.13	1.1	722±475	0.6	553±364	0.5	222±142.4	0.9	500±392
25.11.13	1.2	943±657	0.8	739±558	0.6	728±484	1.0	963±742.1
03.12.13	1.3	1253±817	0.7	666±476	1.0	1469±947	0.6	783±572.8
09.12.13	1.7	1712±1092	1.4	1520±1139	0.8	1991±1285	1.0	2736±1921
27.12.13	1.7	1702±1057	0.9	2058±1507	0.4	1956±1209	0.6	2154±1595
24.01.14	1.4	2572±1453	1.6	4223±2805	0.8	826±704.3	0.8	1825±1388

Кроме морфологических характеристик в процессе эксперимента были рассмотрены изменения количественных показателей (табл. 2).

Наибольшее количество клеток микроводоросли *S. terrestris* отмечается в контроле через месяц после начала эксперимента, а наименьшее – в колбах 5 и 10 ПДК. Однако следует отметить, что число клеток тест-объекта при 1 ПДК резко увеличивается к концу эксперимента. Данные результаты можно объяснить следующим образом, свинец способен нарушать многие физиологические и метаболические процессы, путем их ингибирования включая функционирование фотосинтетических пигментов и ферментов, а также влияет на усвоение питательных веществ, повреждает клеточные мембраны (Agrawal, Misra, 2002). При невысоких концентрациях металла возможна активация этих процессов.

Кроме того, при добавлении токсиканта наблюдается несколько «пику» наибольшего числа клеток за время эксперимента, когда в контроле только один. Это можно объяснить тем, что в колбе без действия свинца происходит стабилизация общей численности клеток за счет увеличения доли покоящихся, а не погибающих клеток, а в колбах с 1, 5 и 10 ПДК в развитие популяции вмешивается фактор смертности, что было отмечено ранее и для других водорослей в условиях воздействия высоких концентраций меди (Маркушина, 2005).

Биомасса микроводоросли *S. terrestris* в контроле увеличивается в течение всего эксперимента, в то время как в колбах с токсикантами рассматриваются периоды роста и уменьшения данного показателя. Это связано с изменениями размеров клеток тест-объекта (старения и смены поколений) и неравномерной численности за весь период исследования.

В конце эксперимента было рассчитано содержание свинца в биомассе водоросли и в среде, в которой она развивалась, для того, чтобы сделать выводы об интенсивности поглощения токсиканта тест-объектом. Данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Содержание свинца в биомассе *S. terrestris* и культуральной жидкости в конце эксперимента**

Номер пробы	Концентрация Pb		
	в биомассе водоросли		в культуральной жидкости, мг/дм <sup>3</sup>
	мг/кг	±Δ	
Контроль	300	80	0.01375
1 ПДК	41000	10000	0.49636
5 ПДК	170000	40000	5.0638
10 ПДК	400000	100000	3.7937

Количество свинца, накопленного в биомассе водоросли, не пропорционально внесённому в питательную среду в начале эксперимента, о чем свидетельствует наличие данного химического элемента в культуральной жидкости. При этом, чем выше содержание токсиканта в среде произрастания, тем выше его поглощение биомассой водоросли. Аналогичный эффект наблюдали и другие исследователи (Fathi, 2002). Аккумуляцию свинца микроводорослью *S. terrestris* при разных ПДК можно задать следующим образом: Контроль < 1 ПДК < 5 ПДК < 10 ПДК. Стоит отметить, что содержание Pb в культуральной жидкости при 5 ПДК выше, чем при 10 ПДК (табл. 3). Из этого можно сделать вывод о том, что аккумуляция токсиканта биомассой водоросли при 10 ПДК намного выше, чем при 5 ПДК. Это связано с большей интенсивностью повреждения клеточных мембран при большей концентрации свинца. Увеличение размеров клеток микроводоросли приводит к тому, что рассматриваемый химический элемент в большем количестве пассивно адсорбируется заряженными полисахаридами в клеточной стенке и внутриклеточной матрице, образуя прочные комплексы с аминокислотами и другими биомолекулами, содержащими HS- и RS-группы, заменяя металлы в металлсодержащих ферментах (Fathi, 2002).

После получения данных, их рассмотрения и анализа можно сделать следующие выводы:

- соли ацетата свинца влияют на морфологические характеристики зеленой микроводоросли *Scotiellopris terrestris*. При повышении концентрации токсиканта происходит увеличение средних размеров длины и ширины клеток;
- концентрации свинца, превышающие ПДК, приводят к изменению численности и биомассы микроводоросли по сравнению с контролем;
- наибольшее поглощение свинца биомассой водоросли наблюдается при увеличении концентрации данного химического элемента в питательной среде;
- показана возможность использования биомассы водоросли в ремедиации среды для удаления соединений свинца;
- *S. terrestris* может быть использован как тест-объект для биотестирования.

Исследования выполнены при поддержке конкурсных программ научных исследований УрО РАН проект № 12-И-4-2007.

#### ЛИТЕРАТУРА

Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М.: Наука, 1998. 348 с.

Маркушина Е.В. Исследование состояния популяции водоросли *Scenedesmus quadricauda* в норме и при интоксикации методом микрокультур. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 20 с.

Юфим С.С. Яды вокруг нас. Вызов человечеству. М.: Классикс Стиль, 2002. 368 с.

Agrawal S.C., Misra U. Vegetative Survival, Akinete and Zoosporangium Formation and Germination in Some Selected Algae as Affected by Nutrients, pH, Metals, and Pesticides // Folia Microbiol. 2002. 47 (5). P. 527-534.

Fathi A.A. Toxicological Response of the Green Alga *Scenedesmus bijuga* to Mercury and Lead // Folia Microbiol. 2002. 47 (6). P. 667-671.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ (БАССЕЙН РЕКИ ЧЕРНАЯ)**

**Д.А. Каверин<sup>1</sup>, А.В. Пастухов<sup>1</sup>, Ю.В. Холопов<sup>1</sup>, А.Е. Добрынин<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> Сыктывкарский государственный университет

E-mail: [dkav@mail.ru](mailto:dkav@mail.ru), [dobrynin.92@inbox.ru](mailto:dobrynin.92@inbox.ru)

В связи с активным освоением природных ресурсов в районах Крайнего Севера большое значение приобретают исследования почвенного покрова тундры. Территория северной части Большеземельской тундры остается слабо изученной. Информация о состоянии окружающей среды носит в этом регионе несистемный, отрывочный характер. Данные по характеристике почв на территории изыскания представлены в работах Ю.А. Ливеровского (1934), И.В. Игнатенко (1979), С.В. Горячкина (2010) и др.

Согласно геоэкологическому районированию район исследования находится в зоне относительно высокой уязвимости. В бассейне р. Черная планируется интенсивная добыча углеводородов.

Цель работы – выявить разнообразие почв, формирующихся в биоклиматических условиях северных тундр в бассейне р. Черная (бассейн Баренцева моря). Территория района исследований расположена в подзоне северной тундры, север Большеземельской тундры, Ненецкий автономный округ (Атлас, 1976). По климатическому районированию территория относится к субарктическому восточному району с суровым континентальным климатом. Узкая прибрежная полоса расположена в пределах западного района с морским климатом. Среднегодовая температура в бассейне р. Черная около  $-3.3$  °С, средняя температура января равна  $-17.8$  °С, июля  $+8.8$  °С. Годовая сумма осадков – 400-500 мм, средняя глубина снежного покрова – до 65 см.

В геоморфологическом аспекте район исследований представляет собой низменную аккумулятивную равнину с абсолютными высотами преимущественно ниже 100 м над ур.м. Почвообразующие породы: четвертичные отложения морского, ледниково-морского, озерно-аллювиального и аллювиального происхождения.

Территория относится к зоне распространения сплошной многолетней мерзлоты, мощность многолетнемерзлых пород – 300-500 м, температура равна  $-3...-5$  °С, общая площадь таликов не превышает 10%. Глубина сезонно-талого слоя варьирует в пределах 30-200 см. Согласно геокриологическим прогнозам, на территории исследований к 2020 г. ожидается повышение средних годовых температур на подошве сезонных колебаний до  $-2...-3$  °С (Оберман, Шеслер, 2009).

Анализ структуры почвенного покрова показал, что среди зональных почв, характерных для южной тундры, на Няриояхском лицензионном участке распространены подбуры, глееземы, глееземы криометаморфические, торфяно-глееземы, темногумусовые глеевые и органо-криометаморфические почвы. Таксономические названия почв в статье приведены в соответствии с Классификацией почв России (2004).

Подбуры (O-VHF-C) на территории исследований встречаются локально, приурочены к возвышенным дренированным массивам, сопкам, сложенным песками. Особенностью морфологического строения подбуров является четкая дифференциация профиля. Из подтипов подбуров наиболее распространены типичные, иллювиально-гумусовые и перегнойные.

Глееземы (O-G-CG) формируются в условиях холодного гумидного климата при длительном насыщении почвы водой. Этому способствует присутствие льдистой мерзлоты, которая служит водоупором; ее верхняя граница часто находится в пределах почвенного профиля. На севере Большеземельской тундры широко распространены мерзлотные, потечно-гумусовые, перегнойные, криогенно-ожелезненные и криометаморфический подтипы глееземов. Торфяно-глееземы (T-G-CG) диагностируются по наличию торфяного горизонта мощностью 10-40 см, подстилаемого глеевым горизонтом. Широко распространены на слабодренированных массивах тундры. Торфяно-глееземы часто подстилаются многолетнемерзлыми породами в пределах первого метра. Широко распространены в северной и северо-восточной частях исследуемой территории, занимая значительные площади как на водоразделах, так и в приречных полосах.

Комплексы почв полигональных болот с сухоторфяными мерзлотными почвами торфяных бугров (TJ-TT) и торфяными олиго-

трофными почвами мочажин (ТО-ТТ) встречаются преимущественно в северной и северо-восточной частях исследуемой территории. Рассматриваемые комплексы выражены обширными массивами, приурочены к плоским водоразделам, депрессиям, распространены на низких морских террасах. Торфяники севера Большеземельской тундры представляют собой переходный вариант от полигональных болот к плоскобугристым.

Органо-криометаморфические почвы (О-CRM-C) в бассейне р. Черная распространены ограниченно, уступая позиции зональным глеевым почвам. Криометаморфические почвы формируются на дренированных пылеватосуглинистых массивах. Растительность представлена луговинами и кустарничково-моховыми тундрами.

Темногумусовые глеевые почвы (AU-G-CG) формируются обычно под луговой растительностью и травянистыми кустарничковыми сообществами в условиях избыточного грунтового и почвенно-грунтового увлажнения на склонах приречных и озерных террас. В северной тундре распространены преимущественно под склоновыми луговинами на приречных и приозерных увалах и террасах, общая площадь этих почв незначительная.

Аллювиальные гумусовые глеевые почвы (AY-Cg) занимают господствующее положение в поймах рек: развиты в центральных плоскоравнинных частях поймы, в межривных понижениях, в долинах мелких речек и ручьев. Развитие этих почв связано с более высоким уровнем грунтовых вод в этих ландшафтах, застаиванием паводковых вод и атмосферных осадков. Аллювиальные слоистые почвы (AY-C) формируются на слоистых песчаных аллювиальных отложениях. Аллювиальные торфяно-глеевые почвы (Т-Cg) занимают понижения поймы, в особенности притеррасные. Аллювиальные криотурбированные почвы (AY-C@-C) формируются на первых надпойменных террасах или высоких редко затапливаемых гривах пойменных террас.

Аллювиальные маршевые слоистые почвы (Т-C-Т'-С') формируются на приморской низменности в зоне интенсивного засоления морскими приливными водами вдоль побережья. В классификации почв России не выделены. Но отмечены на многочисленных почвенных картах и атласах (Атлас Архангельской области, 1976; Атлас Арктики, 1985). Маршевые почвы широко распространены в полосе заболоченных лайд на низкой морской террасе Баренцева моря.

На территории исследований встречаются антропогенно нарушенные (преобразованные) почвы – это в первую очередь почвы, нарушенные гусеничным и колесным транспортом, почвы сква-



жин. Характер нарушений: уплотнение либо разрушение поверхностных горизонтов. Эрозионные процессы, увеличение глубины сезонного протаивания. Хемопочвы – почвы, сильно загрязненные нефтепродуктами, неглубокое залегание мерзлотного водопора способствует полному насыщению маломощного профиля нефтепродуктами. Хемопочвы распространены прежде всего непосредственно вокруг нефтяных скважин. Наиболее широко распространены типами почв являются глееземы и торфяно-глееземы антропогенно нарушенные и химически преобразованные.

Исследование специфики почвообразования в северных тундрах и комплексный анализ почвенного покрова позволили выявить основные закономерности формирования почв в бассейне р. Черная: 1. Палеогеографические особенности стадийной седиментации почвообразующих пород и суровость климата обуславливают специфику структуры почвенного покрова приморских северных тундр; 2. Почвенный покров бассейна р. Черная характеризуется широким распространением почв полугидроморфного и криогидроморфного рядов, доминирующим как на водоразделах массивах, так и в приречных полосах; 3. Торфяно-глееземы и глееземы северной тундры характеризуются наличием криогенного ожелезнения верхнего минерального горизонта и сильным оглеением сезонно-талой части почвы; 4. Полигональные болота с сухоторфяными и торфяными олиготрофными почвами занимают наименее дренированные позиции на водораздельных, приречных и морских террасах; 5. Суровый климат и значительная оторфованность почв способствуют относительно близкому (в пределах 1 м) залеганию кровли многолетнемерзлых пород; 6. Немерзлотные почвы в северной тундре формируются на приречных разнотравных лугах и дренированных песчано-супесчаных массивах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Атлас Арктики / Под ред. А.Ф. Трешникова. М.: ГУГК, 1985.
- Атлас Архангельской области / Под ред. А.Ф. Федорова. М.: ГУГК, 1976. 72 с.
- Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: Изд-во ГЕОС, 2010. 414 с.
- Игнатенко И.В. Почвы восточно-европейской тундры и лесотундры. М.: Наука, 1979. 279 с.
- Классификация и диагностика почв России / Составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Ливеровский Ю.А. Почвы тундр Северного края // Труды Полярной комиссии. М., 1934. Вып. 19. 112 с.

*Оберман Н.Г., Шеслер И.Г.* Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий европейского северо-востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации / Науч.-информ. бюл. 2009. Вып. 9. С. 96-106. (<http://council.gov.ru/files/journalsf/number/20090922141450.pdf>).

## **РАЗНООБРАЗИЕ ГИДРОМОРФНЫХ СООБЩЕСТВ ЗАРАСТАЮЩИХ КАРЬЕРОВ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ**

**Л.В. Канцерова**

Институт биологии КарНЦ РАН  
E-mail: [Kancerova.L@mail.ru](mailto:Kancerova.L@mail.ru)

Человек с момента его появления на Земле оказывал и продолжает оказывать все нарастающее влияние на процесс формирования растительного покрова (Горчаковский, 1979). Добыча полезных ископаемых открытым способом в России ведется давно, при этом возникают обширные по площади нарушения земельных угодий, в результате которых образуются карьеры различного типа (Глазырина, 2002). В Карелии карьеры занимают небольшие площади, но объем добычи строительных материалов с каждым годом возрастает. Промышленная добыча глин в республике велась в течение всего XX в. (особенно активно с 1940 по 1980 г.), сейчас глины используются только в целях нужд местного населения. В условиях избыточного увлажнения и высоких уровней грунтовых вод глиняные карьеры быстро заполняются водой и становятся обводненными, а при отсутствии рекультивации после выработки в них начинаются процессы естественного зарастания.

На территории Южной Карелии в подзоне средней тайги в 2009 и 2013 гг. нами были изучены три обводненные группы глиняных карьеров (Сулажгорские, Соломенские и Сунские карьеры), в которых сделано 300 геоботанических описаний. Исследовались сообщества, сформировавшиеся за последние 30-40 лет. Отдельные мелкие карьеры описывали целиком в пределах естественного контура фитоценоза. В широких и глубоких карьерах описания проводили в краевой зоне карьера с сомкнутым растительным покровом, где глубина воды не превышала 1 м или закладывали временную пробную площадь (она не всегда закладывалась в форме квадрата, могла быть и вытянутой, но не превышала 400 м<sup>2</sup>), внутри которой отмечалось проективное покрытие встреченных видов в процентах (Жорчагин, 1964). Размер пробных площадей варьировал от 10 до 400 м<sup>2</sup>.

В результате анализа материала разработана эколого-фитоценотическая классификация растительности (Канцерова, 2010а, б). В исследованных обводненных глиняных карьерах выделено 16 ассоциаций (асс.), 13 из которых относятся к травяному типу, а три – к кустарниково-травяному (см. таблицу), предварительно выделено 28 субассоциаций. В данной классификации в ассоциациях 4, 5, 10-14 отмечено от двух до семи субассоциаций. В дальнейшем планируется расширение области исследований обводненных карьеров, что позволит дополнить данные материалы.

Из таблицы видно, что наибольшее число описаний выполнено в ассоциации *Callietum palustris* (25%), также эти сообщества встречаются во всех трех изученных нами карьерах, поэтому их можно рассматривать как один из основных ценозов обводненных карьеров. Помимо белокрыльниковых сообществ, велика доля ивово-разнотравных (асс. 1, 2 и 3) – 12%, носато-осоковых (асс. 5) – 11%, камышовых (асс. 10) – 10%, сабельниковых (асс. 11) – 9%, а также хвощовых (асс. 12) и рогозовых (асс. 13) – по 7%. Практически все сообщества данных ассоциаций встречаются во всех трех группах обводненных карьеров.

Всего на обводненных глиняных карьерах отмечено 209 видов высших растений (из них 167 видов сосудистых растений, 40 видов мхов и два печеночника). Во всех описаниях преобладают виды сосудистых растений, в кустарниковом ярусе часто встречающимися являются *Salix phylicifolia* (в 47% сообществ), чуть меньше процент у *S. myrsinifolia* (41%) и *S. cinerea* (32%). В травяном ярусе наиболее часто встречающийся вид – *Equisetum fluviatile*, он отмечен в 71% сообществ обводненных карьеров. Данный вид обладает широкой экологической пластичностью, что позволяет ему существовать в различных эколого-фитоценологических условиях. Другие виды менее встречаемы в сообществах ассоциаций: *Comarum palustre* (в 62% сообществ), *Calla palustris* (в 49), *Epilobium palustre* (в 43), *Lemna minor* (в 42), *Galium palustre* (в 40%). Мхи отмечены во всех ассоциациях, кроме *Salicetum myrsinifoliae* – *Herbae*. Наиболее часто встречающимися мхами для всех ассоциаций в обводненных карьерах являются *Calliergon cordifolium* (обнаружен в 25% сообществ), *Calliergonella cuspidata* (в 11), *Plagiomnium ellipticum* (в 11), *Sphagnum squarrosum* (в 9%). Средняя видовая насыщенность для ассоциаций колеблется от 10 (асс. *Salicetum myrsinifoliae* – *Herbae*) до 17 видов (асс. *Caricetum elongatae* и асс. *Filipenduletum ulmariae*).

Анализ ценофлор обводненных глиняных карьеров показал значительное различие видового богатства между ассоциациями (от 31 до 108 видов). Наиболее богатые ассоциации по видовому

**Ассоциации обводненных карьеров Южной Карелии**

№	Ассоциации	Количество описаний карьеров					Видовое богатство	Средняя видовая насыщенность
		I	II	III	Всего			
1	<i>Salicetum cinereae – Herbae</i>	2	8	6	16 (6%)	58	12	
2	<i>Salicetum phycifoliae – Herbae</i>	1	4	6	11 (4%)	57	13	
3	<i>Salicetum myrsinifoliae – Herbae</i>	–	4	1	5 (2%)	31	10	
4	<i>Callietum palustris</i>	29	24	22	75 (25%)	108	12	
5	<i>Caricetum rostratae</i>	13	11	9	33 (11%)	98	14	
6	<i>Caricetum acutae</i>	5	5	2	12 (4%)	75	13	
7	<i>Caricetum rhynchophysae</i>	1	–	6	7 (3%)	42	12	
8	<i>Caricetum vesicariae</i>	2	–	3	5 (2%)	51	15	
9	<i>Caricetum elongatae</i>	–	–	5	5 (2%)	51	17	
10	<i>Scirpetum sylvatici</i>	12	3	15	30 (10%)	86	11	
11	<i>Comaretum palustris</i>	4	12	13	29 (9%)	85	13	
12	<i>Equisetum fluviatilis</i>	5	7	10	22 (7%)	87	11	
13	<i>Typhetum latifoliae</i>	–	18	2	20 (7%)	69	13	
14	<i>Menyanthetum trifoliatae</i>	–	–	9	9 (3%)	60	16	
15	<i>Phragmitetum australis</i>	1	6	2	9 (3%)	60	14	
16	<i>Filipenduletum ulmariae</i>	–	–	5	5 (2%)	48	17	
Всего		75 25%	102 35%	116 40%	293 100%	–	–	

Примечание: I – Суляжгорские; II – Соломенские; III – Сунские карьеры.

му составу, содержащие от 85 до 108 видов (см. таблицу) – это ассоциации *Calletum palustris*, *Caricetum rostratae*, *Equisetetum fluviatilis*, *Scirpetum sylvatici* и *Comaretum palustris*. Именно эти ценозы формируют характерный облик обводненных карьеров. Наиболее бедные ценофлоры ассоциаций *Salicetum myrsinifoliae* – *Herbae*, *Caricetum rhynchophysae*, *Caricetum vesicariae*, *Caricetum elongatae* и *Filipenduletum ulmariae*, содержащие от 31 до 51 вида.

Растительность изученных обводненных глиняных карьеров отличается высоким разнообразием. Выделенные ассоциации и сообщества отличаются простым строением и доминированием в них одного или небольшого числа видов. Список синтаксонов, несомненно, будет дополнен в связи с расширением территории исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Глазырина М.А.* Особенности формирования флоры и растительности в условиях отвалов и карьеров открытых угольных разработок на примере Челябинского бурогольного бассейна: Дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2002. 266 с.

*Горчаковский П.Л.* Тенденции антропогенных изменений растительного покрова Земли // Ботан. журн. 1979. Т. 64. № 12. С. 1697-1713.

*Канцерова Л.В.* Классификация растительности обводненных карьеров Карелии // Гидробиотаника. Ярославль: Принтхаус, 2010а. С. 138-140.

*Канцерова Л.В.* Синтаксономический анализ растительности обводненных карьеров Карелии // Перспективы развития и проблемы современной ботаники. Новосибирск: СО РАН, 2010б. С. 74-76.

*Корчагин А.А.* Видовой состав растительных сообществ и методы его изучения. М.-Л.: АН СССР, 1964. Т. 3. С. 39-62.

### **ВОДРАСТВОРИМЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В КОМПЛЕКСЕ ТОРФЯНЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ВОСТОКА БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ**

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

Развитие почвообразовательного процесса в тундре отличается большим своеобразием. Почвообразование протекает в условиях отрицательных среднегодовых температур и высокой влажности, обуславливающих формирование и сохранение слоя многолетней мерзлоты, морозобойное растрескивание, а также развитие процессов, приводящих к перемещению грунта в сезонно-талом слое. Тундровые почвы постоянно переувлажнены, вследствие

влияния многолетней мерзлоты, препятствующей проникновению влаги вглубь. В свою очередь наличие влаги затрудняет доступ кислорода в более глубокие горизонты почвы, способствует преобладанию анаэробных процессов и как следствие накоплению в почве мертвого органического вещества в виде торфа. Низкие температуры и короткий вегетационный период препятствуют интенсивному развитию биологических процессов, замедляют минерализацию опада, поэтому содержащиеся в торфе зольные элементы остаются недоступными для травянистых и древесных растений. Вследствие слабого развития растительности ежегодный прирост и поступление органического вещества в почву весьма ничтожны (Гаркуша, 1963).

Важную информацию о генезисе и экологии почв можно получить, определяя группы сходных по свойствам соединений, которые извлекаются из почвы действием группового растворителя, одним из таких растворителей является вода. В состав этих водорастворимых органических соединений входят высокомолекулярные органические вещества – фульвокислоты, а также различные индивидуальные низкомолекулярные соединения. Сведения о компонентном составе водорастворимых органических соединений тундровых торфяных почв отсутствуют.

Цель данной работы – изучение природы и содержания водорастворимых органических соединений в комплексе мерзлотных почв южной тундры европейского Северо-Востока.

Исследования почв проведены в пределах бугристо-мочажинного комплекса (67°03' с.ш.; 62°55' в.д., 100 м над ур.м.) площадью 0,6 км<sup>2</sup>, находящегося в древней озерной котловине. На торфяном бугре заложена траншея протяженностью около 10 м. Для исследования выбраны три торфяные олиготрофные почвы отдела торфяных почв. Почва торфяного пятна принадлежит подтипу торфяных олиготрофных деструктивных почв (I). Далее по траншее – торфяная олиготрофная почва краевой зоны пятна (II) и торфяная олиготрофная почва на периферии торфяного бугра (III). Образцы отбирали на разных глубинах: в сезонно-талых слоях – 0-10, 10-30 см (СТС-1 и СТС-2 соответственно) и в многолетнемерзлотной породе – 50-80, 220-250 см (ММП-1 и ММП-2). Все образцы представляют собой органогенный субстрат.

Общее содержание углерода органических соединений водных вытяжек из почв ( $\rho(C_{\text{вос}})$ ) определяли методом высокотемпературного каталитического окисления на анализаторе общего углерода ТОС  $V_{\text{СРН}}$  (ГОСТ ГОСТ Р 52991-2008). Массовую концентрацию низкомолекулярных органических кислот (НМОК) оценивали методом газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС)

(Шамрикова и др., 2011, 2014). Значения  $pH_{\text{вод}}$  измеряли потенциометрически (ГОСТ 26423-85), погрешность методики – 0.1 ед. pH.

Во всех почвах наблюдаются единые закономерности (см. таблицу). С одной стороны, выражено повышение значений  $pH_{\text{вод}}$  с глубиной, причем значения pH сезонно-талых слоев выше pH многолетнемерзлотных пород на 0.7-1.0 ед. pH. В меньшей степени эта разница отмечена в почве пятна, что связано с большей разложённостью торфа на поверхности. С другой стороны, на всех четырех глубинах от первого профиля к третьему происходит повышение кислотности на 0.4-0.6 ед. pH. Таким образом, наиболее сильнокислотные компоненты присутствуют на ранних стадиях разложения органического субстрата – в поверхностном горизонте, причем в большей степени в почве, занимающей самое низкое крайнее положение.

Сложный механизм формирования и функционирования торфяных почв отражается в изменчивости состава и свойств водорастворимых органических соединений как на уровне почвенного профиля, так и на ландшафтном уровне (послойно). Общее содержание углерода водорастворимых органических соединений в изучаемых объектах составляет 70-190 мг/дм<sup>3</sup>. В каждом профиле отмечена единая закономерность: снижение этого показателя от верхнего слоя до глубины 100-130 см. Наименее изменчива по этому показателю, как и по значениям pH, почва пятна (см. табли-

#### Характеристика водных вытяжек из почв

Показатели			$pH_{\text{вод}}$	НМОК	$C_{\text{вос}}$	$C_{\text{НМОК}}$	$C_{\text{НМОК}}$
				$\rho$ , мг/дм <sup>3</sup>			$\omega$ , %
Торфяная почва пятна	СТС-1	0-10	4.36	0.4	80	2.2	2.8
	СТС-2	20-30	4.78	0.2	44	0.3	0.7
	ММП-1	105-122	5.20	0.2	40	0.4	1.0
	ММП-2	201-214	5.46	0.1	68	0.4	0.6
Торфяная почва краевой зоны пятна	СТС-1	0-10	4.25	5.9	160	6.7	4.2
	СТС-2	20-30	4.36	0.3	76	0.6	0.8
	ММП-1	106-120	5.30	0.4	100	0.3	0.3
	ММП-2	220-240	4.94	0.2	68	0.4	0.6
Торфяная почва периферии бугра	СТС-1	0-10	3.94	20.3	188	27.3	14.5
	СТС-2	10-20	4.12	3.3	172	3.7	2.1
	ММП-1	108-127	5.76	0.1	92	0.4	0.4
	ММП-2	225-241	4.98	0.2	72	0.3	0.4

*Примечание:* относительная погрешность результатов анализа  $\rho$  не превышает +8 < 15%. СТС – сезонно-талый слой, ММП – многолетнемерзлотная порода; СВОС – общий углерод органических соединений, СНМОК – углерод низкомолекулярных органических кислот;  $\rho(\omega)$  – массовая концентрация (доля).



цу). Снижение  $\rho(C_{\text{ВОС}})$  с глубиной связано с тем, что водорастворимые органические соединения в большей степени присутствуют на ранних стадиях разложения опада и растительных остатков, затем разлагаются либо трансформируются в специфические гумусовые соединения (Шамрикова, 2013). Общая закономерность последовательного снижения  $C_{\text{ВОС}}$  с глубиной нарушается на уровне более 2 м – где во всех почвах отмечено некоторое повышение данного показателя. При этом общее содержание углерода водорастворимых органических соединений горизонта ММП-2 неизменно в пределах изучаемого участка (68-72 мг/дм<sup>3</sup>), что связано с более ранней «консервацией» данной толщи относительно других. В остальных слоях (СТС-1, СТС-2, ММП-1), напротив, на ландшафтном уровне отмечена значительная вариабельность данного показателя: от первого ко второму и затем к третьему профилю отмечено последовательное увеличение  $C_{\text{ВОС}}$  в среднем в 1.5-2.0 раза. В сезонно-талых слоях это является следствием очевидных различий микрорельефа, гидротермического режима и состава биоты.

Предложенным методом идентифицировано 0.1-20.3 мг/дм<sup>3</sup> низкомолекулярных органических кислот, что соответствует 0.4-14.5% от общего углерода водорастворимых органических соединений (см. таблицу). Во всех профилях максимальное разнообразие и содержание кислот, как и общее содержание углерода органических соединений, присуще поверхностному слою, с глубиной снижается (Шамрикова, 2013). В почве пятна вглубь эта тенденция выражена несущественно, в отличие от второго и в большей степени третьего разреза, в котором общее содержание определенных кислот в пределах сезонно-талого слоя снижается в семь раз, далее к многолетнемерзлотным породам – в 30. Подобные изменения связаны с особенностями характера гидротермического режима и состава растительности. Дополнительное поступление влаги к данной позиции рельефа обусловлено оттаиванием большого количества снега, накопленного зимой в микропонижении. Значительная пространственная вариабельность в содержании кислот характерна сезонно-талым горизонтам, где массовая концентрация данных соединений по катене от пятна к склону бугра возрастает до 15 раз. Среди кислот во всех почвах в больших количествах содержатся оксипропановая кислота ( $pK_a = 3.86$ ), в среднем на ее долю приходится 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 все 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%). Кроме этих кислот детектированы

валерьяновая, пропановая, бутандионовая, глицириновая, гексадионовая, 2,3,4,-триоксибутановая, рибионовая кислоты.

Таким образом, показана существенная рельефообразующая роль криогенеза, определяющая направленность процессов почвообразования и оказывающая существенное влияние на структуру почвенного покрова и изменчивость свойств водорастворимых органических соединений. Наибольшей контрастностью состава водорастворимых органических соединений характеризуется сезонно-талый слой, где происходят современные процессы почвообразования. Отсутствие принципиальных различий перечня идентифицированных нами кислот в сезонно-талом слое и многолетне-мерзлотной породе, возможно, связано с тем, что данная методика позволяет определить лишь узкие группы органических соединений.

Искренне благодарим к.б.н., зав. лабораторией генезиса, географии и экологии почв отдела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН Е.В. Шамрикову за помощь в исследовании и консультации, к.х.н., с.н.с. отдела Ботанический сад В.В. Пунегова и к.х.н., с.н.с. лаборатории «Экоаналит» И.В. Груздева – за помощь в проведении эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-05-31111 «Многолетнемерзлые торфяники Большеземельской тундры: экологическое состояние почвенно-мерзлотного комплекса при климатическом потеплении в 21 веке».

#### ЛИТЕРАТУРА

*Гаркуша И.Ф.* Почвоведение с основами геологии. М.: Сельхоз. лит. журналов и плакатов, 1963. 265 с.

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

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.

*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.* Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 157 с.

*Шамрикова Е.В., Кубик О.А., Пунегов В.В., Груздев И.В.* Влияние разнообразия биоты на состав низкомолекулярных водорастворимых органических соединений почв южной тундры // Почвоведение. 2014. № 3. С. 295-303.

## **ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРЕННЫХ СОСНЯКОВ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ПЕЧОРЫ**

**И.Н. Кутявин**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Продуктивность лесных фитоценозов рассматривается как один из основных показателей, характеризующих функционирование лесных экосистем. Запасы и продукция органического вещества лесных насаждений являются основой для проведения экологического мониторинга, ведения лесного хозяйства, моделирования динамики продуктивности лесов с учетом глобальных изменений климата и антропогенных воздействий. В последнее время биологическая продуктивность широко используется при оценке углерододепонирующей роли лесных экосистем (Исаев и др., 1995). В настоящее время при оценке углерододепонирующей роли лесов используются методы математического моделирования. Однако для реализации этих моделей также необходима база исходных фактических данных о запасе фитомассы и чистой продукции. Следует отметить, что сосняки Северного Приуралья бассейна верхней Печоры в данном направлении не изучены. Следовательно, накопление информации о запасах и приросте фитомассы в лесных экосистемах разных регионов остается актуальным.

Цель работы – изучить биологическую продуктивность фитоценозов наиболее распространенных типов коренных сосняков в условиях Северного Приуралья.

Объектом исследования явились среднетаежные сосновые насаждения, произрастающие в юго-восточной части Республики Коми, на территории Комсомольского лесничества. Изучение структуры фитомассы и ее продукции отдельных деревьев и древостоев были проведены в трех характерных для Северного Приуралья сосняках: лишайниковом, черничном свежем и чернично-сфагновом, расположенных в бассейне верхнего течения р. Печора (61°39 с.ш., 58°12 в.д.) и ее притока – р. Уньи (61°32 с.ш., 58°12 в.д.). Краткая таксационная характеристика объектов изучения приведена в табл. 1.

Фитомасса надземных органов древесных растений определялась рубкой на каждой постоянной пробной площади (ППП) 8-10 модельных деревьев из разных ступеней толщины (Уткин, 1975). Срубленное дерево разделялось на двухметровые секции, в каждой из них отделяли ствольную древесину, ветви с хвоей и без хвои, каждую фракцию взвешивали. Из каждой секции отбирали на-

Таблица 1

Таксационная характеристика сосняков

№ ППП	Тип леса	Состав, ярус	Средние		Возраст, лет	Густота, шт. га <sup>-1</sup>	Запас ствольной древесины, М <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Абсолютная полнота, М <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Класс бонитета
			Диаметр, см	Высота, м					
11	Лишайниковый	10С	26	13.8	40-220	501	163	22.5	Va
10	Черничный свежий	1 10С	25	21.6	101-320	473	262	24.7	IV
		II 7Е	12.8	250		24	3.9		
9	Чернично-сфагновый	3С+Б 8С1Е 1Б+К	16	11.5	60-210	1020	109	18.7	Va

веску из охвоенной части (300–400 г), которая в дальнейшем разбиралась и взвешивалась отдельно для определения соотношения хвои и побегов. Для определения соотношения коры и древесины из ствола выпиливали образцы, которые разбирали по фракциям и взвешивали в сыром виде. Массу растений напочвенного покрова определяли методом укусов на площадках размером 20×20 см, в 10-16-кратной повторности. В лабораторных условиях все отобранные фракционные компоненты высушивали при температуре +105 °С до абсолютно сухой массы. Выявленные регрессионные уравнения связи фитомассы отдельных органов с диаметром и высотой деревьев, а также перечетные данные, т.е. распределение деревьев по ступеням толщины и высоты, использовали для определения запаса органического вещества в сосняках. Фитомасса корней деревьев сосны в лишайниковом типе получена путем отбора корней на свежих вывалах деревьев. Продукция фитомассы надземных органов древесных растений получена путем выведенных регрессионных уравнений, на основе анализа прироста отдельных фракций модельных деревьев. Прирост корней определялся согласно методике (Методы изучения..., 2002). Продукция растений напочвенного покрова получена на основе данных Н.И. Казиминова с соавт. (1977).

Общие запасы фитомассы, характеризующие продуктивность сосновых сообществ Приуралья, приведены в табл. 2. Спелые и перестойные сосняки, в зависимости от лесорастительных условий, аккумулируют 128-185 т га<sup>-1</sup> органического вещества, из них на древостой приходится 86-95%, подрост –

0.4-6.0, травяно-кустарничковый ярус – 0.1-6.6 и мохово-лишайниковый покров – 1.1-6.3%. В древостоях сосняков распределение фитомассы следующее: 55-71% концентрируется в стволовой древесине, 4-7 – в стволовой коре, в кроне – 6-15, корнях – 16-25%.

Одним из показателей, характеризующих продуктивность лесов, является соотношение массы подземных органов к надземным. В исследованиях ряда авторов (Казимиров и др., 1977; Биопродукционный процесс..., 2001) показано, что с увеличением влажности почв у преобладающей породы – сосны – происходит увеличение органической массы корней и хвои (листьев) и снижение массы стволовой древесины. В сосняке лишайниковом на долю корней древесных растений приходится 20.9%, в чернично-сфагновом – 26.5, тогда как в черничном свежем – 16.7% от общей массы растений в фитоценозах (табл. 2). Следовательно, при ухудшении условий минерального питания или снижении аэрирования почв происходит увеличение доли древесных растений в фитомассе подземных органов.

Прирост органического вещества в исследуемых лесных сообществах характеризуется следующими показателями, т га<sup>-1</sup> в год: в сосняке лишайниковом – 1.99, сосняке черничном свежем – 3.78, чернично-сфагновом – 5.17 (табл. 2). Так, в перестойном сосняке лишайниковом значительная часть продукции органического вещества приходится на стволовую древесину (50.5%) и хвою (23.2%). Прирост массы корней составляет 17% от общего прироста органического вещества древостоя. В продукции деревьев подроста наибольший вклад вносит хвоя (63%). Относительно высокой биологической продуктивностью характеризуются растения сосняка черничного, развитого на подзолисто-иллювиально-гумусово-железистой почве, где древесные растения депонируют 2.39 т га<sup>-1</sup> в год органического вещества. Из них на долю стволовой древесины приходится 51%. Доля прироста хвои (листьев) составляет 25%, коры, ветвей и корней – 5.4, 6.7 и 11.6% соответственно. В составе подроста участвует ель, основная часть продукции которой накапливается в хвое (71.2%). Годичная продукция древостоя сосняка чернично-сфагнового равна 2.42 т га<sup>-1</sup> и близка к продукции фитомассы сосняка черничного свежего. Это объясняется тем, что в сосняке чернично-сфагновом в составе древостоя присутствуют довольно крупные деревья кедра и ели, также отмечено большое количество подроста ели крупной категории высот. В общем приросте фитомассы сосняка чернично-сфагнового на долю сосны приходится 72.5%, ели – 9.5, березы – 4.1, кедра – 3.5 и подроста – 10.4%. Прирост фитомассы надземных органов составляет 92.1%.

Таблица 2

**Биологическая продуктивность сосняков**

Тип леса (№ ППП)	Основной компонент	Древесный ярус		Нижний ярус		Всего
		Древостой	Подрост	Травяно- кустар- ничковый	Мхи и лишай- ники	
Лишайниковый (ППП 11)	Надземная	<u>92591</u> 1231	<u>521</u> 49	<u>190</u> 32	<u>8127</u> 414	<u>101429</u> 1726
	Подземная	<u>26739</u> 253	<u>35</u> 5	<u>19</u> 5	–	<u>26793</u> 263
	Итого	<u>119330</u> 1484	<u>556</u> 54	<u>209</u> 37	<u>8127</u> 414	<u>128222</u> 1989
Черничный свежий (ППП 10)	Надземная	<u>146609</u> 1965	<u>2471</u> 138	<u>2127</u> 355	<u>3008</u> 409	<u>154215</u> 2867
	Подземная	<u>28215</u> 275	<u>310</u> 14	<u>2502</u> 626	–	<u>31027</u> 914
	Итого	<u>174824</u> 2239	<u>2781</u> 151	<u>4629</u> 981	<u>3008</u> 409	<u>185242</u> 3781
Чернично-сфагновый (ППП 9)	Надземная	<u>84439</u> 1992	<u>7798</u> 240	<u>2487</u> 1021	<u>1482</u> 247	<u>96206</u> 3500
	Подземная	<u>28206</u> 178	<u>411</u> 13	<u>5928</u> 1482	–	<u>34545</u> 1673
	Итого	<u>112645</u> 2170	<u>8209</u> 252	<u>8415</u> 2503	<u>1482</u> 247	<u>130751</u> 5173

*Примечание:* в числителе – общие запасы живого органического вещества, кг га<sup>-1</sup>, в знаменателе – продукция, кг га<sup>-1</sup> в год.

Текущий прирост фитомассы растений напочвенного покрова по типам леса меняется от 0.45 до 2.75 т га<sup>-1</sup> в год. Следует отметить, что данный показатель резко возрастает в сосняке чернично-сфагновом, что связано с переувлажнением почвы. Отмечено, что с продвижением на Север и увеличением влажности почв, в одних и тех же типах леса в общей продуктивности снижается доля древостоя и повышается участие растений напочвенного покрова (Казимиров и др., 1977; Бобкова, 1987). Так, в сосняке лишайниковом основной прирост в растениях напочвенного покрова приходится на лишайники (92%), в черничном свежем – на кустарнички (71%). В переувлажненном сосняке чернично-сфагновом в приросте растений напочвенного покрова увеличивается доля травянистых растений (91%), большая часть которых (59%) приходится на подземные органы.

Таким образом, в фитоценозах коренных сосняков, в зависимости от условий местопроизрастания, аккумулируется от 128 до 185 т га<sup>-1</sup> органического вещества. Ведущая роль в его накоплении принадлежит древостою (86-94%). Представленность в фитомассе фитоценоза подроста и растений напочвенного покрова не-

значительна (1-8%). Ежегодная продукция органического вещества в сосняках составляет 1.99-5.17 т га<sup>-1</sup>. Древостои сосняков депонируют 1.54-2.42 т га<sup>-1</sup> в год органического вещества, в формировании которого существенная роль принадлежит стволу древесине и хвое (листьям). С повышением гидроморфности почв увеличивается в приросте доля растений нижних ярусов до 53%.

#### ЛИТЕРАТУРА

Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.

*Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.

*Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П.* и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения. М., 1995. 156 с.

*Казмиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С.* и др. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.

Методы изучения лесных сообществ // Отв. ред. В.Т. Ярмишко, И.В. Лянгузова. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 2002. 240 с.

*Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов // Лесоведение и лесоводство. М., 1975. Т. 1. С. 9-190.

### ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРО-ВОСТОКА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Т.И. Кутявина, Т.Н. Перминова, Г.И. Березин**  
Вятский государственный гуманитарный университет  
E-mail: *Kutyavinati@gmail.com*

Одной из самых актуальных проблем нашего времени является загрязнение природных вод и донных отложений. Донные отложения объектов гидросферы обладают способностью накапливать различные вещества, которые поступают в них с водосборов в течение времени. В результате состав донных осадков отражает особенности эколого-геохимического состояния соответствующей территории (Воронцова, Кокрятская, 2007). К группе наиболее опасных загрязнителей гидросферы относятся тяжелые металлы (ТМ), так как их соединения обладают высокой токсичностью (Кужина, Янтурин, 2009). Данные поллютанты активно мигрируют между звеньями системы «вода–взвешенные наносы–донные отложения» и накапливаются в наиболее инертном звене – донных отложениях (Лепехин и др., 1999).



Цель нашей работы – изучение содержания тяжелых металлов в донных отложениях четырех крупных прудов (водохранилищ) Кировской области: Белохолуницкого, Омутнинского, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого. Данные водоемы находятся на северо-востоке региона. Возникновение прудов связано с развитием в Кировской области металлургической промышленности. Все изучаемые водохранилища функционируют более 200 лет и испытывают разную степень антропогенной нагрузки (Кутявина и др., 2013).

Пробы донных отложений в Омутнинском пруду отбирали в июле 2011-2013 гг., в трех других прудах – в июле 2013 г. Отбор проб производили с трех участков водохранилищ: верховья, центрального и приплотинного. Исключение составил Большой Кирсинский пруд. На этом водохранилище нам удалось отобрать пробы только с центральной и приплотинной частей. Условное деление водоемов на три части обусловлено различной антропогенной нагруженностью участков. На всех объектах центральная и приплотинная части прудов используются более интенсивно, чем верховье (Кутявина и др., 2013).

Анализ проб проводили в научно-исследовательской экоаналитической лаборатории Вятского государственного гуманитарного университета. Содержание ТМ определяли методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Результаты химического анализа донных отложений представлены в таблице.

Нами были выявлены некоторые особенности в содержании ТМ в донных отложениях изучаемых водохранилищ. Так, зафиксировано, что наибольшие концентрации ТМ наблюдаются в донных отложениях Омутнинского водохранилища (см. таблицу). Этот факт можно объяснить тем, что данный водоем испытывает самую высокую антропогенную нагрузку по сравнению с другими объектами исследования (Кутявина и др., 2013). Содержание ТМ в донных отложениях Омутнинского пруда мы изучаем с 2011 г. Было отмечено, что концентрации некоторых ТМ существенно отличаются на разных участках водохранилища. Так, нами была выявлена тенденция к увеличению содержания цинка, кадмия и свинца в донных отложениях в направлении от верховьев к приплотинной части пруда. Вероятно, это связано с повышением антропогенного влияния в приплотинной части водоема. На этой территории располагается автомобильная дорога районного значения, городская застройка и Омутнинский металлургический завод. Берега в приплотинной части регулярно укрепляют путем отсыпки шлаком. Все перечисленные объекты могут быть источником дополнительного поступления ТМ в воду, а затем и в донные отложения.

## Содержание тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ северо-востока Кировской области

Пруд	Участок	Содержание, мг/кг (валовая форма)									
		Медь	Цинк	Никель	Кадмий	Свинец	Марганец	Железо			
Белохолуницкий	Верховье	2.0 ± 0.5	17 ± 6	4.1 ± 1.1	0.115 ± 0.034	1.64 ± 0.34	81 ± 19	1900 ± 500			
	Центральная часть	2.0 ± 0.5	16 ± 5	5.0 ± 1.4	0.14 ± 0.04	2.4 ± 0.5	53 ± 12	2800 ± 700			
	Приплотинная часть	3.1 ± 0.7	11.0 ± 3.6	5.0 ± 1.4	0.15 ± 0.04	2.0 ± 0.4	142 ± 33	2800 ± 700			
Омутнинский	Верховье	10.6 ± 2.4	66 ± 22	30 ± 8	0.23 ± 0.06	7.6 ± 1.6	510 ± 120	10500 ± 2600			
	Центральная часть	11.2 ± 2.6	73 ± 24	31 ± 9	0.25 ± 0.06	7.2 ± 1.5	390 ± 90	9200 ± 2300			
	Приплотинная часть	9.0 ± 2.1	96 ± 32	21 ± 6	0.30 ± 0.08	8.7 ± 1.8	400 ± 90	9600 ± 2400			
Большой Кирсинский	Центральная часть	2.2 ± 0.5	20 ± 7	4.3 ± 1.2	0.21 ± 0.05	3.9 ± 0.8	180 ± 40	4000 ± 1000			
	Приплотинная часть	3.2 ± 0.7	19 ± 6	4.0 ± 1.1	0.110 ± 0.033	2.7 ± 0.6	81 ± 19	2900 ± 700			
	Верховье	4.5 ± 1.0	26 ± 9	12.9 ± 3.6	0.14 ± 0.04	3.8 ± 0.8	270 ± 60	4700 ± 1200			
Чернохолуницкий	Центральная часть	2.1 ± 0.5	20 ± 7	6.1 ± 1.7	0.120 ± 0.036	2.7 ± 0.6	161 ± 37	2800 ± 700			
	Приплотинная часть	4.6 ± 1.1	46 ± 15	4.3 ± 1.2	0.20 ± 0.06	7.8 ± 1.6	510 ± 120	3500 ± 900			
	ПДК*	55	100	85	—	32	1500	—			

\* ПДК для почв (согласно ГН 2.1.7.2041-06).

В донных отложениях Белохолуницкого, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого прудов концентрации всех определяемых ТМ были значительно ниже, чем в Омутнинском пруду.

В Чернохолуницком пруду, как и в Омутнинском, отмечено увеличение концентраций цинка и свинца в приплотинной части. Также на этом участке довольно высокое содержание кадмия и марганца по сравнению с верховьем и центральной частью водоема. Приплотинная часть Чернохолуницкого пруда занята жилой застройкой, по гребню плотины проходит автомобильная дорога местного значения. Вероятно, эти объекты оказывают влияние на содержание ТМ в донных отложениях.

Содержание ТМ в донных отложениях Белохолуницкого пруда не имело значительных отличий на разных участках. Стоит отметить, что жилые и хозяйственные строения расположены большей частью на берегах в приплотинной и центральной частях пруда. Также в непосредственной близости от водоема проходит автомобильная трасса федерального значения. Чаша водоема вытянута в направлении с северо-востока на юго-запад, и трасса проходит почти параллельно водоему.

Концентрация ТМ в Большом Кирсинском пруду не отличается в центральной и приплотинной частях. Исключение составляют только марганец и кадмий. Концентрации этих металлов выше в средней части водохранилища. Повышенное содержание марганца, вероятно, связано с геохимическими особенностями данной территории. Загрязнение вод кадмием может быть вызвано атмосферными осадками, сточными водами промышленных предприятий, вымыванием кадмия из сельскохозяйственных угодий и водами, просачивающимися из хранилищ отходов (свалок) (Зарецкая, 2004). В данном случае увеличение концентрации кадмия в средней части водоема, скорее всего, связано с поступлением стоков с сельскохозяйственных угодий, расположенных на берегах пруда.

Чтобы оценить, насколько велико содержание ТМ в донных отложениях изученных прудов, мы сравнили полученные данные с имеющимися нормативами. Так как утвержденных экологических нормативов содержания ТМ для донных отложений не существует, при анализе полученных результатов были использованы ПДК для почв (см. таблицу). Превышения ПДК нами не зафиксированы, но содержание цинка в донных отложениях Омутнинского пруда довольно высокое, на уровне ПДК.

Таким образом, нами было изучено содержание тяжелых металлов в донных отложениях четырех прудов Кировской области. Отмечено, что в разных водоемах концентрации ТМ не одинако-

вы. Наибольшее содержание всех определяемых ТМ зафиксировано в Омутнинском пруду. Данный факт, вероятно, связан с более высокой антропогенной нагрузкой на этот водоем, по сравнению с другими. Выявлена тенденция к увеличению содержания свинца и цинка в приплотинных частях Омутнинского и Чернохолуницкого прудов.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Воронцова О.Н., Кокрятская Н.М.* Изучение состава органического вещества в донных осадках устья Северной Двины // Экология-2007: Матер. докл. Междунар. молодеж. конф. Архангельск, 2007. С. 115-117.

ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

*Зарецкая Г.Н.* Исследование содержания кадмия в воде реки Лютога (остров Сахалин) // Фундаментальные исследования. 2004. № 3. С. 105-105.

*Кужина Г.Ш., Янтурин С.И.* Исследование загрязнения тяжелыми металлами донных отложений верхнего течения р. Урал // Вестник ОГУ. 2009. № 6 (100). С. 582-584.

*Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я.* Морфометрические, гидрохимические и биологические особенности прудов северо-востока Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 50-55.

*Лепехин А.П., Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А.* и др. Роль донных отложений в формировании качества воды рек западного Урала // Вестник Перм. ун-та. 1999. Вып. 3. Геология. С. 299-309.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ СЕВЕРА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

**И.А. Лиханова, В.А. Ковалева**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [likhanova@ib.komisc.ru](mailto:likhanova@ib.komisc.ru)

Богатство Республики Коми природными ресурсами обусловило сырьевую направленность ее промышленности. К 2010 г. общая площадь нарушенных земель в Республике Коми составляла около 15 тыс. га, основная часть которых расположена в Усинском районе. Сложность восстановления лесных экосистем здесь обусловлена их нахождением на северной границе распространения. Исследования на севере таежной зоны показали, что особенно медленно их восстановление происходит на песчаных субстратах (Лиханова и др., 2013). Нередко в третьем десятилетии сук-

цессия остается на пионерной стадии, преобразование субстрата не происходит, развивается эрозия. Основная отрасль Усинского района – нефтедобыча. Крупные нефтяные месторождения находятся, в основном, в зоне распространения песчаных почвообразующих пород. В связи с этим требуется разработка специальных мероприятий, ускоряющих восстановительный процесс.

Цель работы – на основе сравнительного анализа эффективно-сти применения на посттехногенных территориях крайнесеверной тайги трех технологий ускорения восстановления лесных экосистем дать рекомендации по их ускоренному восстановлению.

Исследована эффективность следующих технологий: традиционной технологии лесной рекультивации; комплекса приемов природовосстановления; оптимизированной технологии восстановления лесных экосистем.

Традиционная технология лесной рекультивации (посадка сеянцев древесных растений без улучшения техногенного субстрата) слабо способствует ускорению восстановительного процесса и не предотвращает развитие эрозионных процессов. Неблагоприятные субстратные условия, суровые природно-климатические условия способствуют сильному отпаду саженцев и замедленному их росту. К середине третьего десятилетия их высота не достигает и 4 м. Посадка дичков древесных пород высотой около 50 см с комом земли обеспечивает более быстрое формирование древесного яруса высотой свыше 7 м. Но даже при удовлетворительном формировании древостоя внедрение растений напочвенного покрова происходит медленно. Во втором десятилетии сукцессии фитомасса напочвенного покрова ниже 50 г/м<sup>2</sup>. Соответственно, формирование почвы сильно заторможено – верхний двухсантиметровый слой содержит до 0.5% органического углерода (C<sub>орг.</sub>), около 1 мг/100 г в.с.п. гидролизуемого азота (N<sub>гидр.</sub>), до 7 мг/100 г в.с.п. оксида калия (K<sub>2</sub>O). Содержание данных элементов в исходном субстрате – 0.1, 0.3, 2.9 соответственно.

Комплекс приемов природовосстановления (создание травянистого сообщества с помощью внесения удобрений и посева трав) способствует формированию нового продуктивного слоя почв и уменьшению эрозионных процессов. При создании травянистого сообщества при внесении только минеральных удобрений к началу третьего десятилетия сукцессии начинает формироваться древесно-кустарниковый ярус. Состав 4ЕЗБЗИ+С, количество – 9700 шт./га, высота – 0.4-0.5 м. Искусственно созданный травостой во втором десятилетии замещается на травянисто-мохово-лишайниковый напочвенный покров. Формируется подстилка, накапливающая значительное количество органического углерода и элементов

биогенов:  $C_{\text{орг.}}$  – 10.5%,  $N_{\text{гидр.}}$  – 11.6 мг/100 г в.с.п.,  $K_2O$  – 35.8 мг/100 г в.с.п. Ниже по профилю их содержание уменьшается до параметров исходного субстрата (0.1, 0.5, 3.5 соответственно).

При создании травянистого сообщества на песчаном субстрате после экранирования его слоем торфа мощностью (10-20 см) к началу третьего десятилетия сукцессии формируется древесный ярус (состав 5Л4Б1И+Е, количество – 7333 шт./га, высота 3.5-5.0 м). В травяно-кустарничковом ярусе наряду с внедрившимися лесными и опушечными видами еще достаточно обильны высеянные злаки. За счет развития мохового покрова формируется травяно-моховая подстилка, характеризующаяся накоплением биофильных элементов:  $C_{\text{орг.}}$  – 7%,  $N_{\text{гидр.}}$  – 12 мг/100 г в.с.п.  $K_2O$  – 30 мг/100 г в.с.п. Под подстилкой оторфованный слой также насыщен элементами питания (3-4, 4-8, 9 соответственно). Ниже расположены слабо измененные песчаные слои техногенного субстрата.

Оптимизированная технология восстановления лесных экосистем (посадка древесных растений с внесением удобрений, посевом трав и уходом за формирующейся экосистемой) значительно ускоряет восстановление древесного яруса при одновременном развитии травянистого покрова. При использовании крупномерного посадочного материала местного происхождения к концу первого десятилетия сукцессии формируется древесный ярус высотой до 1.5-2.0 м. Использование двухлетних сеянцев менее перспективно из-за их сильного отпада и низких темпов роста. Травянистый покров активно развивается в период внесения минеральных подкормок. К четвертому-пятому годам опыта создается сомкнутый травостой, высотой 50-80 см и фитомассой до 300 г/м<sup>2</sup>. С прекращением ухода он постепенно деградирует, но за счет своего существования искусственно созданный травостой обеспечивает накопление ветоши на поверхности субстрата (свыше 400 г/м<sup>2</sup>) и формирование одернованного слоя (подземная фитомасса в слое 0-10 см – 1000 г/м<sup>2</sup>). С выпадением высеянных трав идет активное формирование мохового покрова (ОПП 50%). При этом развивается мохово-травянистая подстилка, в верхнем двухсантиметровом слое отмечено повышенное содержание  $C_{\text{орг.}}$  (0.4 %),  $N_{\text{гидр.}}$  (1.5 мг/100 г в.с.п.) и  $K_2O$  (11.7 мг/100 г в.с.п.) по сравнению с исходными показателями (0.1, 0.3, 2.2 соответственно).

Контрольные участки (без применения приемов ускорения восстановительной сукцессии) остаются лишенными растительного покрова. Техногенный субстрат подвержен эрозии и не имеет растительного покрова, что обуславливает заторможенность почвообразовательных процессов.

Исследования определили целесообразность применения технологий, включающих посев многолетних трав. Однако в условиях крайнего севера тайги более предпочтительно применение оптимизированной технологии восстановления лесной экосистемы, стимулирующей одновременно и формирование древесного полога всей экосистемы. В связи с отмеченным предлагаем рекомендации по проведению восстановительных работ на песчаных техногенных субстратах севера таежной зоны Республики Коми.

Восстановительные работы начинаются с подготовки субстрата, включающие уборку мусора, выравнивание площади, сплошное внесение органического удобрения (биологически активный компост в дозе 5 т/га (патент № 2094414) и комплексного минерального удобрения в дозе 3.0-3.5 ц/га.

Хороший результат получен при экранировании песчаного субстрата слоем торфа около 10 см. Однако необходимо учитывать, что добыча торфа приводит к разрушению болотных экосистем. В целях восстановления лесных экосистем должен быть использован только тот торф, который планируется добыть с участков болот, отведенных под строительство промышленных объектов и коммуникаций.

В весенний период, сразу после внесения удобрений, ведется посев почвозадерживающих трав. Норма высева семян при их всхожести 90-100% – 20 кг/га. В качестве почвозадерживающих трав используют местные многолетние виды: мятлик луговой, лисохвост луговой, овсяницы красная, овечья и луговая. Наши наблюдения показали, что на сухих песчаных субстратах более устойчивы овсяницы красная и овечья. При внесении повышенных доз органических удобрений (экранирование субстрата слоем торфа) устойчивы лисохвост луговой и мятлик луговой.

Посадка древесных и кустарниковых пород растений ведется одновременно с посевом трав. В качестве посадочного материала лучше использовать пяти-семилетние саженцы с комом земли, выращенные из семян местного происхождения, или дички из естественных экосистем – подрост высотой около 50 см с комом земли 30×30 см. В природоохранных целях выкопку дичков рекомендуется проводить на участках леса, которые вскоре должны подвергнуться техногенному воздействию. Посадочный материал должен быть хорошего качества и не должен быть заражен вредителями и болезнями. При выкопке, транспортировке, посадке саженцев необходимо следить за целостностью и влажностью кома земли. На песчаных, супесчаных субстратах возможна посадка сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы пушистой. На суглинистых и песчаных с внесением повышенных доз органиче-



ских удобрений хорошие результаты показала посадка ели сибирской и березы пушистой. При посадке саженцы размещают рядами на расстоянии 2-3 м, расстояние между рядами устанавливают от 1.5 до 2.0 м.

Уход за восстанавливающейся экосистемой включает ежегодную подкормку комплексным минеральным удобрением с нормой расхода 1.5-2.0 ц/га в течение трех лет. При отпаде саженцев свыше 25% от количества высаженных производится дополнение. Слежение за фитопатологическим состоянием древесных пород и при необходимости проведение мер борьбы с болезнями. До формирования молодой лесной экосистемы (смыкания крон древесных пород, формирования напочвенного покрова и почвы) проводятся мониторинговые исследования. Важность их заключается в определении эффективности проведенных восстановительных работ, о чем можно судить по критериям успешного выполнения работ по восстановлению лесных экосистем.

**Критерии состояния посадок.** О хорошем состоянии посадки свидетельствует приживаемость до 80%, сохранность до 65%, достижение в первое десятилетие после посадки высоты древесных пород около 2 м, низкая степень пораженности древесных пород болезнями.

**Критерии состояния травяного и мохового ярусов.** Достижение в первое пятилетие после посева общего проективного покрытия травостоя более 70%. Травостой должен обеспечить накопление слоя ветоши на поверхности субстрата, смягчив водно-температурный баланс формирующейся почвы. К концу десятилетия в связи с прекращением внесения удобрений состояние искусственно созданного травостоя должно ухудшиться и начнется внедрение новых видов сосудистых растений, мохообразных и, возможно, лишайников.

**Критерии эрозионной безопасности посттехногенной территории.** К середине первого десятилетия восстановительного процесса подземная фитомасса должна быть около 1000 г/м<sup>2</sup> и более, а на поверхности сформирован уже слой ветоши, что обеспечит закрепление субстрата. Не должно быть признаков смыва и размыва субстрата.

**Критерии эффективности восстановления почвы.** В период наблюдений должна быть отмечена положительная динамика содержания основных элементов-биогенов в верхнем двухсантиметровом слое. К пятилетию восстановительного процесса морфологически должен быть выражен одернованный слой, а к концу десятилетия – подстилка.

Выполнение данных критериев позволит говорить о достаточно эффективном проведении восстановительных мероприятий.

Таким образом, сравнительный анализ эффективности применения трех технологий ускорения восстановительной сукцессии показал большую целесообразность применения в условиях севера таежной зоны оптимизированной технологии. На основе результатов вариантов опытов по отработке данной технологии дан первый вариант рекомендаций по восстановлению лесных экосистем на границе распространения леса и определены критерии эффективности восстановительных работ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 3-04-98818 «Ускоренное восстановление лесных экосистем на посттехногенных территориях таежной зоны Республики Коми».

#### ЛИТЕРАТУРА

*Лиханова И.А., Турубанова Л.П., Железнова Г.В., Кузнецова Е.Г.* Самовосстановление растительного покрова на нарушенных территориях Усинского района // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: Докл. II Всерос. науч. конф. Сыктывкар, 2013. С. 359-368

*Арчегова И.Б., Маркарова М.Ю., Громова О.В.* Патент № 2094414 на изобретение «Способ получения органического удобрения», зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 27 октября 1997.

## ОСОБЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ЗАРАСТАЮЩЕГО ПРИТОКА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ

**О.Г. Лопичева**

Вологодский государственный университет

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

В настоящее время эвтрофирование водных экосистем охватило не только стоячие водоемы, но и северные реки, в которых этот процесс замедлялся течением и температурным режимом. Ускорение темпов эвтрофирования обусловлено увеличением как внешней, так и внутренней биогенной нагрузки. Последняя, в основном, связана с интенсивным зарастанием водных объектов, так как минерализация отмирающей растительности повышает содержание биогенных элементов. Особенно быстро данный процесс протекает в мелководных озерах с извилистой береговой линией и наличием заливов, которые становятся локальными очагами эв-

трофирования, в том числе и в северных регионах. Примером является эвтрофирующееся Кубенское озеро, расположенное в центральной части Вологодской области, имеющее обширный водосбор, с многочисленными притоками.

Главным притоком озера служит р. Кубена, подвергающаяся многофакторному и мощному антропогенному воздействию, включая дополнительное поступление биогенов. Поэтому крупная речная экосистема вносит основной вклад в биогенную нагрузку Кубенского озера и характеризуется ускорением темпов антропогенного эвтрофирования. Это происходит несмотря на природные особенности, замедляющие данный процесс: высокая скорость течения, песчаное дно, температурный режим северной реки. Кроме того, река отличается значительной глубиной, что препятствует распространению прибрежной растительности.

Однако в р. Кубену впадают многочисленные мелкие притоки, которые могут играть роль локальных очагов процессов эвтрофирования, как и в мелководном озере. Это связано как с природными, так и с антропогенными факторами, которые определяют высокую внешнюю и внутреннюю биогенную нагрузку на данные водотоки. Притоки характеризуются высокой освоенностью берегов, что при низкой скорости течения и малой глубине благоприятствует развитию макрофитов, создающих конкуренцию фитопланктону. В условиях зарастаемости угнетаются процессы фотосинтеза в фитопланктонном сообществе и уменьшается его обеспеченность биогенами (Жокин, 1982). Следовательно, роль того или иного продуцента для стимулирования процессов эвтрофирования зависит от типа водного объекта.

Исходя из вышеизложенного, цель нашей работы – выявление особенностей развития фитопланктона в разных ассоциациях макрофитов зарастающего мелкого притока с высокой антропогенной нагрузкой.

Модельным водотоком для исследования влияния макрофитов на развитие фитопланктонного сообщества послужила р. Кихть – приток первого порядка р. Кубены. Это типичная малая река со слабоизвилистым руслом, имеющая среднюю глубину не более 1.5 м протяженностью 70 км. В нее впадают притоки второго порядка Пова, Томаш, Лапова, Шубровка, дренирующие болотный водосбор. Река Кихть также берет свое начало в болотистой местности, что является природным фактором для развития процесса эвтрофирования за счет поступления аллохтонной органики и ее последующей минерализации.

Наглядным индикатором данного процесса служит высокая степень зарастания акватории на всем протяжении исследуемой

реки. В поясах прибрежно-водной растительности доминируют представители семейств осоковых, рдестовых и кубышковых. Запрослевающая зона охватывает не только прибрежные участки, но и стрежень реки, распространяясь пятнами по всей акватории. Интенсивное развитие макрофитов отражает органическое загрязнение и высокое содержание биогенов вследствие антропогенной нагрузки на рассматриваемый водоток. Пути поступления дополнительных веществ в реку связаны с точечными источниками загрязнения и освоенным водосбором. На берегах р. Кихть и ее притоков располагаются крупные населенные пункты, дачные участки, что при отсутствии очистных сооружений является причиной загрязнения хозяйственно-бытовыми стоками. Другим негативным фактором служит наличие животноводческих ферм, располагающихся невдалеке от водотоков, а также значительная площадь сельскохозяйственных угодий на водосборе.

Для исследований было выбрано нижнее течение р. Кихть, показатели состояния которого можно считать интегрирующими, т.е. отражающими состояние реки в целом. Сюда поступают загрязняющие вещества с вышележащих по течению участков, а также это ключевой район водотока с точки зрения изучения параметров планктона, который формируется притоком.

Исследования проводились в августе 2013 г. в период наибольшей вегетации макрофитов. Для характеристики абиотических факторов нижнего течения р. Кихть, которые могут влиять на развитие продуцентов, включая макрофиты и фитопланктон, определялось следующее: характер грунта, глубина водотока, прозрачность воды, температура и гидрохимические параметры. Выбор для гидрохимического анализа семи основных показателей связан с выявленными в водных объектах на территории Вологодской области процессами, изменяющими условия обитания, таких как сдвиг активной реакции среды, органическое загрязнение и эвтрофирование (Болотова, 2009).

Так, показатели pH и содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  могут характеризовать процесс нарушения бикарбонатного равновесия, отражающего тенденцию сдвига активной реакции среды в сторону закисления. Значения перманганатной окисляемости дают представление о содержании в воде органических веществ, а по концентрации  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$  можно судить о процессе нитрификации, приводящему к повышению содержания биогенов.

Пробы воды на химический анализ собирались синхронно и синтопно с отбором проб фитопланктона в зарослях в трех разных ассоциациях макрофитов, а также в зоне открытой воды. Для исследования были выбраны сообщества камыша озерного

(*Schoenoplectus lacustris*), кубышки желтой (*Nuphar lutea*), рдеста блестящего (*Potamogeton lucens*) (Орлова, 1997), так как они имеют различное морфологическое строение и, следовательно, создают разные условия для развития фитопланктонного сообщества.

Пробы фитопланктона фиксировались раствором Люголя и затем концентрировались осадочным методом. Лабораторная обработка производилась в камере Нажотта в трехразовой повторности. Численность фитопланктона рассчитывалась по стандартной формуле, биомасса определялась с помощью счетно-объемного метода, и полученные данные усреднялись (Садчиков, 2003).

Исследуемый участок р. Кихть характеризовался незначительными глубинами до 0.4 м, песчаными грунтами, прозрачностью воды до дна, а температура воды в период отбора проб не превышала 14 °С. **В зоне открытой воды, которую можно считать условно фоновой (с точки зрения влияния макрофитов на условия развития фитопланктона), активная реакция среды была близка к нейтральной (7.2).** В зарослевой зоне этот показатель менялся, снижаясь до 6.9 в ассоциациях камыша озерного и повышаясь до 7.5-7.6 в ассоциациях рдеста блестящего и кубышки желтой. При анализе гидрохимических показателей выявлено, что по сравнению с зоной открытой воды, где содержание хлорид-анионов было 3.5 мг/л, в ассоциации кубышки этот показатель уменьшался до 1 мг/л и повышался в ассоциациях рдеста и камыша (4.3 и 4.5 и мг/л соответственно). Максимальная концентрация сульфат-анионов отмечена на участке открытой воды – 19.2 мг/л, а затем снижалась до 18.3, 17.2 и 15.3 мг/л мг в ассоциациях камыша, кубышки и рдеста соответственно. Напротив, гидрокарбонат-анионы, которые играют буферную роль в процессах закисления, имели меньшие показатели в зоне открытой воды – 7.6 мг/л и повышались в зарослях в ассоциациях камыша и рдеста до 12.2 мг/л.

Показатели, связанные с содержанием органических веществ и азотных соединений, отличались в исследуемых микробиотопах, и закономерно были выше в зоне открытой воды при отсутствии макрофитов. Так, значение перманганатной окисляемости на участке открытой воды достигало 5.4 мг/л и снижалось до 5.2 и 5.1 мг/л в зарослях рдеста, кубышки и камыша соответственно. Большее содержание нитрит-анионов в воде отмечено в ассоциации кубышки желтой (0.8 мг/л), а нитрат-анионов – как в этой ассоциации, так и на участках, зарастающих рдестом и в зоне открытой воды (0.75-0.8 мг/л). Меньшим содержанием нитратов и нитритов характеризовалась ассоциация камыша озерного (0.6 мг/л). Сравнительный анализ гидрохимических показателей выявил отличия на участке с ассоциацией камыша, что отража-

ет и мозаичность условий развития фитопланктона в зарастающем притоке.

В целом в фитопланктонном сообществе р. Кихть были выявлены пять отделов водорослей: диатомовые, зеленые, синезеленые, криптофитовые, эвгленовые. Средняя численность водорослей составляла 22100 тыс. кл./л, биомасса – 0.6 мг/л, и уровень развития фитопланктона укладывается в показатели, характерные для малых рек. Однако выявлены значительные отличия между качественными и количественными показателями развития фитопланктона на участках открытой воды и зарослевой зоны, а также в трех исследуемых ассоциациях макрофитов.

Наибольший уровень развития фитопланктона отмечался в зоне открытой воды при отсутствии макрофитов. Здесь общая биомасса и численность составляли 28600 тыс. кл./л и 1.72 мг/л соответственно. Доминирующими группами являлись представители зеленых (89%) и диатомовых (9%) водорослей, что характерно для летнего периода в северных водоемах.

В зарослевой зоне отмечалось заметное снижение количественных показателей развития фитопланктона. При уменьшении общей численности до 19 906 тыс. кл./л. показатели биомассы снизились больше, чем в пять раз и составили 0.3 мг/л. Это связано с изменением таксономической и размерной структуры фитопланктона в сторону мелких форм в условиях конкуренции с макрофитами. Происходит смена доминантов с зеленых на синезеленые водоросли, которые являются индикаторами эвтрофирования. Следует подчеркнуть, что особенно наглядно тенденция сдвига в структуре и показателей фитопланктона проявилась в зарослях рдеста. Здесь наблюдается абсолютное доминирование синезеленых водорослей (97%), а количественные показатели имели наименьшее значение, общая численность составляла 17 760 тыс. кл./л., биомасса – всего 0.1 мг/л. Аналогичная картина характерна для ассоциаций кубышки желтой, где общая численность и биомасса не превышали 22 200 тыс. кл./л и 0.05 мг/л соответственно. Преобладающей группой также были синезеленые (72%), однако заметную долю составляли представители зеленых водорослей (20%).

Исключение составляла ассоциация камыша озерного, которая была схожа по структуре фитопланктона, включающего зеленые, диатомовые, криптофитовые водоросли с сообществом открытой воды. Доминирующими группами являлись представители зеленых (52%) и диатомовых (44%) водорослей. Следует отметить сходный уровень развития фитопланктона в зарослях камыша и в открытой воде, где его численность и биомасса составляют 19 700

тыс. кл./л и 0.7 мг/л соответственно. Очевидно, это связано с морфологическими характеристиками данной ассоциации, отличающейся слабой сомкнутостью зарослей.

Таким образом, формирование фитопланктонного сообщества определяется степенью зарастаемости водотока и структурой фитоценозов, в которых доминирующие ассоциации, имеющие разные морфологические особенности и сомкнутость зарослей, создают специфические условия обитания для разных видов водорослей.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Болотова Н.Л.* Эвтрофирование крупных озер Вологодской области в условиях антропогенной трансформации их водосборов // Теоретические и прикладные аспекты современной лимнологии. Минск, 2009. С. 123-129.

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

*Орлова Н.И.* Определитель высших растений Вологодской области. Вологда: Русь, 1997. 264 с.

*Садчиков А.П.* Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.

### **ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА *PINUS SYLVESTRIS* L. В ОСТРОВНОМ МАССИВЕ ЛИШАЙНИКОВОГО БОРА ПЕЧОРСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**А.В. Манов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [manov@ib.komisc.ru](mailto:manov@ib.komisc.ru)

В настоящее время появляется все больше публикаций, характеризующих влияние изменений климата на бореальные лесные экосистемы. Тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха на территории России за последние 40 лет отличается положительным трендом (Ефимова и др., 2004). По результатам многочисленных исследований показано, что основным фактором, оказывающим значительное влияние на рост и развитие древесных растений в экстремальных почвенно-климатических условиях, куда относится район наших работ, является, прежде всего, недостаток тепла в летние месяцы (Ваганов и др., 1996 и др.). Также следует отметить, что сосна в этих условиях может произрастать только на прогреваемых песчаных почвах (Листов, 1986).



Таким образом, цель данной работы заключается в выявлении лимитирующих метеорологических факторов, оказывающих влияние на прирост сосны в переходной зоне лес–тундра на примере Суло-Харьягинского бора.

Исследования проводились в заполярном лишайниковом бору, расположенном в междуречье Сула–Харьяга бассейна р. Печора (рис. 1). Бор представляет собой лесной массив на песчаных отложениях, окруженный болотами и тундрой. В рассматриваемом регионе климат характеризуется как субарктический, с морозной зимой и коротким нежарким летом. Зима сравнительно мягкая вследствие влияния Баренцева моря, однако весна и осень длительные и холодные, а лето прохладное.

Для древесного яруса изучаемого соснового сообщества присуща малая сомкнутость полога и небольшая полнота. Деревья низкорослые, для них характерна большая протяженность кроны по стволу. В составе древостоя встречается береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), реже лиственница сибирская (*Larix sibirica* Led.). Сосняк формирует одноярусный, условно одновозрастный, V класса бонитета древостой. Средняя высота сосны – 9 м, сред-

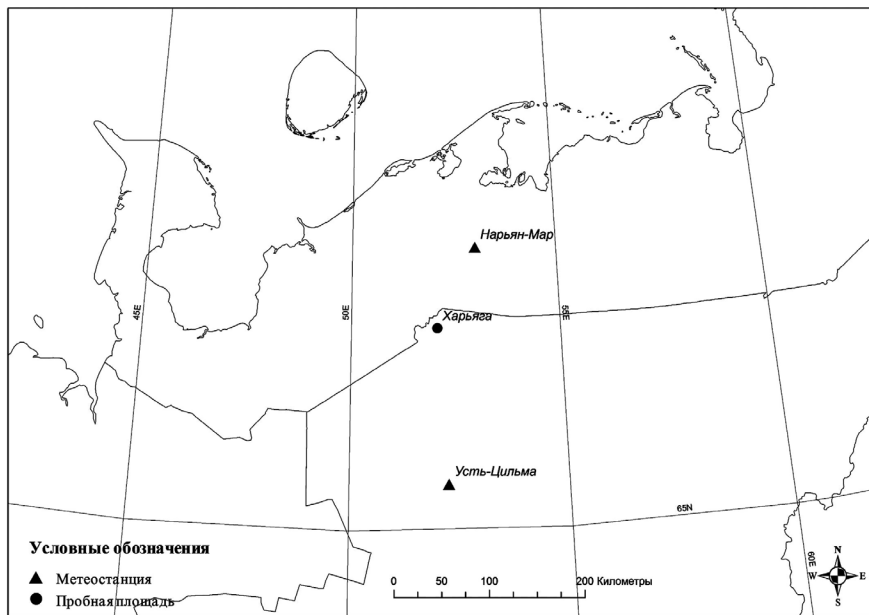


Рис. 1. Карта-схема расположения района исследования и ключевых метеостанций.

ний диаметр – 11 см. Возраст деревьев хвойных видов – 65-90 лет, отдельные особи достигают 200 лет. Абсолютная полнота древостоя – 18.6 м<sup>2</sup> га<sup>-1</sup>, запас древесины растущих деревьев в нем 110 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>. Встречаются пни, сохранившиеся после рубки древостоя в 40-х гг. XX в. Следы послепожарных подсушин на деревьях не обнаружены. Подрост преимущественно сосновый, по состоянию здоровый. Мохово-лишайниковый покров сплошной, его образуют кустистые лишайники и зеленые мхи. Почва – подзол иллювиально-гумусово-железистый.

Отбор образцов древесины сосны для дендроклиматического анализа производился с растущих деревьев в виде кернов на высоте 0.2-0.3 м от шейки корня по одному радиусу. Камеральная работа осуществлялась согласно методике (Шиятов и др., 2000). Измерение ширины годичных колец проводили с точностью 0.01 мм на измерительной установке LINTAB™ с использованием специализированного программного обеспечения TSAP™ (Rinn, 1996). Полученные нами 13 индивидуальных рядов радиального прироста деревьев сосны были дополнены 16 рядами от более старых сосен Суло-Харьгагинского бора, хранящихся в Международном банке древесно-кольцевых данных ITRDB (International Tree Ring Data Bank, исследователь F. Schweingruber). Статистическую обработку дендрохронологического материала проводили с помощью программных пакетов *dplR* и *bootRes* из библиотеки среды программирования R (Bunn, 2008; Zang, Biondi, 2013).

Чтобы избежать влияния на годичный прирост возрастных изменений, индивидуальные древесно-кольцевые хронологии были индексированы с использованием кубического сглаживающего сплайна при помощи пакета *dplR*. Затем, из-за высокой инертности (автокорреляции) ширины годичных колец, индивидуальные ряды индексов прироста были «выбелены» с использованием модели авторегрессии. Далее ряды усредняли методом взвешенного среднего Тьюки, в результате чего получали остаточную (выбеленную) хронологию. Для оценки качества дендрохронологических рядов рассчитаны следующие показатели: коэффициент корреляции Пирсона, стандартное отклонение, средний коэффициент чувствительности, автокорреляция первого порядка и общий популяционный сигнал хронологии (expressed population signal, EPS). За пороговую величину EPS принято значение 0.85, при которой общая дисперсия ниже этого порога указывает на недопустимое количество шума в хронологиях.

Влияние климата на радиальный прирост сосны оценивали по показателям функции отклика, полученным при помощи бутстреп-метода (*bootstrap*) в пакете *bootRes*. Данный подход основан

на получении значений коэффициентов множественной линейной регрессии для климатических переменных отдельных месяцев и оценку их доверительных интервалов (Ваганов и др., 1996).

В работе использован архив инструментальных метеоданных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ([www.meteo.ru/climate/sp\\_clim.php](http://www.meteo.ru/climate/sp_clim.php)) по среднемесячным температурам воздуха и суммам месячных осадков (с мая по сентябрь) за период 1927-2008 гг. по ближайшей к объекту исследования метеостанции «Нарьян-Мар».

Статистический анализ индивидуальных рядов радиального прироста сосны Суло-Харьягинского бора подтверждает хорошее качество полученных данных и возможность их применения при дендроклиматических исследованиях. Так, теснота связи между индивидуальными хронологиями значительная (в среднем коэффициент корреляции равен 0.69, стандартное отклонение – 0.45). Средний коэффициент чувствительности хронологических рядов достаточно высокий (0.23). Согласно показателю  $EPS \geq 0.85$ , доказана обеспеченность древесно-кольцевых хронологий данными с 1792 по 2008 г. Отмечается высокое значение автокорреляции первого порядка (в среднем – 0.78) в индивидуальных сериях хронологий, что свидетельствует о связи климатических условий прошлых лет с приростом текущего года. В целом, статистические параметры указывают на достоверность построенных дендрохронологических рядов и на значительное влияние абиотических факторов на рост сосны.

Для рассматриваемой территории были построены усредненные фактическая и остаточная древесно-кольцевые хронологии продолжительностью 217 лет (рис. 2). Развитие сосны за двухвековой период характеризуется невысоким снижением годичного прироста в первое столетие, затем резким увеличением его в начале второго столетия и относительно стабильным приростом до настоящего времени. Такой скачок величины годичного прироста сосны в начале XX в. можно объяснить установлением аномально теплых термических условий в Арктике.

Сравнительный анализ остаточной древесно-кольцевой хронологии с погодными условиями мая-сентября за 1927-2008 гг. в Печорском Заполярье показал, что положительное влияние на радиальный прирост сосны оказывает температура воздуха с мая по август ( $r = 0.06-0.34$ ) (рис. 3 А). Статистически значимая связь (при  $P < 0.05$ ) отмечается в месяцы активной вегетации, в частности в июне ( $r = 0.19$ ) и июле ( $r = 0.34$ ). При этом температура воздуха июля влияет на прирост стволовой древесины сосны значительно сильнее, чем в остальные месяцы вегетационного периода.

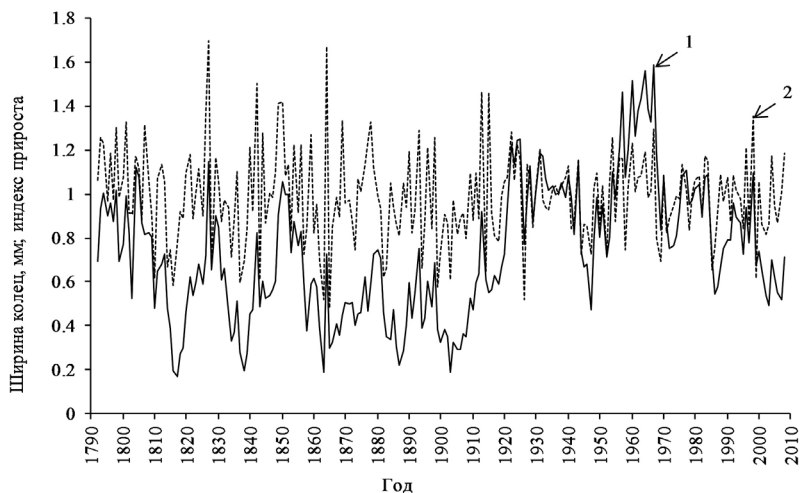


Рис. 2. Многолетняя динамика фактического (1) и индексированного (2) прироста сосны.

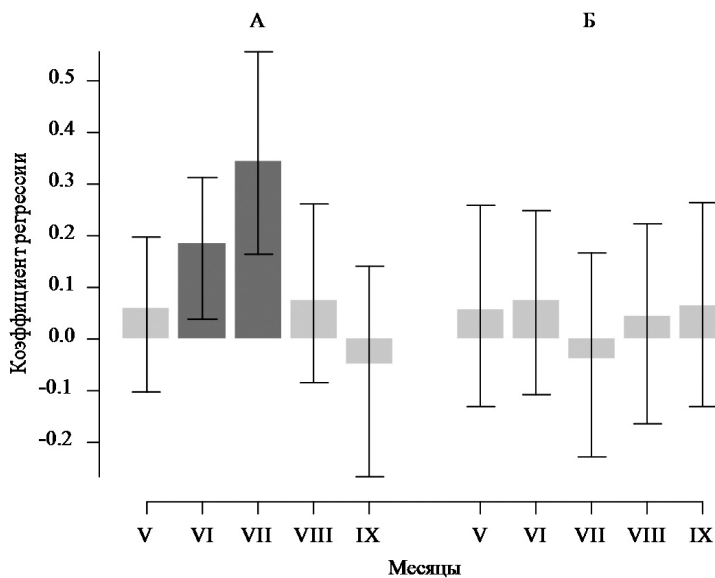


Рис. 3. Функция отклика остаточной древесно-кольцевой хронологии сосны на среднемесячную температуру воздуха (А) и сумму месячных осадков (Б). Темные столбцы указывают на коэффициент значимости при  $P < 0.05$ , вертикальные линии представляют собой 95%-ный доверительный интервал.

В течение рассматриваемого календарного периода хронология сосны слабо соотносится с количеством месячных осадков (рис. 3 Б). Так, связь прироста древесины с осадками в отдельные месяцы слабая, положительная ( $r = 0.03-0.07$ ), а в июле – слабая отрицательная ( $r = -0.04$ ).

Динамика радиального прироста сосны в переходной зоне лес–тундра показала хорошо выраженную реакцию на температуру воздуха в период активной вегетации (июнь, июль). Осадки в рассматриваемом нами районе заповлярья не оказывают лимитирующих действий на ширину годичных колец сосны.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.

*Ефимова Н.А., Жильцова Е.Л., Лемешко Н.А., Строкينا Л.А.* О сопоставлении изменений климата в 1981-2000 гг. с палеоаналогами глобального потепления // Метеорология и гидрология. 2004. № 8. С. 18-23.

*Листов А.А.* Боры-беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с.

*Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Курдянов А.В.* и др. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методическое пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.

*Bunn A.G.* A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. № 26. P. 115-124.

*Rinn F.* Tsap version 3.5. Reference Manual. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Helenberg, Germany, Frank Rinn. 1996. 264 p.

*Zang C., Biondi F.* Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis // Dendrochronologia. 2013. № 31. P. 68-74.

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭМИССИИ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ БОЛОТА ЗАВИСИТ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

**М.Н. Мигловец, О.А. Михайлов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: miglovets@ib.komisc.ru, mikter@mail.ru

За период 1958-2000 гг. среднегодовая величина эмиссии метана с поверхности болот в северных широтах достигла 28 Мт (Мохов и др., 2007). В Республике Коми болотные экосистемы занимают 7.7% всей территории. Активность метаногенных и метанотрофных бактерий зависит от таких экологических факторов,

как уровень грунтовых вод и температура почвы (Heikkinen et al., 2002; Глаголев, Смагин, 2006). Поэтому погодные условия, оказывая влияние на гидротермический режим болота, определяют сезонную вариабельность и интенсивность потоков метана из торфяной залежи в атмосферу.

Цель настоящей работы – оценить потоки метана в атмосферу в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги при разных погодных условиях в течение двух вегетационных сезонов.

Измерения потоков метана проводили методом камер на мезоолиготрофном болоте Мэдла-Пэв-Нюр (Республика Коми) с июня по сентябрь 2008 г. и с мая по сентябрь 2011 г. на участках, приуроченных к разным сообществам и элементам микроландшафта: (1) олиготрофное кустарничково-травяно-сфагновое (кочка и мочажина); (2) мезотрофное кустарничково-травяно-сфагновое (осоково-сфагновый ковер); (3) мезоевтрофная травяно-сфагновая промывная топь.

Глубина торфяной залежи исследуемого участка болота составляет 180-220 см в олиготрофной части, 190 см – на мезотрофном участке и 180 см – в мезоевтрофной травяно-моховой проточной топи.

Из двух лет наблюдений вегетационный период в 2008 г. был более прохладным и влажным. В 2011 г. отмечался недобор осадков с мая по сентябрь и повышенная температура воздуха (см. таблицу). Поэтому уровень грунтовых вод (УГВ) в 2011 г. оказался значительно ниже, чем в 2008 г.

**Характеристика погодных условий для двух лет наблюдений  
(по данным для метеостанции Усть-Вымь)**

Год	Месяц	Параметры					
		Среднемесячная температура воздуха, °С	Отклонение температуры от нормы, °С	Min, °С	Max, °С	Осадки, мм	Процент к норме
2008	Май	5.5	-1.3	-6	23	51	106
	Июнь	14.3	0.6	-1	30	48	72
	Июль	18.6	2.3	8	31	42	61
	Август	13.3	-0.4	2	24	144	215
	Сентябрь	6.5	-1	-1	19	72	107
2011	Май	10.6	4	-4	27	39	81
	Июнь	15.9	2	3	31	26	39
	Июль	19.4	3.1	3	34	35	51
	Август	12.4	-1	-1	26	54	81
	Сентябрь	8.9	1.4	2	19	83	124

Алюминиевые камеры объемом  $0.108 \text{ м}^3$  устанавливали на металлические рамки ( $600 \times 600 \text{ мм}$ ) с желобом, заполненным водой, которые углублены в торф на  $400 \text{ мм}$ . Отбор проб производили с использованием пластиковых шприцев объемом  $60 \text{ мл}$  в определенные промежутки времени суток с общей экспозицией  $20 \text{ мин.}$  и шагом  $4 \text{ мин.}$  Камеры укомплектованы электрическими вентиляторами для охлаждения и нагнетания воздуха, термометрами и пластиковой трубкой для поддержания нужного атмосферного давления внутри камеры. Шприцы и пробка камеры снабжены сдерживающими кранами.

Для определения объемной доли метана в образцах воздуха использовали газовый хроматограф «Кристалл 5000.2» (ОАО «Хроматек», Россия) с пламенно-ионизационным детектором. Анализ пробы проводили в двух повторностях. Величину эмиссии рассчитывали с помощью уравнения идеального газа, учитывая температуру внутри камеры и ее объем, а также атмосферное давление.

В 2008 г. скорость выделения метана с поверхности болота в атмосферу постепенно возрастала в июне, достигая максимальных значений в конце июня–начале июля, после чего наблюдалось постепенное снижение ее. К середине сентября количество эмитируемого метана приблизилось к нулевому значению. В этом году скорость эмиссии с поверхности всех исследованных участков болота варьировала в пределах  $0.002\text{--}8.4 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , среднее значение составило  $4.3 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , без учета эпизодических выбросов метана, вычисленных с помощью критерия Граббса.

В 2011 г. со второй половины мая до конца июня скорость эмиссии возросла почти в восемь раз. Высокая скорость потока метана сохранялась до конца июля, после чего наблюдали ее постепенное снижение. В середине сентября 2011 г. значения эмиссии приблизились к нулю, однако процесс продукции метана полностью не прекратился. В 2011 г. скорость эмиссии метана варьировала в пределах  $0.017\text{--}14.02 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$  (выбросы редуцированы), а ее среднее значение составило  $4.9 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Различия в эмиссии метана в 2008 и 2011 гг. оказались достоверными (t-тест,  $\alpha = 0.012$ ).

Результаты статистического анализа показали высокие значения ошибки среднеарифметического значения и значительное отклонение среднедневной эмиссии от нормального распределения в некоторые дни наблюдений в 2011 г. По результатам исследования Христенсена с соавторами (Christensen et al., 2003), значительное отклонение от нормального распределения Гаусса связано с включением пузырькового потока, который имеет логнормальное распределение. По всей видимости, в жаркое лето с



недобором осадков сохраняется неустойчивость эмиссионных потоков метана на болоте.

Это же подтверждается при сравнении уровня грунтовых вод и эмиссии метана. Так, в 2011 г. высокие значения скорости выделения метана в атмосферу регистрировали при УГВ ниже 20 см. Такая же тенденция отмечалась ранее в работе Ринне с соавторами (Rinne et al., 2007), что объясняется включением механизма пузырькового выхода метана при снижении гидростатического давления в торфяной залежи. В 2008 г. наблюдалось увеличение скорости эмиссии с повышением УГВ, что, согласно данным других авторов, связано со снижением аэробного окисления метана в верхнем горизонте торфяной залежи (Глаголев и др., 2010; MacDonald, 1998). Таким образом, в разные по погодным условиям годы может меняться характер зависимости скорости выделения метана в атмосферу от УГВ.

Для двух лет наблюдений нами установлена положительная связь скорости эмиссии с температурой почвы на глубине 20-30 см, которая описывается экспоненциальной функцией. Однако для 2008 г. коэффициент корреляции выше, чем в 2011 г., что свидетельствует о более оптимальных температурных условиях для продукции метана.

Таким образом, нами установлено, что скорости эмиссии метана достигают максимальных значений в середине вегетационного периода в июле. Интенсивность эмиссии метана зависит от погодных условий. При недостаточном количестве осадков в летний период снижение УГВ до 20 см приводит к усилению выбросов метана, что противоречит общепринятым представлениям об образовании метана в болотных экосистемах. Возможно, что температура почвы и уровень грунтовых вод влияют на механизмы транспорта метана из торфяной залежи в атмосферу.

Работа выполнена в рамках проекта ПРООН/ГЭФ № 00059042.

#### ЛИТЕРАТУРА

Глаголев М.В., Смагин А.В. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. № 3. Вып. 3. С.75-114.

Глаголев М.В., Сирич А.А., Лапшина Е.Д., Филиппов И.В. Изучение потоков углеродсодержащих парниковых газов в болотных экосистемах Западной Сибири // Вестник ТГПУ. 2010. Вып. 3(93). С. 120-127.

Мохов И.И., Елисеев А.В., Денисов С.Н. Модельная диагностика изменений эмиссии метана болотными экосистемами во второй половине XX века с использованием данных реанализа // ДАН. 2007. Т. 417. № 2. С. 258-262.

*Christensen T.R., Panikov N., Mastepanov M. et al.* Biotic controls on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> exchange in wetlands – a closed environment study // *Biogeochemistry*. 2003. Vol. 64. P.337-354.

*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.

*MacDonald J.A., Fowler D., Hargreaves K.J. et al.* Methane emission rates from a northern wetland; response to temperature, water table and transport // *Atmospheric Environment*. 1998. Vol. 32. № 19. P. 3219-3227.

*Rinne J., Riutta T., Pihlatie M. et al.* Annual cycle of methane emission from a boreal fen measured by the eddy covariance technique // *Tellus*. 2007. Vol. 59B. № 3. P. 449-457.

## **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЭМИССИИ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ**

**А.А. Минина, М.В. Лукашева**

Сыктывкарский государственный университет

E-mail: [mari.lukasheva.91@mail.ru](mailto:mari.lukasheva.91@mail.ru), [Studentka.minina2011@yandex.ru](mailto:Studentka.minina2011@yandex.ru)

Метан играет важную роль в фотохимических реакциях, протекающих в атмосфере, и является важным парниковым газом (Глаголев, Сабреков, 2012). Естественными источниками метана являются болота, заболоченные лесные и тундровые экосистемы, экосистемы озер и океанов (Задорожий и др., 2012). В России площадь заболоченных территорий составляет 230 млн. га, а оторфованных земель (со слоем торфа до 30 см) – 369 млн. га, что в сумме достигает 22% всей территории страны (Вомперский, 1994). В Республике Коми 7.7% площади занято болотами и заболоченными землями (Лесное хозяйство..., 2000). Процессы метаногенеза активно исследуются в природных ландшафтах Западной Сибири. Работы по изучению роли заболоченных земель в эмиссии метана в атмосферу в Республике Коми единичны (Heikkinen et al., 2002). В то же время данные о потоках метана в природных биогеоценозах необходимы для количественной оценки суммарной эмиссии этого газа в регионе и прогнозирования возможных глобальных климатических изменений.

Цель настоящей работы – изучить сезонную динамику эмиссии метана с поверхности напочвенного покрова в лесных и болотных фитоценозах среднетаежной подзоны.

Сезонные наблюдения за динамикой эмиссии метана проводили с июля по сентябрь 2013 г. на мезоолиготрофном болоте Медла-

Пэв-Нюр (Сыктывдинский район Республики Коми) и примыкающем к нему ельнике разнотравно-кустарничковом зеленомошном. На болоте измерения проводили в двух типах фитоценозов (олиготрофной мочажине и мезоевтрофной топи), в ельнике – на девяти участках с разным растительным покровом и типом почвы (см. таблицу).

Для измерения потока метана с поверхности почвы в лесных и болотных фитоценозах применяли метод статических камер. Отбор проб производили с использованием двух алюминиевых камер размером 500×500 мм и высотой 300 и 380 мм, объемами 0.075 и 0.095 м<sup>3</sup> соответственно, установленных на стальных рамках, углубленных в торф. Отбор проб воздуха из камер осуществляли с помощью пластиковых шприцев объемом 60 мл через одинаковые промежутки времени (8 мин. для первых трех микроценозов и 5 мин. для остальных) с общей экспозицией 20-40 мин. В каждом микроценозе отбор проб проводили в пятикратной повторности. Камеры укомплектованы электрическими вентиляторами для охлаждения и перемешивания воздуха, термометрами и пластиковой трубкой для поддержания постоянного атмосферного давления внутри камеры. Шприцы и пробка камеры снабжены сдерживающими кранами. Одновременно регистрировали температуру воздуха, почвы, атмосферное давление и уровень почвенно-грунтовых вод. Анализ концентрации газа в пробах воздуха проводили на хроматографе «Кристалл-5000.2» с пламенно-ионизационным детектором.

В результате наблюдений установлено, что скорость эмиссии метана с поверхности напочвенного покрова в лесу и на болоте различается в два-три раза. Средняя скорость эмиссии метана достигала максимальной величины в июле (рис. 1). С завершением летнего сезона и началом осени наблюдали значительное снижение потока метана в атмосферу, что может быть связано с понижением дневной температуры воздуха, а также температуры почвы, которая является важным фактором в жизнедеятельности метаногенных бактерий.

Наиболее высокая скорость эмиссии зафиксирована в микроценозе, расположенном в мочажине (№ 12), где мощность торфа составляет 200 см (рис. 2). В трех типах сообществ (№ 5-7), сформированных на глеево-подзолистой почве в ельнике, наблюдали поглощение метана на протяжении всего вегетационного сезона, что может быть связано с низким, а иногда отрицательным, значением УГВ.

За период наблюдений в мае-июне на болоте скорость эмиссии метана с поверхности мезоевтрофной топи (№ 16) выше, чем

## Характеристика исследованных участков в лесу и на болоте

№ участка	Тип сообщества	Тип микрорельефа	Видовой состав растений напочвенного покрова	Тип почв
Ельник разнотравно-зеленомошный				
5	Травяно-зеленомошное	Западина	<i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Ranunculus repens</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Geranium sylvaticum</i> , <i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	Глееподзолистая
6			<i>Oxalis acetosella</i> , <i>Rosa dumalis</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Lethyrus vernus</i> , <i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	
7			<i>Oxalis acetosella</i> , <i>Lethyrus vernus</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Geranium sylvaticum</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	
8	Зеленомошное	Западина	<i>Warnstorfia exannulata</i>	Глееподзолистая
9	Сфагновое сообщество с единичным присутствием трав	Западина	<i>Comarum palustre</i> , <i>Calamagrostis nigilecta</i> , <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sp. magellanicum</i> , <i>Stramineogon stramineum</i>	Глееподзолистая
10	Хвощово-сфагновое	Западина	<i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Sphagnum riparium</i>	Торфяно-глебовая
11	Травяно-сфагновое	Западина	<i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Sphagnum centrale</i>	
12	Травяно-зеленомошное	Мочажина	<i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Warnstorfia exannulata</i>	
13	Кустарничково-травяно-сфагновое	Кочка	<i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Andromeda polifolia</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Sphagnum magellanicum</i>	
Мезоолиготрофное болото				
4	Олиготрофное кустарничково-травяно-сфагновое	Олиготрофная мочажина	<i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Drosera rotundifolia</i> , <i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Sphagnum sp.</i>	Торфяная
16	Мезоэвтрофная травяно-сфагновое	Мезоэвтрофная топь	<i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Utricularia intermedia</i> , <i>Oxycoccus palustris</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Carex limosa</i> , <i>Andromeda polyfolia</i> , <i>Betula nana</i> , <i>Sphagnum sp.</i>	

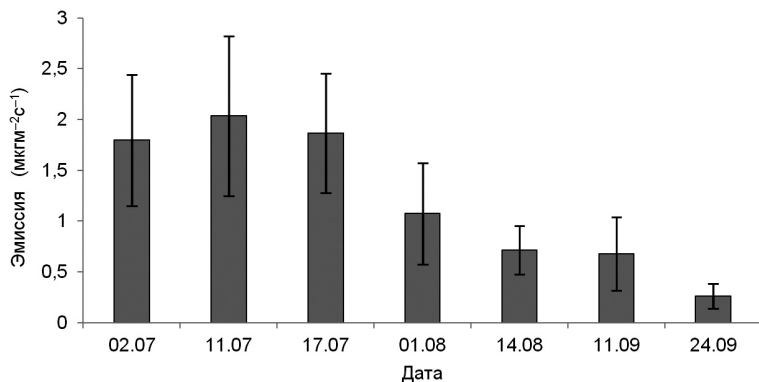


Рис. 1. Сезонная динамика средней скорости эмиссии метана с поверхности напочвенного покрова в лесном фитоценозе (n = 9) в июле-сентябре 2013 г.

на олиготрофной мочажине (№ 4). Летом (с июля по август) отмечена обратная тенденция (рис. 3). Максимальное значение средней скорости эмиссии метана в сообществах растений на мочажине составило в июле  $4.1 \pm 1.3$  мкгм<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>, а в топи –  $3.2 \pm 0.5$  мкгм<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. К осени скорость эмиссии метана постепенно снижалась.

Таким образом, исследования в лесных и болотных сообществах растений показали, что эмиссии метана в течение сезона до-

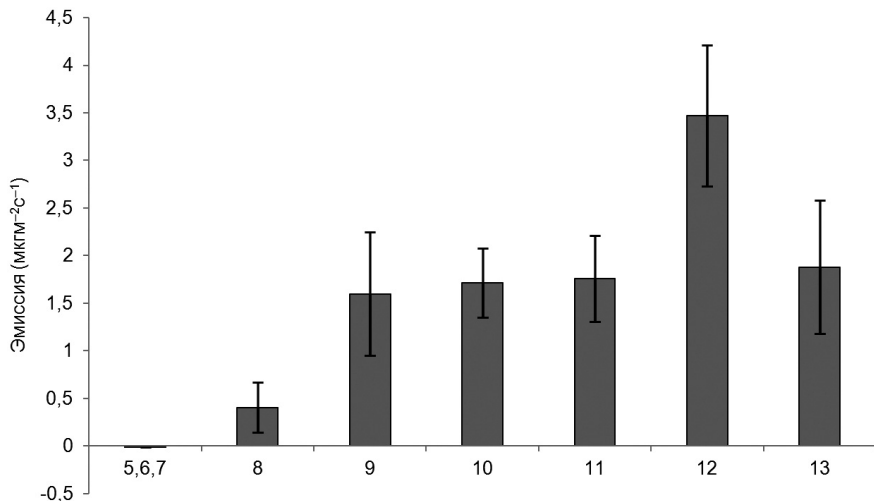


Рис. 2. Средние за сезон значения скорости эмиссии метана с поверхности напочвенного покрова в лесных фитоценозах и фитоценозах окраинной топи период с июля по сентябрь 2013 г.; 5-13 – номера участков.

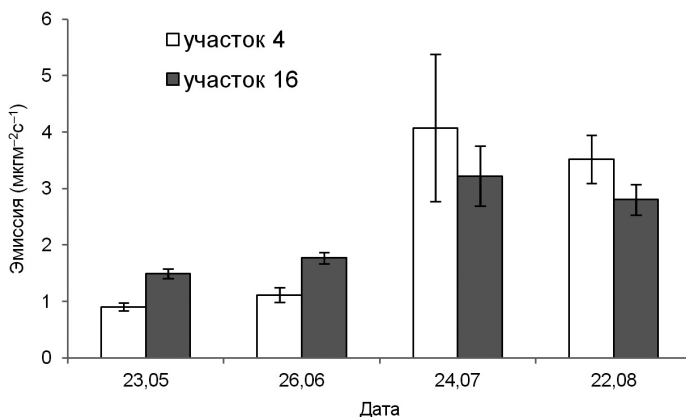


Рис. 3. Средняя скорость эмиссии метана с участков олиготрофной мочажины (№ 4) и мезоевтрофной топи (№ 16) за период с мая по август 2013 г.

стигают наибольших величин в июле и постепенно снижаются к осени. Средняя скорость эмиссии метана с поверхности напочвенного покрова в болотных фитоценозах выше в два-три раза, чем в ельнике разнотравно-зеленомошном. Максимальные значения потока метана установлены в мочажинах с травяно-зеленомошным типом сообществ растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

Волперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О.П. Заболоченные органические почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17-25.

Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. Идентификация газообмена на границе экосистема/атмосфера: метод обратной задачи // Математическая биология и биоинформатика. 2012. Т. 7. № 1. С. 81-101.

Задорожий А.Н., Семенов М.В., Ходжаева А.К., Семенов В.М. Почвенные процессы продукции, потребления и эмиссии парниковых газов // Агрохимия. 2012. № 10. С. 75-92.

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

Heikkinen Juha 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.

## **ДЕГРАДАЦИЯ МИКРОБНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СООБЩЕСТВ ГОРНОЙ ТУНДРЫ ПОСЛЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРЫ КАСКАМА В ДОЛИНЕ РЕКИ ПАЗ)**

**В.А. Мязин, Н.В. Фокина, М.В. Корнейкова**

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН

E-mail: *myazin@inep.ksc.ru*

Мурманская область не относится к регионам, осуществляющим добычу и переработку нефти, однако загрязнение территории нефтепродуктами (НП) является актуальным и для нашего региона. В число потенциально опасных источников загрязнения почвы относятся нефтебазы, объекты топливно-энергетического комплекса, крупные промышленные предприятия, имеющие в своей структуре автотранспортные подразделения, автозаправочные станции и др. Определенную долю в общий объем загрязнения вносят объекты Министерства обороны РФ. Наблюдается загрязнение почвы на территории, где располагались расформированные в настоящее время воинские подразделения. При этом рекультивация загрязненных участков не проводилась, вывоз оборудования и горюче-смазочных материалов проходил с нарушениями, что также привело к загрязнению почвы.

Исследования проводили в Печенгском районе на северо-западе Мурманской области (69°16'43" с.ш., 29°28'50" в.д., 350 м над ур.м.) на горе Каскама (рис. 1).

На горе Каскама долгое время находилось одно из подразделений Министерства обороны. Впоследствии военная часть была расформирована, при этом в процессе вывода техники произошел разлив горюче-смазочных материалов в больших объемах. Период, прошедший с момента загрязнения до проведения данного исследования, составляет 15 лет.

В почвенных пробах, взятых на горе Каскама, определены следующие показатели: содержание массовой доли НП в почве, рН водной суспензии почвы, численность почвенных микроорганизмов, активность ферментов (инвертаза, каталаза и дегидрогеназа) и интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы.

Определение массовой доли НП в почве проводили согласно ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 методом ИК-спектromетрии с использованием анализатора АН-2, актуальной кислотности почвы – потенциометрическим методом с комбинированным рН-электродом, интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  – полевым камерно-статическим методом, основанным на измерении количества углекислого газа, выделившегося из почвы за определенный промежуток времени (Времен-



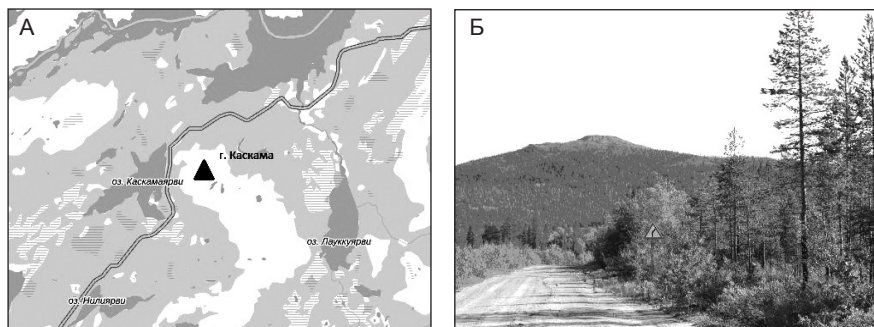


Рис. 1. Местоположение на карте (А) и общий вид (Б) горы Каскама.

ные методические..., 1984), активности ферментов – по методам, описанным Ф.Х. Хазиевым (1976).

Для выявления и учета микроорганизмов в почве использовали поверхностный (для бактерий) и глубинный (для микромицетов) посевы на плотные питательные среды. Для учета численности углеводородокисляющих бактерий (УОБ) применяли синтетическую среду минерального состава (г/л):  $K_2HPO_4$  – 1,  $NH_4Cl$  – 2,  $MgSO_4$  – 0.5,  $FeSO_4$  – следы,  $NaCl$  – 0.5,  $CaCO_3$  – 1, ДТ – 10 мл, агар-агар – 18 г, дистиллированная вода – 1 л. Учет численности сапротрофных бактерий, использующих азот органических соединений, проводили на мясо-пептонном агаре, бактерий, потребляющих минеральные формы азота, – на крахмало-аммиачном агаре. Количество олиготрофных бактерий определяли на слабоминерализованной среде Аристовской, численность микромицетов – на сусло-агаре с добавлением 4 мл молочной кислоты на 1 л среды для ингибирования роста бактерий.

Для возвышенностей такого рода в данном географическом районе характерна высотная поясность, и с отметки 300 м и выше начинается горная тундра, представленная лишайниково-кустарничковым и кустарничково-лишайниковым растительными сообществами, со скальными обнажениями и каменисто-щербнистыми пятнами пучения. Встречаются участки с кустарничково-травяными и травяными сообществами. В качестве ценообразователей выступают кустарнички *Empetrum hermaphroditum* (водяника обополая), *Arctous alpine* (толокнянка альпийская), *Vaccinium vitis-idaea* (брусника обыкновенная), часто встречаются *Carex bigelowii* (осока Бигеллоу), *Juncus trifidus* (ситник трехраздельный), *Betula nana* (береза карликовая), *Salix glauca* (ива сизая). Основными представителями лишайников являются *Flavocetraria nivalis*, *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, *Cladonia mitis*, *C. stellaris*. Об-

щее проективное покрытие кустарничков и трав составляет 15-65%, лишайников – 10-80% (Летопись природы..., 2011). Почвы на естественных ненарушенных территориях представлены подбурами, оподзоленными подбурами и горными тундровыми примитивными щелнистыми почвами.

В результате загрязнения территории произошла гибель растительного покрова на большой территории: на вершине и участках различной площади на западном и восточном склонах. Содержание НП в грунте составляет от 37 до 102 г/кг, что в десятки раз превышает величину ОДК (0.7 г/кг), рекомендуемую для тундровых районов (Пиковский и др., 2003).

Почвы на вершине горы и привершинных поверхностях малопродуктивные, деградированные (рис. 2). В условиях отсутствия растительного покрова, способного удерживать субстрат, начался смыл почвенного органического вещества, что привело к оголению горных пород.

В настоящее время участки с меньшей степенью фитотоксичности зарастают травами, в понижениях при повышенном увлажнении встречаются мхи (рис. 3).

Деградация почвы и вымывание органического вещества привело к изменению актуальной кислотности почвы – значения рН водной суспензии исходно кислых почв смещаются к нейтральным величинам (рис. 4).

В результате исследования основных трофических групп почвенных бактерий (Евдокимова и др., 2011) установлено, что их численность в загрязненной почве намного ниже, чем в контрольном варианте, за исключением УОБ (рис. 5). Сообщества почвенных микромицетов в загрязненной почве также находились в угнетенном состоянии, а их численность была ниже контрольных показателей в восемь раз и более (рис. 6).

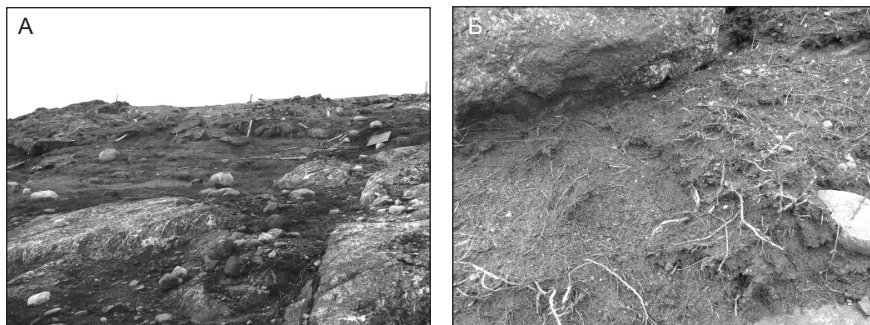


Рис. 2. Деградированная почва на юго-восточном склоне горы Каскама.

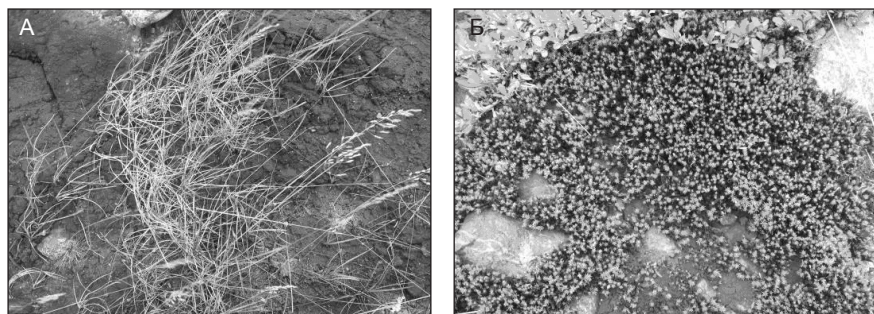
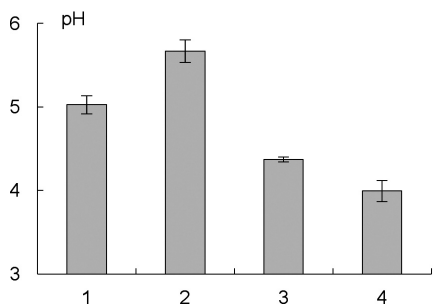


Рис. 3. Примеры зарастания загрязненных участков.

Оказывая ингибирующее действие на почвенную микробиоту, НП влияют еще на два важных показателя биологической активности почвы – ферментативную активность и интенсивность выделения  $\text{CO}_2$ .



В условиях загрязнения почвы НП каталаза ускоряет окисление углеводов, разрушая пероксид водорода, образующийся в процессе жизне-

Рис. 4. Значения рН водной суспензии почвы на горе Каскама: 1 – западный склон; 2 – вершина; 3 – восточный склон; 4 – участок без видимого загрязнения.

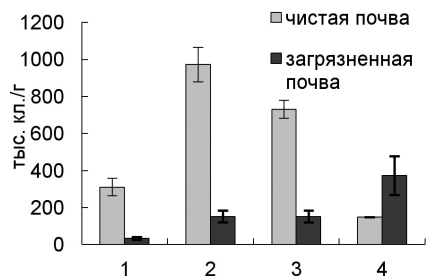


Рис. 5. Численность основных трофических групп почвенных бактерий: 1 – сапротрофные; 2 – потребляющие минеральный азот; 3 – олиготрофные; 4 – УОБ.

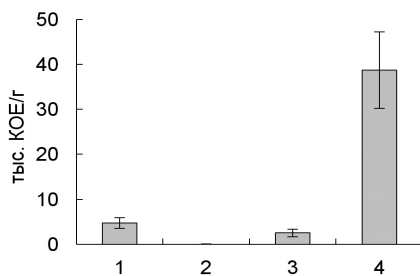


Рис. 6. Численность микромицетов в почве на горе Каскама: 1 – западный склон; 2 – вершина; 3 – восточный склон; 4 – участок без видимого загрязнения.

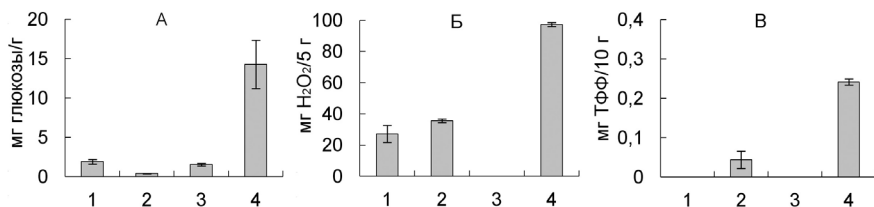


Рис. 7. Значения активности инвертазы (А), каталазы (Б) и дегидрогеназы (В) в почве на горы Каскама: 1 – западный склон; 2 – вершина; 3 – восточный склон; 4 – участок без видимого загрязнения.

деятельности микроорганизмов, а дегидрогеназа катализирует реакцию дегидрирования углеводов и продуктов их разложения (Галиулин и др., 2010). Активность инвертазы является одним из показателей интенсивности процессов минерализации органических веществ и биологической активности почвы (Жирева и др., 2008).

Значения активности почвенных ферментов на загрязненных участках указывали на практически полное прекращение биологических процессов трансформации органических веществ в почве. Активность всех исследованных ферментов была минимальной (рис. 7).

Определение эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы, показало, что на загрязненном участке величина этого показателя в восемь раз ниже, чем на участке без видимых признаков загрязнения, что также свидетельствует о крайне низкой биологической активности загрязненной почвы.

### Выводы

1. На загрязненной территории произошло изменение растительного сообщества. Полностью исчезли все виды лишайников, сократилась площадь проективного покрытия кустарничков. Зарастание участков происходит преимущественно травянистыми растениями, во влажных местообитаниях появляются мхи.

2. Почва сильно деградировала и характеризуется очень низкой биологической активностью (численность микроорганизмов, активность ферментов, эмиссия  $\text{CO}_2$ ), что делает невозможным самовосстановление нарушенных территорий в ближайшее время без дополнительных приемов биоремедиации.

### ЛИТЕРАТУРА

Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Ч. II / Под ред. С.Г. Малахова. М.: Московское отделение гидрометеоздата, 1984. 42 с.

*Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Башкин В.Н. и др.* Сравнительная оценка разложения углеводов газового конденсата и нефти в почве под действием биологических средств // *Агрохимия*. 2010. № 10. С. 52-58.

*Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Мязин В.А., Поликарпова Н.В.* Исследование состояния почвенного покрова в долине реки Паз, включая территорию заповедника «Пасвик» // *Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Матер. IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2011. С. 81-86.

*Киреева Н.А., Кабиров Т.Р., Григориади А.С., Онегова Т.С.* Детоксикация нефтешлама с использованием целлюлозосодержащих субстратов // *Вестник Башкирского университета*. 2008. Т. 13. № 1. С. 47-51.

Летопись природы заповедника «Пасвик» / Сост. и отв. редактор Н.В. Поликарпова. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2011. Кн. 15. 314 с.

*Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н.* Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // *Почвоведение*. 2003. № 9. С. 1132-1140.

*Хазиев Ф.Х.* Ферментативная активность почв. Методическое пособие. М.: Наука, 1976. 180 с.

## ИЗМЕНЕНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ НА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБКАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ

**О.В. Никифорова<sup>1</sup>, Е.М. Перминова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет

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

E-mail: [perminova\\_83@mail.ru](mailto:perminova_83@mail.ru)

Почвы представляют собой сложные природные образования, в формировании и функционировании которых существенную роль играют живые организмы – растения, почвенные животные, различные микроорганизмы. Именно они определяют протекание в почве различных биохимических процессов и формирование определенного пула ферментов. Живые организмы, особенно микроорганизмы, чутко реагируют на различные изменения в окружающей среде. В связи с этим показатели биологической активности – количественные характеристики состава различных групп почвенных беспозвоночных животных и микроорганизмов, их продуктивность, а также показатели ферментативной активности почв – могут служить достаточно надежными индикаторами для оценки изменения почв под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Одним из характерных показателей ферментативной активности почвы является активность фермента каталазы. Каталаза разлагает ядовитую для клеток перекись водорода, образующуюся в процессе дыхания живых организмов и различных биохимических реакций окисления органических веществ, на воду и молекулярный кислород (Методы..., 1980). Каталаза иммобилизуется различными почвенными компонентами, после чего приобретает устойчивость, не теряя своей активности. Это позволяет говорить об устойчивости показателя каталазной активности и возможности его использования для энзимологической диагностики почв (Семиколенных, 2001).

Цель настоящей работы – выявление закономерностей изменения каталазной активности подзолистых текстурно-дифференцированных почв в процессе восстановления растительного покрова на вырубках еловых лесов в подзоне средней тайги Республики Коми.

Объектами исследования послужили подзолистые текстурно-дифференцированные почвы стационарных участков (Усть-Куломский район, Республика Коми), представляющих собой хронологический ряд разновозрастных вырубок еловых лесов. Детальная характеристика участков и их почвенно-растительного покрова представлена в работах (Путеводитель..., 2007; Дымов и др., 2012). Здесь только отметим, что исследования проводили в коренном еловом лесу (участок ПП-1) и на вырубках 2001/2002 гг. (участок ПП-2) и 1970/1971 гг. (участок ПП-3). Для изучения ферментативной каталазной активности использовали органогенные горизонты почв с разделением их на подгоризонты: очес, O1, O2, O3 и располагающийся под лесной подстилкой минеральный подзолистый горизонт A2(g). Пробы почв отбирали на каждом выделенном участке в течение летне-осеннего периода 2009, 2010 гг. в 9-10-кратной повторности. Активность фермента каталазы определяли в воздушно-сухих смешанных образцах почв газометрическим методом в трехкратной повторности (Хазиев, 2005).

Как видно из данных, представленных в таблице, оценка биологической активности почвы коренного ельника, проведенная на основе определения каталазной активности в образцах почв из верхних, наиболее заселенных микроорганизмами почв, показала, что она существенно различается в зависимости как от генетического горизонта почвы, так и от срока отбора. В начале летнего периода в органогенных горизонтах (в подгоризонтах лесной подстилки O1, O2 и O3) каталазная активность находится на уровне  $2-3 \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{г}$  почвы за 1 мин. Существенные различия в каталазной активности между подгоризонтами лесной подстилки от-



Активность фермента каталазы в среднетаежных подзолистых почвах разновозрастных вырубок,  $\text{см}^3 \text{O}_2 / \text{г}$  почвы за 1 мин. (по данным 2009 г.)

Горизонт	Коренной еловый лес			Вырубка 2001-2002 гг.			Вырубка 1970-1971 гг.		
	Июнь	Август	Октябрь	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	4.7±0.3	6.9±0.6	4.3±0.8
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	4.0±0.5	6.1±0.6	4.3±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	1.7±0.8	6.4±0	7.0±1.0
A2(g)	0.4±2.1	1.8±0.2	1.4±0.4	0.4±0.4	2.4±0.4	0	0.1±0.1	1.4±0.1	1.4±0.3

сутствуют, хотя можно говорить о тренде ее возрастания по мере перехода к нижней части подстилки – подгоризонту гумификации O3, в котором происходят основные процессы формирования гумусовых веществ почв. В минеральном подзолистом горизонте биологическая активность резко падает, что характерно для подзолистых почв. В этот период почва коренного ельника характеризуется, в соответствии с градацией Д.Г. Звягинцева, низким уровнем каталазной активности.

В осенний период, несмотря на выпадение значительного количества осадков в конце сентября, каталазная активность во всех горизонтах подзолистой почвы в два-три раза выше по сравнению с началом летнего периода. Максимальной ферментативной активностью отличается верхний слой подстилки, куда поступает свежий опад. В этот период подзолистая почва соответствует средней степени обогатненности каталазой.

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 (см. таблицу). Однако, если в начале летнего периода почвы коренной ельник и вырубка практически близки по величине каталазной активности, то в осенний период между ними прослеживается существенная разница. В почве участка ПП1 микробиологические процессы протекают более активно в подгоризонтах свежего опада (O1) и гумификации (O3), они характеризуются величинами каталазной активности 53-7.9  $\text{см}^3 \text{O}_2 / \text{г}$  за 1 мин. В почве вырубки участка ПП2 максимальный уровень каталазной активности определяется величиной 4.7±1.0  $\text{см}^3 \text{O}_2 / \text{г}$  за 1 мин., что практически в 1.5 раза ниже по сравнению с максимальным уровнем каталазной активности в почве коренного ельника.

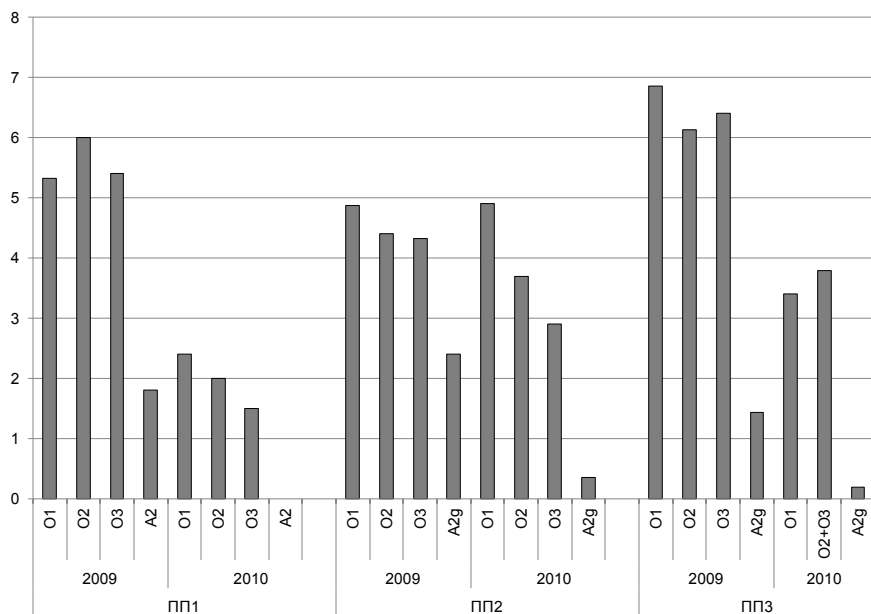
Почва вырубки 1970/1971 гг. отличается от предыдущих двух участков тем, что в ней



во все сроки отбора верхние слои подстилки (O1 и O2) практически не различаются по величине каталазной активности (см. таблицу). Возрастание ферментативной активности наблюдается в августе. В это время начинает поступать на поверхность почвы свежий опад березы и осины. Благоприятные температура и влажность почв в этот период определяют активное развитие микрофлоры и, соответственно, повышение ферментативной активности почвы. При наступлении более холодного времени года каталазная активность в верхних подгоризонтах лесной подстилки (O1 и O2) снижается. Нижние горизонты (подгоризонт гумификации O3 и подзолистый горизонт A2), наоборот, характеризуются возрастанием каталазной активности в осенний период. Следует отметить, что и весной, и осенью верхние подгоризонты лесной подстилки почвы вырубки 1970/1971 гг. соответствуют уровню средней обогащенности каталазой. Таким образом, почва участка ППЗ, где горизонт лесной подстилки существенно отличается по качеству от горизонта лесной подстилки коренного ельника, по уровню каталазной активности в раннелетний период выше, а в позднесенний – идентична почве коренного ельника.

Межгодовая динамика каталазной активности во многом зависит от погодных условий года. Так, в августе 2009 г. ферментативная активность почв участков ПП1 и ППЗ была значительно выше, по сравнению с аналогичным периодом 2010 г. (см. рисунок). Это связано с аномально жарким и сухим летним периодом 2010 г., обусловившим снижение жизнедеятельности почвенной микробиоты. Однако на участке ПП2 ферментативная активность в 2010 г. оказалась в два раза выше, по сравнению с почвой коренного ельника, и в 1.5 раза – по сравнению с ферментативной активностью почвы вырубки 1970/1971 гг. Необходимо заметить, что после сведения леса происходят процессы заболачивания территории, что ранее указывалось в литературе (Лаптева и др., 2007). Можно предположить, что уровень увлажнения почвы на участке ПП2, благодаря дефициту поступления осадков в условиях высоких летних температур воздуха и испаряемости, оказался оптимальным для поддержания высокого уровня жизнедеятельности микрофлоры.

Таким образом, в результате проведенных нами исследований были установлены параметры каталазной активности в подзолистых суглинистых почвах коренных еловых лесов и лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся на разновозрастных вырубках. В органогенных горизонтах целинной подзолистой почвы каталазная активность варьирует в пределах 1.9-7.9, минеральных – 0.4-1.8 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/г за 1 мин. В почвах вырубок, в зависи-



Межгодовая динамика каталазной активности ( $\text{cm}^3 \text{O}_2/\text{г}$  почвы за 1 мин.) в почвах разновозрастных вырубок, по данным за август. Подзолистые почвы: ПП1 – коренного ельника черничного; ПП2 – лиственно-хвойного насаждения, сформировавшегося на вырубке 2001/2002 гг.; ПП3 – лиственно-хвойного насаждения, сформировавшегося на вырубке 1970/1971 гг.

мости от срока восстановления древостоя, каталазная активность определяется величинами в органогенных горизонтах 1.6-4.9 (вырубка 2001/2002 гг.), 1.7-7.0 (вырубка 1970/1971 гг.)  $\text{cm}^3 \text{O}_2/\text{г}$  за 1 мин., в минеральных подзолистых горизонтах – 0-2.4 (вырубка 2001/2002 гг.), 0.1-1.4 (вырубка 1970/1971 гг.)  $\text{cm}^3 \text{O}_2/\text{г}$  за 1 мин. Общей закономерностью является снижение каталазной активности при переходе от органогенных к минеральным горизонтам. Восстановление растительного покрова на вырубках через формирование лиственных насаждений обуславливает повышение биохимической активности, прослеживаемое по возрастанию вклада активности каталазы на вырубке 1970/1971 гг. На первых этапах лесовосстановления (вырубка 2001/2002 гг.) почвы сохраняют сходство по величине каталитической активности с подзолистыми почвами 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 лиственнично-хвойных насаждениях // Лесной журнал. 2012. № 3. С. 7-18.

Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 224.

*Лаптева Е.М., Симонов Г.А., Бонифацио Э.* и др. Эволюция почв на вырубках средней тайги Республики Коми // Лесное почвоведение: итоги, проблемы, перспективы: Тез. докл. Междунар. науч. конф. Сыктывкар, 2007. С. 6-7.

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

*Семиколенных А.А.* Каталазная активность почв Северной тайги (Архангельская область) // Почвоведение. 2001. № 1. С. 90-96.

*Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

### **ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЯКОВ ЧЕРНИЧНЫХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ИЗ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ В СПЕЛЫЕ**

**А.Ф. Осипов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [osipov@ib.komisc.ru](mailto:osipov@ib.komisc.ru)

Занимая значительные площади, бореальные леса являются крупнейшим резервуаром углерода органического вещества. В связи с изменением климата приобретает особую актуальность определение динамики содержания углерода органического вещества в таежных экосистемах во временном аспекте. Решение этой задачи позволит использовать полученные материалы для верификации существующих моделей динамики органического вещества и уточнения нормативных данных таблиц хода роста древостоев в условиях меняющегося климата и увеличения антропогенной нагрузки на лесные экосистемы. Основой определения бюджета углерода в лесных экосистемах является биологическая продуктивность фитоценозов.

Цель настоящей работы – оценка 30-летней динамики биологической продуктивности среднетаежных сосняков черничных в период их перехода из средневозрастных в спелые.

Исследования проведены в среднетаежных сосняках, произрастающих на территории Чернамского лесного стационара (62°00' с.ш., 50°20' в.д.) Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Определение биологической продуктивности выполнено на постоянных пробных площадях (ППП) размером 0.2-0.24 га в сосняке черничном в 1978 и 2011 гг., в сосняке чернично-сфагновом в 1981 и 2008 гг. Краткая характеристика древостоев, отражающая изменения в годы исследований, приведена в табл. 1. Видовой состав растений напочвенного покрова за период наблюдений относительно постоянный. Почва в исследуемых сосняках торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусовая песчаная на суглинках.

Количество деревьев на ППП составило не менее 200 доминирующей в составе древостоя породы, что необходимо для достижения 5%-ной точности при таксационной характеристике древостоя. Обработка данных выполнена стандартными методами (Лесотаксационный справочник..., 1986). Для определения запасов и продукции фитомассы древесного яруса в годы исследований проанализировано 19 модельных деревьев в сосняке черничном и 11 – в чернично-сфагновом по методике, предложенной А.И. Уткиным (1975). Выведены регрессионные уравнения связи массы и прироста отдельных органов деревьев с диаметром ствола. Характеристика уравнений зависимости фитомассы деревьев от таксационных показателей в сосняках приведена в (Биопродукционный процесс..., 2001).

Массу растений напочвенного покрова определяли методом укосов на площадках 50×50 см в 15-кратной повторности, что необходимо для достижения 8-10%-ной точности при анализе полученных результатов (Родин и др., 1967). Для определения продукции растений этого яруса фитоценоза было отобрано по 20-100 экз. кустарничков разных видов, у которых отделяли побеги текущего года. По полученным соотношениям массы побегов текущего года и предыдущих лет рассчитывали общий текущий прирост. Продукцию мхов определяли по Н.И. Казмирову с соавт. (1977), которая для зеленых мхов равна 20%, сфагновых – 15% от общей массы. Прирост корней трав и кустарничков принимали равным 25% от их массы (Эколого-физиологические..., 1993). Под коэффициентом полезного действия (КПД) падающей на древостой фотосинтетически активной радиации (ФАР) понимается отношение количества энергии, запасенной в нетто-продукции к количеству поглощенной ФАР (Тооминг, 1977). Коэффициент про-

дуктивности или эффективности работы ассимиляционного аппарата древесных растений выражается отношением общего годового прироста фитомассы к площади поверхности листы (Уткин, 1975). Данные по биологической продуктивности средневозрастных сосняков приведены в (Бобкова, 1987; Эколого-физиологические..., 1993).

В сосняке черничном с 1978 по 2011 г. (33 года) отмечается относительное постоянство состава древостоя (табл. 1). При переходе древостоя из среднего возраста в состояние спелости наблюдается уменьшение густоты деревьев от 1730 до 1195 экз. га<sup>-1</sup> (на 535 экз.), но увеличивается запас стволовой древесины на 7% и сумма площадей сечения – на 10%. Отмечено снижение класса бонитета с III на IV. В процессе развития сосняка черничного в период перехода его от средневозрастного в приспевающий и спелый отмечен довольно интенсивный отпад деревьев. Так, в 1978 г. в сосняке черничном влажном отмечено сухостоя 55 экз. га<sup>-1</sup> с запасом древесины около 4 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>, а в 2011 г. его количество составило 100 экз. га<sup>-1</sup> с запасом 12 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>.

В сосняке чернично-сфагновом с 1981 по 2008 г. выявлено выпадение березы из состава древостоя. Отмечается увеличение количества деревьев в результате перехода подроста в древесный ярус (от 2040 до 2266 экз. га<sup>-1</sup>), запаса древесины (от 109 до 141 м<sup>3</sup> га<sup>-1</sup>), суммы площадей сечений (от 16 до 24 м<sup>2</sup> га<sup>-1</sup>). Вследствие усиления конкуренции установлена повышенная смертность деревьев. Количество сухостоя возросло в 3.3 раза с увеличением запаса древесины в два раза.

В сосняке черничном за анализируемый период фитомасса древостоя увеличилась в 1.2 раза – от 114 до 138 т га<sup>-1</sup> (табл. 2), что обусловлено нарастанием массы растений древесного яруса. Запасы органического вещества растений напочвенного покрова сократились в 1.3 раза, что связано с усилением средообразующей роли древостоя. В процессе 30-летней динамики интенсивность нетто-продукции снизилась на 36%. Прирост древесного яруса уменьшился от 6.1 до 3.6 т га<sup>-1</sup>, растений напочвенного покрова – от 2.0 до 1.5 т га<sup>-1</sup>. Схожая динамика отмечена и для других показателей биопродукционного процесса в сосняке черничном. Выявлено уменьшение КПД ФАР в 1.6 и коэффициента продуктивности хвой сосны в 1.2 раза.

За 24 года в сосняке чернично-сфагновом фитомасса увеличилась от 101.0 до 117.7 т га<sup>-1</sup> (табл. 2). Отмечено уменьшение почти в два раза массы растений напочвенного покрова и повышение запасов органического вещества в древесном ярусе. Общая продукция органического вещества фитоценоза сократилась от 5.9 до

Таблица 1

**Краткая лесоводственно-таксационная характеристика древостоев  
сосняка черничного и чернично-сфагнового средней тайги**

Год учета	Возраст, лет	Состав древостоя	Количество деревьев, экз. га <sup>-1</sup> (≥6 см ДВН)		Запас древесины, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>		Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>		Средние	
			Растущих	Сухих	Растущих	Сухих	Сухих	Сухих	Диаметр, см	Высота, м
Сосняк черничный										
1978	60	9С1Б ед.Е	1730	55	205	4	24.9	14.4	15.9	
2011	93	9С1Б+Е	1195	100	220	12	27.8	18.2	15	
Сосняк чернично-сфагновый										
1981	60	10С+Б ед.Е	2040	100	109	4	15.7	10.0	10.0	
2008	87	10С ед.Е	2266	327	141	8	24.0	12.0	11.0	

Таблица 2

**Динамика биологической продуктивности сосняков черничных средней тайги**

Фитоценоз	Год учета	Компонент фитоценоза	Запас, т/га	Продукция, т/га	КПД ФАР, %	Коэффициент продуктивности хвой сосны, г/м <sup>2</sup>
Сосняк черничный	1978	Древостой	114.16	6.13	1.27	78
		Напочвенный покров	7.77	1.98	0.38	
		Итого	121.93	8.11	1.65	
То же	2011	Древостой	138.24	3.64	0.76	63
		Напочвенный покров	5.86	1.55	0.30	
		Итого	144.10	5.19	1.06	
Сосняк чернично-сфагновый	1984	Древостой	89.99	2.87	0.57	55
		Напочвенный покров	10.98	3.04	0.54	
		Итого	100.97	5.91	1.11	
То же	2008	Древостой	111.90	3.41	0.66	61
		Напочвенный покров	5.81	1.41	0.26	
		Итого	117.71	4.82	0.92	

4.8 т га<sup>-1</sup>, однако наблюдается возрастание темпов накопления фитомассы древесным ярусом, доля которого увеличилась от 49 до 71%. Эффективность использования ФАР сократилась, хотя для древесного яруса выявлено более интенсивное поглощение ФАР. Коэффициент продуктивности хвои сосны возрос от 55 до 61 г м<sup>-2</sup>.

На основе полученных данных можно сделать несколько выводов. Сосняк черничный в 2011 г. в возрасте 93 лет вступает в стадию спелости, о чем свидетельствует как таксационные показатели (уменьшение количества деревьев с одновременным ростом запасов древесины и суммы площадей сечения древостоя), так и снижение интенсивности продукционных процессов. В нетто-продукции возрастает роль ветвей, что способствует более эффективному усвоению окружающего пространства.

В отличие от сосняка черничного, сосняк чернично-сфагновый в этом возрасте находится в стадии приспевания. Для него характерно повышение плотности древесного яруса с одновременным увеличением суммы площадей сечения и запасов древесины. Вследствие интенсивной дифференциации деревьев по состоянию усиливается отпад ослабленных деревьев. В сосняке происходит сокращение общего прироста, но усиливается роль древесного яруса в продукции, что говорит об активном накоплении органического вещества древостоем. Таким образом, сосняк чернично-сфагновый, произрастающий на переувлажненной почве, характеризуется замедленным, по сравнению с сосняком черничным, темпом развития фитоценоза.

#### ЛИТЕРАТУРА

Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб., 2001. 278 с.

*Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.

*Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С.* и др. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.

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

*Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 143 с.

*Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.

*Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов // Итоги науки и техники. Сер. «Лесоведение и лесоводство». М., 1975. Т. 1. С. 9-190.

Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока / Под ред. К.С. Бобковой. Сыктывкар, 1993. 176 с.



## ВЛИЯНИЕ НИЗОВОГО ПОЖАРА В СОСНЯКЕ ЛИШАЙНИКОВОМ НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ

В.П. Попова<sup>1</sup>, А.А. Дымов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет

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

E-mail: [aadymov@gmail.com](mailto:aadymov@gmail.com)

Пожары являются одним из основных факторов, изменяющих бореальные леса и таежные почвы. В результате пирогенного воздействия нарушается сложившийся материально-энергетический обмен между компонентами экосистемы (Фурьев, 1996). Пожары остаются одним из важнейших факторов изменения таежных экосистем европейского Севера и лесных почв в частности. Интенсивность горения лесов и площади лесов, пройденных пожарами, в существенной степени зависят от климатических условий летнего периода. Только на территории Республики Коми (РК) в период с 2007 по 2011 г. ежегодная площадь земель лесного фонда, затронутая пожарами, составляла от 0.4 до 51 тыс. га с общим числом учтенных лесных пожаров от 82 до 592 (Лесное хозяйство..., 2012). В настоящее время для территории РК существуют лишь единичные работы, касающиеся пирогенных изменений морфологических свойств почв и закономерностей распределения органического вещества в почвах фитоценозов, подвергнувшихся пожарам (Дымов и др., 2014).

Цель данной работы – оценка влияния низового пожара в сосняке лишайниковом на почвы и почвенное органическое вещество.

Диагностику и классификационное положение почв определяли согласно (Полевой определитель..., 2008) с рекомендациями (Сапожников и др., 2001). Образцы почв для качественного химического анализа готовили по стандартной методике. Количественный химический анализ почв выполняли в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России (аттестат РОСС RU.0001.511257 от 16 апреля 2009 г.). Общее содержание органического углерода и азота определяли на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba), обменные катионы – вытеснением  $\text{NH}_4\text{Cl}$  с последующим определением на ICP Spectro Ciros, рН – потенциометрически со стеклянным электродом. Плотность сложения подстилок и минеральных горизонтов, используемых для оценки запасов элементов, определяли в трех-пятикратной повторности, гранулометрический состав – по методу Качинского. В качестве объектов ис-

следования было подобрано два участка в подзоне средней тайги (Сыктывдинский район, Нювчимское лесничество).

Согласно почвенно-географическому районированию, объекты исследования расположены в Сысола-Вычегодской провинции (на границе Сысольского округа типичных подзолистых и торфянисто-подзолистых-глееватых почв и Луза-Сысольского округа типичных подзолистых почв и болотно-подзолистых почв). Среднегодовое количество осадков – 500-600 мм, среднегодовая температура – 0,5 °С.

Участки расположены на правом берегу р. Нювчим приблизительно в 600 м от реки. В качестве условно-фонового был изучен участок сосняка лишайникового (разр. 16-13). В напочвенном покрове доминируют кладония оленья (*Cladonia rangiferina*), кладония лесная (*Cladonia arbuscula*), кладония звездчатая (*C. stellaris*), кладония красноплодная (*C. coccifera*), цетрария исландская (*Cetraria islandica*), дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*), дикранум (*D. strictum*), встречается плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi*), плаун приплюснутый (*Lycopodium clavatum*), кукушкин лен (*Polytrichum commune*).

Участок расположен в 300 м от гари. Разрез заложен на выровненном участке. Микрорельеф практически не выражен. Морфологическое строение профиля типичное для подзолов иллювиально-железистых, развивающихся на песках. Под маломощной подстилкой (O) формируется мощный подзолистый горизонт (E), под ним залегает иллювиально-железистый горизонт, который плавно переходит в почвообразующую породу (горизонты BC, C).

Для оценки пирогенных изменений был исследован участок сосняка лишайникового, пройденный пожаром (разр. 15-13) 6 июля 2011 г. (на момент полевых исследований и отбора образцов прошло два года и один месяц). Причина возникновения пожара не установлена. Вид пожара низовой, высокой интенсивности. Тип леса до пожара – сосняк лишайниковый (10С), возраст древостоя – 55-66 лет. Площадь, затронутая пожаром, составляет 70 га. Пожар привел к существенному усыханию древостоя. Участок леса к настоящему времени отведен в рубку. Подстилка и напочвенный покров на рассматриваемом участке полностью выгорели. Через два года после пожара напочвенный покров формируется на площади около 5% и представлен преимущественно вейником (*Calamagrostis epigeios*) и иван-чаем (*Chamaenerion angustifolium*). Единично встречаются всходы сосны. На поверхности почв высокая доля хвои и шишек сосны.

В результате пожара произошло существенное изменение морфологического строения почв. Подстилка полностью выгорела, на

ее месте и в верхней части подзолистого горизонта формируется пирогенный горизонт **Orig (L) с высоким содержанием углистых включений**. Подзолистый горизонт, наиболее светлый в профиле, имеет более серые оттенки по сравнению с подзолистым горизонтом почвы условно-фонового участка. Иллювиально-железистый горизонт более плотный, имеет более интенсивную ярко бурю окраску по сравнению с однотипным горизонтом контрольного участка. Существенных изменений в гранулометрическом составе сравниваемых участков не выявлено. В верхних горизонтах обеих почв доминируют песчаные фракции. Почва условно-фонового участка сильнокислая, минимальные значения pH водной вытяжки характерны для подстилки и подзолистого горизонта, с глубиной кислотность водной вытяжки уменьшается. Схожие закономерности выявлены и при анализе солевой вытяжки в почве фонового участка.

Установлено, что пожары повлияли на изменение pH почв до глубины 20-30 см. В верхних горизонтах почвы фитоценоза, затронутого пожаром, наблюдается подщелачивание почвы, pH водного раствора сдвигается в нейтральную область. В почве фитоценоза, пройденного пожаром, наблюдается существенное снижение гидролитической кислотности, по сравнению с почвой условно-фонового участка (разр. 16-13). Для разреза 16-13 наблюдается типичное для иллювиально-железистых подзолов элювиально-иллювиальное распределение оксалато- и дитиониторастворимых форм железа и алюминия с максимальным значением в иллювиально-железистом горизонте. В почве фитоценоза, пройденного пожаром, общие закономерности распределения оксалато- и дитиониторастворимых форм железа сохраняются при некотором увеличении их концентраций в иллювиально-железистом горизонте. Максимальные концентрации обменных форм кальция и магния выявлены для подстилок. При этом существенных изменений в содержании обменных форм кальция и магния в почве фитоценоза, пройденного пожаром, не найдено.

В верхних минеральных горизонтах почвы фитоценоза, пройденного пожаром, выявлено возрастание степени насыщенности основаниями. В существенной степени это связано с изменением гидролитической кислотности. Основное количество углерода и азота в подзолах иллювиально-железистых сосредоточено в подстилках. В ходе пожара происходит полное выгорание подстилки. Продукты неполного сгорания обогащают верхние минеральные горизонты. В верхних минеральных горизонтах пирогенной почвы выявлено сужение **C:N отношения, что косвенно может свидетельствовать об обогащении органического вещества азотом**. Оцен-

ка запасов углерода и азота в исследуемых почвах позволила выявить, что в почве фитоценоза, пройденного пожаром, происходит незначительное возрастание запасов углерода и азота. Полное выгорание подстилок способствует перераспределению запасов углерода и азота между горизонтами почв. Существенно уменьшается вклад подстилок в общие запасы углерода. Вероятно, возрастание углерода и азота в почве послепожарного фитоценоза обусловлено неполным сгоранием компонентов подстилки, крупных древесных остатков и поступлением углерода и азота в составе различных углистых включений.

Таким образом, на примере сосняка лишайникового, пройденного низовым пожаром, показано, что при пожарах происходит существенное изменение морфологических свойств верхних генетических горизонтов почв. По истечении двух лет после пожара сохраняются морфологические признаки, проявляющиеся в сохранении пирогенных горизонтов в верхней части профиля почвы. В почве гари происходит уменьшение кислотности водной вытяжки, существенное снижение гидролитической кислотности, возрастание степени насыщенности основаниями в верхних минеральных горизонтах до глубины 20-30 см, по сравнению с почвой фонового участка. Выявлено увеличение запасов углерода и азота, сосредоточенного в почвах, при этом возрастание происходит за счет возрастания содержания углерода и азота в верхних минеральных горизонтах почвы гари по сравнению с почвой фонового участка.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-04-00570-а и МК-1027.2013.4.

#### ЛИТЕРАТУРА

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

Лесное хозяйство Республики Коми. Сыктывкар, 2012. 114 с.

Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.

*Сапожников А.П., Карпачевский Л.О., Ильина Л.С.* Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Лесной вестник – вестник МГУЛ. 2001. № 1. С. 132-164.

*Фураев В.В.* Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.

## РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ТЕРМАЛЬНОГО УРОЧИЩА ПЫМВАШОР (НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

**Т.В. Романис**

Институт экологических проблем Севера УрО РАН  
E-mail: [romanisttka@gmail.com](mailto:romanisttka@gmail.com)

Урочище Пымвашор находится на западном склоне северной оконечности гряды Воргамусюр Большеземельской тундры на руч. Пымвашор в 3.7 км по течению до его впадения в р. Адзвву. Формирование гидротермальной системы, вероятно, обусловлено мезо-кайнозойскими дислокациями, с которыми также могут быть связаны излияния базальтов в долине р. Адзввы неподалеку от теплых источников (Геология СССР, 1963). Это прежде всего расколы, с которыми можно связать и последние проявления эффузивной вулканической деятельности на западном склоне Урала и сбросы по окраине гряды Чернышева. Почвообразующие породы на территории Пымвашор представляют собой достаточно сложный комплекс, состоящий из ледниково-морских, связанных с песчаными, пород (glmQn-m) и песчаных пород озерно-аллювиальной и флювиогляциальной формаций (lal.fglQШkl(zr)) (Гидрогеологическая карта..., 1966). Склоны гидротермального урочища формируются за счет выхода на поверхность скальных коренных пород известняково-доломитового комплекса (Pt2S+D+C2C+PPP1) (Коперина, 1933; Геология СССР, 1963). Близкое залегание элюво-делювия коренных пород обусловило высокую щебнистость почв.

Для анализа распределения влияния температур источников первичное обследование проводилось бесконтактным методом инфракрасным термографом «ИРТИС-2000А» с дальнейшей съемкой температурного профиля ТК 5.06 и закладкой мобильных терморегистраторов (период экспозиции – 360 календарных дней) на глубину корнеобитаемого слоя почв (0.2 м). Согласно рисунку, температура почв совпадает с зональными характеристиками лишь в период с середины декабря по середину января. В остальное время года почвы близ термального урочища Пымвашор теплее зональных. По трансекте, отслеживающей изменение температур, были заложены шесть опорных разрезов. Основаниями для перехода от одной точки к другой являлись смена растительной ассоциации и температура корнеобитаемого слоя (глубина – 0.2 м).

Если рассматривать фактор воздействия температур и влажность как функции влияния источников, то можно условно нарисовать матрицу распределения типов почв от увлажненности, теплого влияния, а для склона – положения на нем (см. таблицу).

Большое количество пустых мест в матрице свидетельствует о том, что в зоне воздействия гидротерм отсутствуют «переходные» стадии формирования почвенного покрова. Крутизна склона до 30°, выходы на поверхность плотных пород, неравномерный водный режим создают высококонтрастные условия. Если в зональных позициях без дополнительного поступления тепла наблюдаются подбур оподзоленные и подзолы, то в зонах поступления тепла большее распространение получают серогумусовые почвы с различной степенью оглеения (следствие непосредственного контакта с водами источников) и глеезем перегнойный. Грунтовые воды захватывают поверхностные горизонты почвы, но интенсивного соленакопления не происходит (содержание солей в гидротермально-модифицированных почвах не превышает 0.25%). Снижение температуры почв по мере удаления от термопроявлений, одновременно с понижением уровня гидротермальных вод приводит к заглублению верхней границы горизонта максимального соленакопления и уменьшению общего содержания солей в почвах.

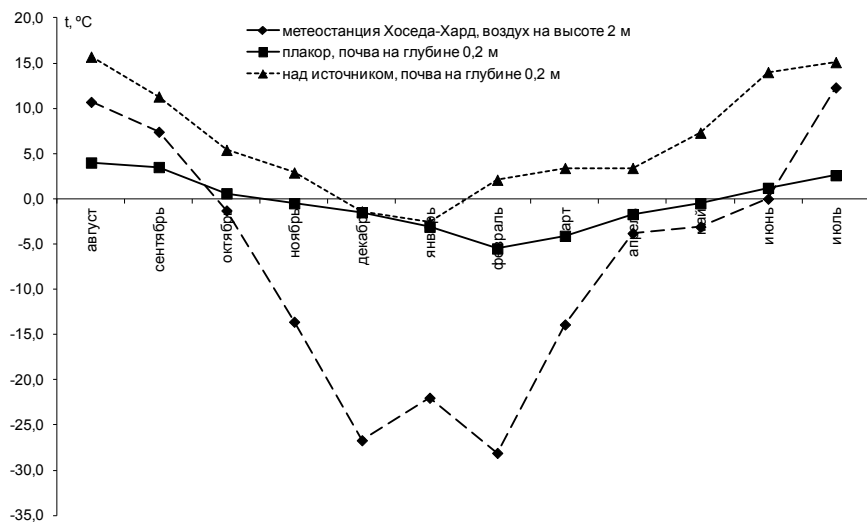
#### ЛИТЕРАТУРА

Геология СССР. Т. 2. Архангельская, Вологодская области и Коми АССР. Ч. 1. Геологическое описание / Под ред. А.И. Зоричева. М.: Гос. научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр, 1963. 1080 с.

Гидрогеологическая карта четвертичных отложений Коми АССР и Не-

**Факторно-экологическая модель почвенного покрова термального урочища Пымвадор в зоне воздействия гидротерм**

Условия	Увлажнение			Положение на склоне	
	Гидроморфные застойные	Гидроморфные проточные	Мезоморфные	Денудационные	Аккумулятивное
Температурные					
Олиготермные (зональные температурные условия)	Маломощная торфяная олиготрофная глеевая	—	Подбур оподзоленный, подзол иллювиально-железистый, подбур иллювиально-железистый	—	Подбур оподзоленный
Мезотермные (температуры выше зональных)	Выходы плотных пород	—	Серогумусовая глееватая	Серогумусовая глееватая	—
Эутермные	Глеезем перегнойный	—	—	Выходы плотных пород	Глеезем перегнойный



Динамика температуры компонентов окружающей природной среды термального урочища Пымвашор и метеостанции Хоседа-Хард (Скютте, Романис, 2013).

нецкого национального округа Архангельской области (М 1:2 500 000) / Сост. И.А. Грабович. М., 1966.

Коперина В.В. Отчет о геологической съемке верхнего течения реки Адзвы и реки Хайпудыры в 1932 г. // Землеведение. 1933. Т. 35. Вып. 4. С. 314-337.

Скютте Н.Г., Романис Т.В. Термический режим почв термального урочища Пымвашор // Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. 2013. № 4. С. 29-36.

## 80-ЛЕТНИЕ КУЛЬТУРЫ ЛИСТВЕННИЦЫ: ОТЛИЧИЕ ОТ ЗОНАЛЬНЫХ ЕЛЬНИКОВ

Н.И. Рыжкова, Н.И. Геникова

Институт леса КарНЦ РАН

E-mail: ryzhkova@krc.karelia.ru, genikova@krc.karelia.ru

Исследования эколого-ценотической структуры проводились в шести лесных сообществах на границе подзон средней и южной тайги (Гнатюк и др., 2011). Территория расположена вблизи российско-финляндской границы (на северо-запад от пос. Элисенваара). Здесь в первой половине прошлого века существовали фермерские хозяйства (территория принадлежала Финляндии), а также



были созданы культуры ели, лиственницы, сосны сибирской. Фермерские хозяйства впоследствии разрушились, в настоящее время на территории активно ведется лесозаготовительная деятельность.

Объектом изучения явился видовой состав сосудистых растений различного типа леса: лиственничника кисличного, ельников черничных и кисличных. В данном исследовании мы применили методический подход, основанный на единовременном сравнении составов сообществ различного типа леса на сравнительно небольшом участке территории, давно освоенной человеком. Это дает нам уникальную возможность проследить, что происходит при внедрении лиственницы в зональные ельники, и как она изменяет среду и видовой состав сообществ?

Список видов сосудистых растений опубликован нами ранее (Геникова и др., 2014). Всего на всех лесных участках было отмечено 64 вида сосудистых растений и 13 видов мхов. Таксационная характеристика лесных сообществ представлена в табл. 1.

Распределение видов растений, отмеченных в лесных сообществах, по эколого-ценотическим группам (табл. 2) выявляет, как и предполагалось, практически полное господство лесных видов (доля первых четырех групп составляет не менее 89.5%) и совсем незначительную долю участка луговых мезо- и гигрофитов, прибрежных (пресноводных и морских) – их доля в сумме не превышает 10.5% от общего числа видов.

В соотношении видов разных эколого-ценотических групп есть различия в зависимости от типа лесного сообщества. В целом основу флоры исследуемых сообществ (кроме 100-летнего ельника кисличного) составляет группа лесных видов, заселяющих средние по богатству почвы в условиях разреженного древостоя, которые в совокупности составляют от 39.5 до 47.6% от общего числа видов в пределах лесных сообществ. Лесных видов, произрастающих на относительно плодородных лесных почвах в условиях затенения древесным ярусом, больше в лиственничнике, ельнике черничном (95 лет) и ельнике кисличном (100 лет) (29.5-33.3% от видового состава сообщества). Следующая по количеству видов группа лесных растений с широкой экологической амплитудой занимает от 12 (в ельнике черничном, 90 лет) до 31.8% (в ельнике кисличном, 80 лет). Количество видов сухих и бедных почв и высокой освещенности очень небольшое, их всего три, и все они являются апофитами (*Calamagrostis epigeios*, *Pteridium latiusculum*, *Veronica officinalis*). Все эти виды отмечены в ельнике черничном, 90 лет. В других сообществах присутствует только один вид (*Veronica officinalis*) или совсем отсутствуют виды этой группы (в ельнике кисличном, 120 лет). Луговых растений мезофильного и

Таблица 1

## Характеристика лесных сообществ

№ п/п	Состав	Тип леса	Возраст, лет	Нр, м	Дрр, см	Полнота	Бонитет	Количество видов
1	6Л2Е1С1Б	Лиственничник кисличный	79	30	32	0.8	Ia	53
2	6Е(95)3Е(80)1Е(125)+С+Б	Ельнич черничный	95	24	24	0.7	II	42
3	7Е(100)3Б(90)+С	Ельнич кисличный	100	24	26	0.8	II	33
4	4Е(80)1Е(120)2С3Б+К	Ельнич кисличный	80	26	28	0.8	I	29
5	I. 4Е(120)2Е(80)3С(120)1Б+Ос II. 10Е (80)	Ельнич кисличный	120	32	38	0.7	I	24
			80	12	12	0.1	V	
6	4Е(90)3Е(110)3Е(70)+Б+С	Ельнич черничный	90	26	26	0.8	I	34

Примечание: Б – береза, Е – ель, К – кедр (сосна сибирская), Л – лиственница, Ос – осина, С – сосна.

Таблица 2

## Эколого-ценотический анализ лесных сообществ (без древесных видов и мхов)

ЭКЦ	Лиственничник кисличный		Ельнич черничный, 90 лет		Ельнич черничный, 95 лет		Ельнич кисличный, 80 лет		Ельнич кисличный, 120 лет		Ельнич кисличный, 100 лет	
	Количество ство	%	Количество ство	%	Количество ство	%	Количество ство	%	Количество ство	%	Количество ство	%
1	13	29.5	6	24	12	31.6	3	13.6	7	33.3	10	37
2	18	40.9	11	44	15	39.5	10	45.5	10	47.6	8	29.7
3	2	4.5	3	12	1	2.6	1	4.5	0	0.0	1	3.7
4	9	20.5	3	12	6	15.8	7	31.8	4	19.1	6	22.2
7	1	2.3	2	8	3	7.9	1	4.5	0	0	1	3.7
8	1	2.3	0	0	1	2.6	0	0	0	0	1	3.7
Всего	44	100	25	100	38	100	22	100	21	100	27	100

Примечание: 1 – лесные растения, характерные преимущественно для более плодородных лесных почв и хорошо развитого тенистого яруса; 2 – лесные растения, произрастающие на средних по богатству и относительно бедных лесных почвах с более или менее разреженным древостоем; 3 – растения открытых и сухих местообитаний; 4 – лесные виды с очень широкой экологической амплитудой; 7 – преимущественно луговые растения мезо- и гигрофильного яруса; 8 – виды, приуроченные преимущественно к берегам пресноводных водоемов: озер, рек, ручьев.

гигрофильного ряда всего три (*Carex leporina*, *Vicia sepium*, *Viola nemoralis*). Два вида отмечено в ельнике черничном (90 лет) на коренных основаниях (горошек и фиалка). Из прибрежно-пресноводных видов встречен только один *Poa trivialis* (в лиственничнике кисличном, ельнике черничном, 95 лет, и ельнике кисличном, 100 лет).

В группе лесных сообществ преобладают семигелиофиты (32-46%). Наименьшая доля семигелиофитов отмечена в сообществе с посадками лиственницы, максимальная – в ельнике черничном (90 лет) на элюво-делювии коренных пород. При этом количество теневыносливых растений больше в лиственничнике (15 видов) по сравнению с другими лесными участками (по шесть-семь видов). Интересно, что 14 из 15 теневыносливых видов в лиственничнике кисличном относятся к группе видов, характерных для более плодородных и средних по богатству лесных почв, и только *Pyrola minor* – к видам с широкой экологической амплитудой.

По влажности местообитания во всех исследованных лесных сообществах доминирует группа мезофитов (59-65%). Доля мезогигрофитов заметно ниже в ельнике черничном на коренных основаниях 90 лет (19%), в остальных сообществах количество видов этой группы немного выше (27-36%).

По плодородию местообитаний во всех лесных сообществах наибольшим количеством видов обладает группа мезотрофов (50-65%). Доля мезоэвтрофных видов наиболее высокая в посадках лиственницы (11 видов). Количество олиготрофов и эвтрофов не превышает 7% для отдельных сообществ.

Анализ географической структуры видов напочвенного покрова показал, что во флоре лесных сообществ преобладают зональные бореальные виды (68-87%). Южная группа видов (борео-неморальные и неморальные) насчитывает от двух (в ельнике кисличном, 80 лет) до 11 видов (лесной участок с посадками лиственницы). Особо хочется отметить, что из 13 видов южной группы, отмеченных в лесных сообществах, 11 обитает в лиственничнике кисличном, причем три из них встречены только в этом сообществе. Таким образом, несмотря на относительно высокое число видов с южными связями, они осваивают, как правило, не зональные ельники черничные и кисличные, а искусственно созданные лесные сообщества с лиственницей.

Во флоре исследованных лесных сообществ отмечено всего два гипоарктических и гипоарктобореальных вида (*Vaccinium vitis-idaea*, *Rubus arcticus*).

Из 64 видов сосудистых растений только семь встречены во всех исследованных лесных сообществах (*Dryopteris carthusiana*,

*Luzula pilosa*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Melampyrum sylvaticum*, *Solidago virgaurea*, *Oxalis acetosella*). Большинство из них являются бореальными видами.

В лиственничнике кисличном отмечено восемь видов, не встречающихся в других лесных сообществах (*Aegopodium podagraria*, *Campanula rapunculoides*, *Equisetum pratense*, *Dryopteris expansa*, *Pyrola media*, *P. minor*, *P. rotundifolia*, *Stellaria holostea*). Практически все из перечисленных видов предпочитают богатые, увлажненные и хорошо аэрируемые почвы.

Ранее мы уже отмечали влияние древесного яруса на состав и структуру напочвенного покрова (Рыжкова, 2012; Рыжкова, Крышень, 2013). Как и в предыдущих работах, анализ полученных данных выявил, что, например, *Aegopodium podagraria* отдает предпочтение смешанным лиственнично-еловым сообществам и отсутствует там, где произрастает только ель. Помимо этого, широко распространенный лесной вид, как *Luzula pilosa*, обнаружен нами во всех лесных сообществах, независимо от состава древесного яруса.

Анализируя полученные результаты, мы хотим особо отметить следующие моменты.

Наибольшее видовое разнообразие среди лесных сообществ наблюдается в 80-летних культурах лиственницы сибирской, в том числе и за счет поселения здесь группы неморальных и борео-неморальных видов. Лиственница, помимо улучшения почвенных условий за счет повышения содержания гумуса, азота, фосфора и кальция в почве (Редько, Мялкенен, 2003; Тарасов, 2010), создает более «комфортные» по сравнению с зональными ельниками условия освещенности, обеспечивая приемлемые условия для таких видов, как, например, *Aegopodium podagraria*, *Equisetum pratense*, *Campanula rapunculoides* и *Stellaria holostea*.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гнатюк Е.П., Крышень А.М. Методы исследования ценофлор (на примере растительных сообществ вырубок Карелии). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 68 с.

Геникова Н.В., Гнатюк Е.П., Крышень А.М., Рыжкова Н.И. Формирование состава растительных сообществ в условиях антропогенно фрагментированного ландшафта у границы южной и средней тайги // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. № 2. С. 78-86.

Редько Г. И., Мялкенен Э. Линдуловская лиственничная роща. Хельсинки: Изд-во НИИЛФ, 2003. 90 с.

Рыжкова Н.И. Влияние лиственницы на структуру напочвенного покрова в 80-летних культурах // Известия Самарского НЦ РАН, 2012. Т. 14. № 1(5). С. 1355-1358.

*Рыжкова Н.И., Крышень А.М.* Структура напочвенного покрова в смешанном елово-лиственничном сообществе // Современная ботаника в России: Тр. XIII съезда Русского бот. об-ва и конф. «Научн. основы охраны и рац. использования растит. покрова Волжского бассейна». Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 2. С. 304-305.

*Тарасов П.А.* Сравнительная оценка влияния культур светлохвойных пород на свойства дерново-карбонатной почвы // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 3/4. С. 284-288.

## **СОСТАВ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ МЕЗООЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ**

**Т.А. Сизоненко**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [tvor.83@mail.ru](mailto:tvor.83@mail.ru)

Процесс торфообразования связан с деятельностью микроорганизмов-деструкторов, бактерий и грибов (Thormann et al., 2004). Исследования грибных сообществ почв верховых и низинных торфяников Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири люминесцентно-микроскопическим методом показали, что длина грибного мицелия измеряется сотнями-тысячами метров в одном грамме торфа, а численность спор и дрожжеподобных клеток составляет десятки-сотни миллионов экземпляров. Близкие значения численности микроорганизмов были получены для подстилки, дернины и верхних гумусированных горизонтов лесных почв (Головченко и др., 2001).

Микробиота лесных подзолистых, дерново-подзолистых почв и аллювиальных почв Республики Коми детально исследована (Хабибуллина, 2001). Однако изучение микроорганизмов в болотных фитоценозах в этом регионе ранее не проводилось.

Цель данной работы – изучение разнообразия микроорганизмов и их биомассы в очесе сфагновых мхов на мезоолиготрофном болоте подзоны средней тайги.

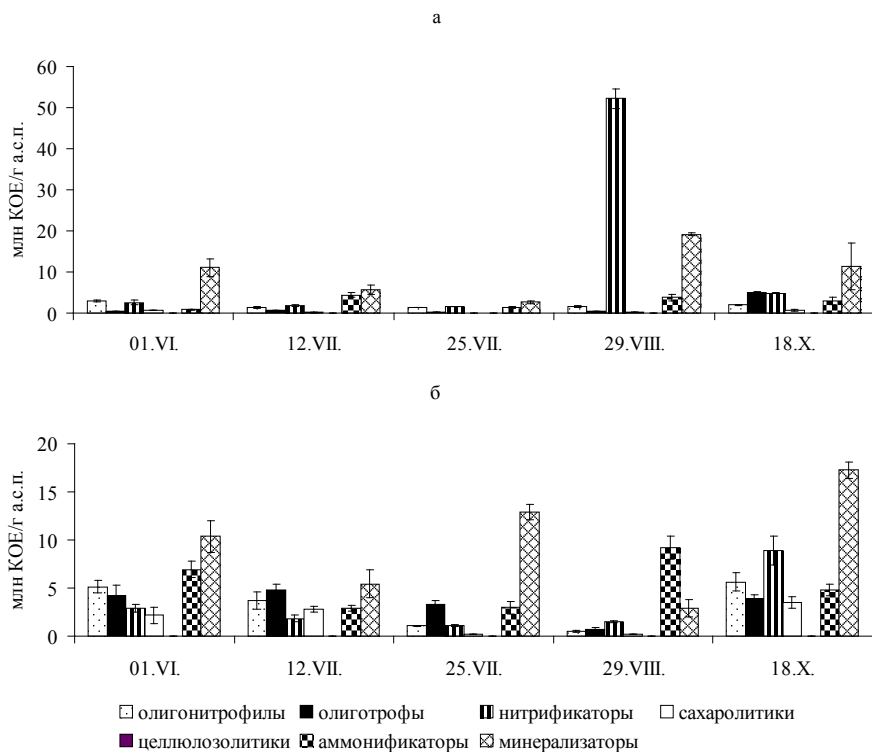
Исследования проводили на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр, расположенном в Сыктывдинском районе Республики Коми (61°56' с.ш., 56°13' в.д.). Площадь болота составляет 2790 га, средняя мощность торфа – 1.4 м, максимальная – 3.4 м. Болото располагается на второй надпойменной террасе, его водоприемниками служат реки Пожег и Пычим. Торфяная залежь представлена торфами верхового, смешанного, переходного и низинного типов с зольностью от 23 до 35%.

Для исследования были выбраны два участка: мезотрофный участок с кустарничково-травяно-сфагновым сообществом № 1 и мезоевтрофная проточная топь с травяно-сфагновым сообществом № 2, различающиеся по видовому составу растений и их обилию (Михайлов, 2013).

Образцы охвата сфагнома отбирали с глубины 10-15 см с мая по октябрь 2012 г. Для выделения и идентификации микроорганизмов методом посева были использованы следующие стандартные микробиологические среды: аммонификаторы выделяли на МПА, минерализаторы – на КАА, олигонитрофилы – на среде Эшби, нитрификаторы – на среде Виноградского, сусло-агар использовали для выделения олиготрофных организмов, микромицеты выделяли на подкисленной среде Чапека и целлюлозолитические микроорганизмы – на среде Гетчинсона. Характеристика комплекса микроскопических грибов дана на основе таких показателей, как обилие и частота встречаемости.

На основании проведенного количественного анализа распределения различных групп микроорганизмов (бактерий, микромицетов, актиномицетов, дрожжей) установлено, что на участке с мезотрофным кустарничково-травяно-сфагновым сообществом численность данных групп микроорганизмов ниже, чем на участке мезоевтрофной проточной топи (см. рисунок). Вероятно, это связано с более высоким участием травянистых растений в напочвенном покрове и повышенным содержанием органических веществ в воде (Мигловец, Михайлов, 2012). Во все сроки отбора образцов на обоих участках болота количество минерализаторов превышало численность аммонификаторов, что свидетельствует об интенсивном процессе минерализации. На мезотрофном участке болота достаточно высокой была численность олиготрофных, олигонитрофильных и нитрифицирующих микроорганизмов. Высокая численность нитрификаторов в августе может быть связана со снижением суммы осадков в этот период, соответственно, уменьшением уровня грунтовых вод и улучшением аэрации верхних слоев торфяной залежи. Число олигонитрофильных микроорганизмов, способных довольствоваться небольшим количеством азота, менялось незначительно в течение вегетации и составляло от 1.5 до 3.0 млн КОЕ/г а.с.п., увеличиваясь в начале и конце сезона. Количество сахаролитиков и целлюлозолитиков в составе микробиоты незначительно.

На двух участках болота нами выделено 72 вида микромицетов из отделов *Zygomycota* и *Anamorphic fungi*, в том числе два типа стерильного мицелия. Наиболее обильными были роды *Mortierella*, *Geomyces*, *Cephalosporium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Tricho-*



Сезонная динамика количества микроорганизмов различных физиологических групп в торфах (а – участок № 1, б – участок № 2).

*derma*, а также *Mycelia sterilia* (см. таблицу). Большинство выделенных анаморфных грибов принадлежит родам *Penicillium* и *Trichoderma*. Высоким видовым разнообразием отличался род *Mortierella*, виды которого являются космополитами и способны развиваться в самых разных условиях среды.

В сезонной динамике наибольшее разнообразие видов описано в конце июля, наименьшее – в октябре, что может быть связано с разным температурным режимом. Доминировали *Mortierella cephalosporina*, *M. verticillata*, *Geomyces pannorum*, *Scopulariopsis brevicaulis*, а также *Mycelia sterilia* (Moniliac.). Все виды-доминанты, кроме *Geomyces pannorum*, присутствовали на участке мезоевтрофной проточной топи.

К часто встречающимся видам отнесли *Mortierella alpina*, *M. schmuckeri*, *Umbelopsis ramanniana*, *Paezilomyces inflatus*, *Pe-*



**Обилие родов грибов в торфах мезоолиготрофного болота, %**

Роды микровицетов	01.06.		12.07.		25.07.		29.08.		18.10.	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
<i>Mortierella</i>		45.3	26.7	10.6	27.4	20.6		26.7		
<i>Mucor</i>						1.8				
<i>Umbelopsis</i>		7.7		2.4	13.3	10.6				
<i>Acremonium</i>						0.5				
<i>Amblyosporium</i>						0.5				
<i>Aureobasidium</i>				1.2	1.4	0.9		6.7		
<i>Geomyces</i>		4.3		1.2	2.7	8.3	26.7	6.7	4.8	7.7
<i>Gliocladium</i>										7.7
<i>Chrysosporium</i>							6.7			
<i>Cephalosporium</i>						0.5		20.0		
<i>Cylindrocarpon</i>						0.5				
<i>Cylindrocladium</i>					1.4					
<i>Fusidium</i>						4.6				
<i>Metarhizium</i>						0.5				
<i>Monocillium</i>						0.5				
<i>Oidiodendron</i>	6.3	1.7		2.4	8.2	0.5		6.7		
<i>Paecilomyces</i>		1.7			1.4	7.8			23.8	15.4
<i>Penicillium</i>	32.8	5.9	13.3	21.2	19.2	14.2	40	26.7	16.7	53.9
<i>Rhizopus</i>		0.9								
<i>Scopulariopsis</i>		5.9		1.2	2.7	12.8				7.7
<i>Trichoderma</i>	26.6	17.1	15.6	4.7		8.3			7.1	
<i>Mycelia sterilia</i>	34.4	11.9	42.2	57.7	35.6	7.3	26.7	6.7	47.6	7.7

Примечание: № 1 – мезотрофный участок с кустарничково-травяно-сфагновым сообществом, № 2 – мезоевтрофная проточная топь.

*nicillium griseolum*, *P. islandicum*, *P. spinulosum*, *Trichoderma longibrachiatum*, *T. polysporum*, а также *Mycelia sterilia*. Редко встречались представители родов *Mortierella*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Oidiodendron*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Scopulariopsis*. Спектр случайных родов включал в себя *Acremonium*, *Amblyosporium*, *Aureobasidium*, *Gliocladium*, *Chrysosporium*, *Cephalosporium*, *Cylindrocarpon*, *Cylindrocladium*, *Fusidium*, *Metarhizium*, *Monocillium*, *Oidiodendron*, *Rhizopus*. Некоторые виды родов *Mortierella*, *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma* в определенные сроки отбора были также встречены случайно.

Большинство выделенных нами случайных микровицетов относятся к группе медленнорастущих целлюлозолитиков. Быстрорастущие микровицеты-сахаролитики отмечались гораздо реже, что согласуется с данными других авторов, полученными для верховых болот (Головченко и др., 2013). Известно, что для верховых болот характерны в основном типичные сапротрофные микровицеты (Головченко и др., 2013).

Из двух исследованных нами участков во все сроки более высокое видовое разнообразие микромицетов отмечено на участке мезоевтрофной травяно-сфагнутой проточной топи. Здесь высока роль медленнорастущих случайно встречающихся олиготрофных видов, а также видов рода *Mortierella*. На мезотрофном участке с кустарничково-травяно-сфагновым сообществом во все сроки доминировал или часто встречался стерильный неокрашенный мицелий *Mycelia sterilia*, который является главным компонентом грибных сообществ заболоченных тундровых почв (Головченко и др., 2013). Постоянство стерильного мицелия, не образующего конидиального спороношения, характерно для почвенных микромицетных комплексов арктических территорий, так как утрата спорообразования является физиологической адаптацией этих организмов к низким температурам (Кирцидели, Томилин, 1997). На обоих участках наиболее часто встречались *P. spinulosum*, виды рода *Oidiodendron*, *Geomyces pannorum*.

Таким образом, в результате исследований почвенной микробиоты мезоолиготрофного болота средней тайги на территории Республики Коми выделено 72 вида микромицетов с наиболее обильными родами *Mortierella*, *Geomyces*, *Cephalosporium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, а также *Mycelia sterilia*. В сезонной динамике наибольшее разнообразие видов микромицетов отмечали в июле, наименьшее – в октябре, что может быть связано с изменением температурного режима почвы. Случайные виды относятся к медленнорастущим олиготрофным целлюлозолитикам и нитрификаторам. В сезонной динамике численность всех групп микроорганизмов увеличивалась осенью.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Головченко А.В., Добровольская Н.Г. Численность и запасы микроорганизмов в пойменных почвах // Почвоведение. 2001. № 12. С. 1460-1464.
- Головченко А.В., Кураков А.В., Семенова Т.А., Звягинцев Д.Г. Обилие, разнообразие, жизнеспособность и факторная экология грибов в торфяниках // Почвоведение. 2013. № 1. С. 80-97.
- Кирцидели И.А., Томилин Б.А. Почвенные микромицеты Архипелага Северная Земля // Микология и фитопатология. 1997. Т. 31. № 6. С. 1-6.
- Мигловец М.Н., Михайлов О.А. Реакция эмиссии метана на сезонные изменения гидротермических и гидрохимических факторов на мезоолиготрофном болоте средней тайги // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XIX Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2012. С. 159-161.
- Михайлов О.А. Сезонная динамика вертикальных потоков CO<sub>2</sub> в приземном слое атмосферы на мезоолиготрофном болоте средней тайги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2013. 22 с.

*Хабидуллина Ф.М.* Почвенные микромицеты ельника чернично-зеленомошного средней тайги // Лесоведение. 2001. № 1. С. 43-48.

*Thormann M.N., Bayley S.E., Currah R.S.* Microcosm test of the effects of temperature and microbial species number on the decomposition of *Carex aquatilis* and *Sphagnum fuscum* litter from southern boreal peatlands // Can. J. Microbiol. 2004. Vol. 50. P. 793-802.

## РЕАКЦИИ АКТИНОМИЦЕТОВ НА УРБАНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

**Е.С. Соловьева**

Вятский государственный гуманитарный университет

E-mail: [blueberry17@mail.ru](mailto:blueberry17@mail.ru)

Для решения задач микробиологической диагностики антропогенных изменений городских почв могут быть использованы актиномицеты, которые являются неотъемлемым компонентом микробной системы любой почвы. К актиномицетам относят спорообразующие грамположительные бактерии, способные к формированию ветвящегося мицелия, подобного грибному, но в пять-семь раз более тонкому. Функциональная роль актиномицетов связана с обеспечиванием растений элементами минерального питания и пополнением запаса гидролитических ферментов почвы. Образуют меланины – предшественники гумусовых веществ, актиномицеты участвуют в формировании почвенного плодородия. Вследствие более простой (по сравнению с другими прокариотами) видовой идентификации и описания видовой структуры сообществ актиномицеты более других подходят для целей биодиагностики антропогенных изменений в почвах (Звягинцев, Зенова, 2001).

Цель работы – характеристика изменений таксономической и физиологической структуры комплекса актиномицетов как показателя состояния микробной системы урбаноземов при загрязнении тяжелыми металлами (ТМ).

Объектами исследования служили образцы почв г. Кирова, отобранные в летний период 2010 г. с глубины 0-7 см в различных районах города в следующих экотопах: санитарные зоны промышленных предприятий (промышленная зона); газоны вдоль наиболее крупных автомагистралей (транспортная зона); дворные территории (селитебная зона); садово-огородные участки, расположенные в черте города; лесопарковые насаждения в заречной части города (рекреационная зона). Для характеристики каждой зоны выполняли химический и микробиологический анализ образцов почвы. В качестве фоновых служили почвы, развитые на территории Государственного природного заповедника «Нургуш» Кировской области.

Определение содержания тяжелых металлов в почвенных образцах различных экотопов г. Кирова показало неравномерность в распределении элементов на территории города и более высокое по сравнению с фоновыми территориями содержание в урбаногемах цинка, меди, свинца и кадмия (см. таблицу). Содержание свинца в урбаногемах было максимальным в зоне транспортного загрязнения и превышало фоновые концентрации в 42 раза (4.6 ПДК). Максимальные концентрации кадмия, меди и цинка наблюдали в санитарных зонах промышленных предприятий. В отличие от почв фоновых территорий, урбаногема характеризовались реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной, исключая зону рекреации (рН 5.1).

Загрязнение почв обследуемых участков ТМ привело к изменению некоторых количественных характеристик актиномицетного комплекса, особенно это проявилось при посеве на среду с пропионатом натрия. Так, количество актиномицетов в образцах почвы из промышленной зоны  $(4.5 \pm 2.05) \times 10^5$  КОЕ/г) в три раза уступала численности актиномицетов в почвах селитебной зоны  $(13.6 \pm 11.66) \times 10^5$  КОЕ/г).

Комплекс актиномицетов, выделяемый из городских почв на среде с пропионатом натрия, включал представителей родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium* и олигоспоровые виды. В почве из относительно чистой рекреационной зоны долевое участие стрептомицетов (96%) в комплексе было максимальным, тогда как в более загрязненных ТМ почвах промышленной зоны их доля снизилась до 78.5%. В то же время долевое участие микромоноспор (16.8%) в комплексе промышленной зоны возросло более чем в пять раз по сравнению с актиномицетным комплексом

#### Содержание тяжелых металлов, органического вещества и реакция почвенного раствора в исследуемых образцах

Экотоп	Подвижные формы, мг/кг						рН <sub>ккл</sub>	Органическое вещество, %
	Cd	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn		
Зона промышленного загрязнения	0.429	1.570	0.636	12.348*	2.819	28.225*	7.7	6.83
Зона транспортного загрязнения	–	–	–	2.211	27.637*	11.743	6.8	–
Селитебная зона	0.086	0.348	0.063	0.427	2.094	22.075	7.1	9.79
Садовые участки	0.096	0.443	0	0.250	1.557	15.965	6.8	6.86
Рекреационная зона	–	–	–	1.271	0.795	2.570	5.1	–
Фоновые территории	0.098	5.140	1.753	0.156	0.643	1.670	4.3	11.87

Примечание: прочерк – определение не проводилось; «\*» – наблюдалось превышение ПДК.

почвы из рекреационной зоны и в три раза по сравнению с комплексом селитебной зоны.

Родовое разнообразие актиномицетов в почвах, загрязненных ТМ, было несколько выше, чем в почвах из более чистых экотопов. Величины индекса Шеннона (H) последовательно увеличивались в следующем ряду функциональных зон: рекреационная ( $0.186 \pm 0.042$ ), садово-огородная ( $0.438 \pm 0.215$ ), селитебная ( $0.625 \pm 0.126$ ), транспортная ( $0.708 \pm 0.302$ ) и промышленная ( $0.865 \pm 0.256$ ).

В зависимости от категории экотопа различалась видовая представленность в почвенном комплексе рода *Streptomyces*. В почвах с относительно высоким содержанием ТМ преобладали представители секции Imperfectus (рис. 1).

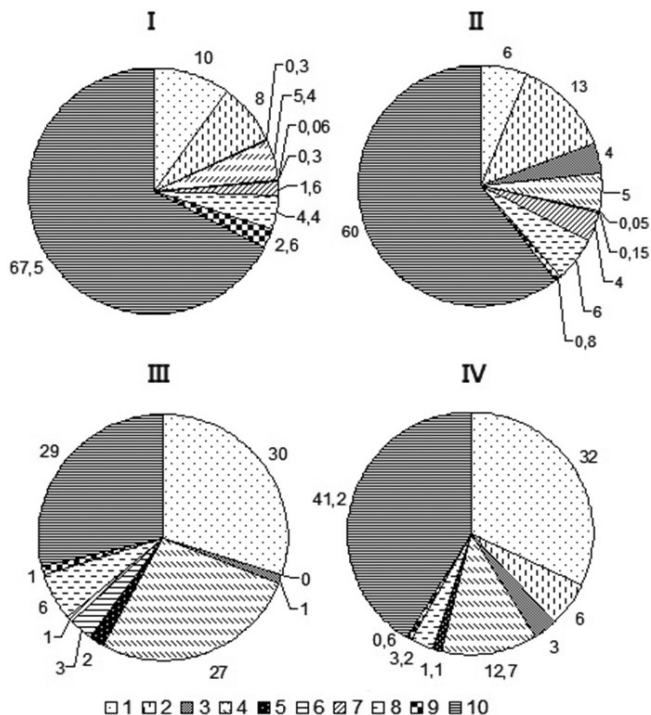


Рис. 1. Долевое участие видов стрептомицетов: 1 – *Albus Albus*, 2 – *Albus Albicoloratus*, 3 – *Cinereus Chromogenes*, 4 – *Cinereus Achromogenes*, 5 – *Cinereus Violaceus*, 6 – *Cinereus Aureus*, 7 – *Helvolo-Flavus Flavus*, 8 – *Helvolo-Flavus Helvolus*, 9 – *Roseus Ruber*, 10 – *Imperfectus* в зависимости от экотопа: I – почвы промышленной зоны, II – почвы транспортной зоны, III – почвы селитебной зоны, IV – садово-огородные почвы.

В менее загрязненных ТМ почвах доля представителей секции *Imperfectus* была значительно меньше. В почвах селитебного и садово-огородного экотопов доля неокрашенных стрептомицетов, принадлежащих к секциям и сериям *Albus Albus* и *Cinereus Achromogenes*, превышала в три-пять раз аналогичный показатель в почвах транспортной и промышленной зон. В более загрязненных почвах, по сравнению со стрептомицетным комплексом селитебных почв, увеличилась частота встречаемости видов секций и серий *Albus Albocoloratus*, *Helvolo-Flavus Flavus*, *Roseus Ruber*. Это говорит в пользу их большей выносливости по сравнению с неокрашенными видами.

Сопоставление полученных данных с результатами определения в почве ТМ указывает на то, что в загрязненных почвах происходит существенная перестройка в структуре актиномицетных комплексов и, как результат, формирование резистентного к действию ТМ сообщества мицелиальных прокариот.

Среди актиномицетов широко распространена способность к синтезу антибиотиков. Среди известных на сегодня микробных антибиотиков 70% синтезируется штаммами, принадлежащими к роду *Streptomyces* (Watve et al., 2001). В условиях загрязнения городской почвенной среды возможно изменение метаболической активности стрептомицетов. В связи с этим в первом модельном опыте выясняли, как влияет добавление свинца ( $Pb^{2+}$ ) и кадмия ( $Cd^{2+}$ ) в среду для культивирования стрептомицетов на их антагонистическую активность в отношении других бактерий. Исследовали по пять природных изолятов стрептомицетов из урбаноземов г. Кирова и почв ГПЗ «Нургуш». Стрептомицеты выращивали на трех средах: 1) овсяный агар – ОА; 2) ОА + 20 мкг/мл  $Pb^{2+}$  в форме сульфата; 3) ОА + 2 мкг/мл  $Cd^{2+}$  в форме хлорида. В качестве тест-культур использовали грамотрицательные и грамположительные бактерии. Антибиотическую активность определяли методом диффузии в агар.

Метаболиты, продуцируемые стрептомицетами на среде 1, существенно влияли как на грамотрицательные, так и на грамположительные тест-бактерии, ограничивая их рост в 80% случаев попарных взаимодействий. Спектры антагонистической активности и величины зон ингибирования роста бактерий для изолятов из разных местообитаний существенно не отличались. На среде 2 антагонистическая активность стрептомицетов в отношении тест-культур чаще (в 18 из 60 попарных метаболических взаимодействий) снижалась или утрачивалась полностью и только в пяти случаях появлялась *de novo*. Среда 3 не обеспечила рост 40% исследуемых изолятов, у остальных культур наблюдалась задерж-

ка роста. Антагонистическая активность стрептомицетов при этом снизилась в восьми, а появилась – в шести из 36 попарных метаболических взаимодействий с тест-культурами.

Таким образом, добавление  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  в среду для культивирования стрептомицетов оказало влияние на их антагонистическую активность в отношении других бактерий, в большинстве случаев в сторону ее снижения. Это может свидетельствовать о возможности нарушения естественной супрессивности почв под воздействием загрязнения ТМ.

Перестройки в таксономической структуре стрептомицетного комплекса могут сопровождаться изменением физиологической толерантности к ТМ его отдельных представителей. Кинетическую реакцию культур стрептомицетов на ионы свинца, меди и цинка изучали в следующих модельных опытах, определяя радиальную скорость роста колоний ( $K_r$ ). По 10 культурам рода *Streptomyces*, выделенных из почв с различной степенью загрязнения ТМ, выращивали на агаризованной среде Гаузе 1. В зависимости от варианта добавляли в среду соли ТМ (ацетат свинца, сульфат меди (II) и сульфат цинка) в концентрациях, соответствующих в пересчете на металл 3, 6 и 30 мг/кг для свинца, 3, 6 и 15 мг/кг для меди 3, 6 и 115 мг/кг для цинка. Реакция большинства исследованных штаммов на добавление в среду ионов металлов в низкой концентрации (3 мг/л) заключалась в увеличении  $K_r$  по сравнению с контролем. При повышении концентрации металла в среде наблюдались отклонения. Кинетическая реакция на возрастающие концентрации металлов в среде зависела от природы металла и вида стрептомицета. Минимальная ингибирующая рост стрептомицетов концентрация для меди (6 мкг/мл) была значительно ниже, чем для цинка (115 мкг/л). Для свинца ингибирующая концентрация в исследованном диапазоне (3-30 мкг/мл) не выявлена. Устойчивые к свинцу, цинку и меди штаммы стрептомицетов встречались как в городских (*S. bacillaris* у-52, *S. californicus* у-53) почвах, так и в почве фоновой (*S. sindenensis* н-3, *S. aureofaciens* н-4). Устойчивость изолятов стрептомицетов городских почв являлась следствием адаптации к постоянному воздействию на них ТМ, а в случае с актиномицетами фоновых почв, очевидно, – индукцией «спящих» генов устойчивости.

Стрептомицеты могут сорбировать ионы металла на внеклеточные поверхности, тем самым, уменьшая доступную концентрацию металла в среде. Биосорбция происходит благодаря наличию в клеточной стенке поляризованных групп (фосфатных, карбоксильных, гидроксильных и аминогрупп) (Haferburg, Kothe, 2007).



Цель следующего модельного эксперимента – сравнительная характеристика изолятов стрептомицетов, выделенных из экотопов с различной степенью загрязнения тяжелыми металлами, по накоплению ими биомассы в присутствии свинца и величине сорбции свинца из растворов. Для эксперимента были выбраны изоляты стрептомицетов, выделенные из почв г. Кирова с различным уровнем загрязнения ТМ, в качестве фоновых использовали изоляты, выделенные из почв ГПЗ «Нургуш». Стрептомицеты выращивали в жидкой среде с добавлением  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  из расчета в среднем 9 мг/л  $\text{Pb}^{2+}$ .

Результаты эксперимента показали, что количество извлеченного металла во всех случаях было выше 90% и максимальные значения наблюдались у изолятов из ГПЗ «Нургуш» ( $98.74\pm 0.38\%$ ). Содержание свинца в биомассе стрептомицетов, в зависимости от штамма и места его изоляции, изменялось в среднем от 5.5 до 8.7 мг/г. Минимальные значения при этом отмечались у изолятов из городских почв, а максимальные – из фоновых почв. Рост мицелиальной массы стрептомицетов в жидкой среде с добавлением свинца различался по интенсивности в зависимости от места выделения культур. Накопление биомассы изолятами из почв с повышенным и умеренным загрязнением ТМ было меньше, чем в контроле, в среднем на 20.1 и 5.6% соответственно. Биомасса изолятов из фоновой почвы в тех же условиях, напротив, превышала на 17.2% средние значения, полученные в контрольном варианте. Обусловленные свинцом различия в накоплении биомассы прослеживались не только между средними значениями для сравниваемых выборок стрептомицетов, но и при сравнении штаммов одного вида, относящихся к почвам, различающимся между собой по степени загрязнения ТМ. Так, биомасса культур *S. aureofaciens* и *S. bacillaris*, выделенных из фоновой почвы, превосходила на 12 и 30% биомассу штаммов этих же видов, изолированных из городских почв (рис. 2). По эффективности удаления ионов  $\text{Pb}^{2+}$  из жидкой среды штаммы между собой различались незначительно.

Стимуляция свинцом роста мицелиальной массы у культур из фоновой почвы, ранее не контактировавших с металлами, может быть связана с усилением метаболической активности стрептомицетов в присутствии ионов металла на уровне транскрипции или же в результате индукции так называемых «спящих» генов.

В итоге можно заключить, что адаптационные возможности актиномицетов к стрессовому воздействию ТМ в условиях городской среды достаточно велики. Полученные данные об особенностях структурно-функциональной организации комплексов актиномицетов в условиях техногенного загрязнения дают основание

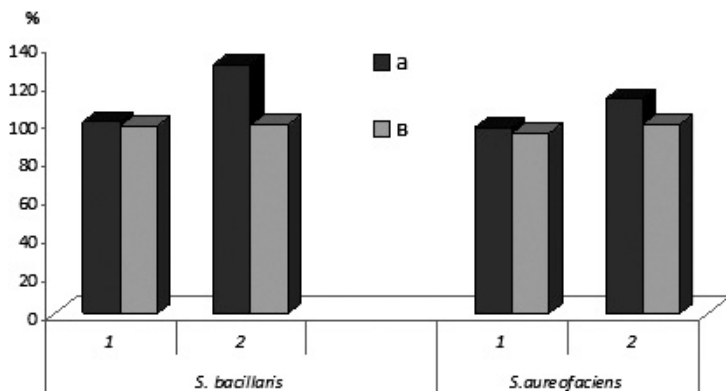


Рис. 2. Изменение биомассы (а) и концентрации свинца в растворе (в) для изолятов стрептомицетов, выделенных из почв с различным уровнем загрязнения: 1 – изоляты из городских почв, 2 – изоляты из фоновых почв (ГПЗ «Нургуш»).

для включения актиномицетных индикационных показателей в систему биомониторинга урбозем. Количественный и качественный состав актиномицетного населения урбаноземов при сравнении с фоновыми территориями может дать информацию о степени нарушенности почвенной микробиоты в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. М.: ГЕОС, 2001. 256 с.
- Haferburg G., Kothe E. Microbes and metals: interactions in the environment // J. Basic Microbiol. 2007. Vol. 47. P. 453-467.
- Watve M.G., Tickoo R., Jog M.M., Bhole B.D. How many antibiotics are produced by the genus Streptomyces? // Archives of Microbiology. 2001. Vol. 176. Issue 5. P. 386-390.

### ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВЕННЫХ АКТИНОМИЦЕТОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ АГРОЭКОСИСТЕМ

Е.В. Товстик

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока  
им. Н.В. Рудницкого  
E-mail: tovstik2006@inbox.ru

Оценка техногенной нагрузки на естественные и антропогенные экосистемы при воздействии военно-промышленного комплекса является важным звеном в решении экологических про-

блем. Крайняя неустойчивость и неспособность к саморегуляции агроэкосистем (Миркин, Наумова, 2011) определяют их более высокую чувствительность, по сравнению с естественными экосистемами, к действию практически всех видов антропогенного воздействия (Миненко, 2008).

Среди многообразия видов антропогенного воздействия техногенез для агроэкосистем особенно опасен глубокими качественными и количественными изменениями их компонентов (Ильязов, 2008). При этом почвенный покров, в силу выраженной способности к аккумуляции загрязняющих веществ, наиболее подвержен этому воздействию (Мотузова, Безуглова, 2007).

Оценивать степень негативного воздействия, в том числе при низком уровне загрязнения, позволяют методы биологического контроля (Напрасникова, Макарова, 2012). Одним из параметров учета является чувствительность почвенной биоты (Гузев, Левин, 1991).

Из прокариотных организмов почвы для биологической оценки подходят более всего мицелиальные бактерии – актиномицеты, которые лучше других прокариотов (Звягинцев, Зенова, 2001).

Цель данной работы – оценка экологического состояния почв луговых фитоценозов, расположенных в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский», с использованием данных о степени трансформированности структуры стрептомицетных комплексов почвы, за период работы объекта в режиме уничтожения химического оружия (ХО) с 2007 по 2013 г.

В почвенных образцах, отобранных из верхних горизонтов почв на участках государственного экологического мониторинга (ГЭМ) в летние периоды 2007, 2012, 2013 гг., определяли численность и видовую структуру рода *Streptomyces*, производя посев почвенных суспензий на казеин-глицериновый агар. Для характеристики видового разнообразия стрептомицетов использовали индекс Шеннона.

Исследования показали, что общая численность стрептомицетов в почвах, отобранных вблизи объекта (1.15, 2.72 км) в 2013 г. увеличилась по сравнению с 2007 г. на порядок (с 6.0-49.3 до 336.4-397.6 тыс. КОЕ/г почвы). В то же время в почве, удаленной от объекта на 5.24 км, численность стрептомицетов практически не изменилась (табл. 1).

За период с 2007 по 2013 г. в исследуемых почвах увеличилась доля актиномицетов в прокариотном комплексе на 33.7-70.5% (табл. 1). Наиболее высокое (75.8%) доленое участие в бактериальном комплексе мицелиальных прокариот отмечено в поч-

Таблица 1

**Доля актиномицетов в прокариотном комплексе почвы и численность стрептомицетов в почвах луговых фитоценозов в зависимости от года пробоотбора и удаленности от объекта**

№ участка	Направление, удаление от объекта	Тип почвы	Год	Доля в прокариотном комплексе, %	Численность, тыс. КОЕ/г
3	Северо-восток, 1.15 км	Дерново-слабоподзолистая супесчаная	2007	5.3	6.0±5.3
			2012	50.5	12.8±4.2
			2013	75.8	336.4±26.9
43	Юг, 2.72 км	Дерново-подзолистая легкосуглинистая	2007	4.8	49.3±11.7
			2012	36.9	573.8±256.5
			2013	38.5	397.6±78.7
73	Восток, 5.24 км	Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая	2007	4.0	243.0±143.0
			2013	64.1	604.0±111.9

ве, отобранной в 2013 г. на участке, расположенном в непосредственной близости к объекту (1.15 км).

Видовое разнообразие стрептомицетных комплексов в почве за исследуемый период времени изменилось значительно (табл. 2). Так, для большинства стрептомицетных комплексов почв, отоб-

Таблица 2

**Структура стрептомицетных комплексов в почвах луговых фитоценозов в зависимости от года пробоотбора**

№ в системе ГЭМ	Год	Разнообразие	Доля/частота встречаемости видов, %							
			1	2	3	4	5	6	7	8
3	2007	0.16±0.36	33.0 /40	67.0 /40	0 /0	0 /0	0 /0	0 /0	0 /0	0 /0
	2012	1.98±0.29	29.1 /100	41.7 /100	0 /0	15.7 /100	2.6 /60	0.5 /20	5.8 /80	4.6 /100
	2013	1.39±0.13	63.3 /100	11.9 /100	0.3 /20	2.7 /80	0 /0	0 /0	0 /0	21.8 /100
43	2007	1.77±0.16	41.9 /100	8.1 /80	0 /0	0 /0	24.3 /100	4.0 /40	21.7 /100	0 /0
	2012	1.43±0.19	65.9 /100	8.8 /100	1.4 /60	1.4 /100	0 /0	1.8 /80	20.2 /100	0.5 /60
	2013	1.23±0.23	14.5 /100	11.3 /100	6.0 /100	0 /0	0 /0	0 /0	0 /0	68.2 /100
73	2007	0.53±0.16	65.8 /40	8.2 /100	0 /0	0 /0	2.9 /20	9.5 /60	13.6 /40	0 /0
	2013	1.87±0.16	47.9 /100	21.1 /100	20.5 /100	1.0 /60	0 /0	8.7 /100	0.8 /60	0 /0

*Примечание:* 1 – *Cinereus Achromogenes*; 2 – *Cinereus Chromogenes*; 3 – *Cinereus Aureus*; 4 – *Cinereus Violaceus*; 5 – *Roseus Ruber*; 6 – *Imperfectus*; 7 – *Albus Albus*; 8 – *Albus Albocoloratus*.

ранных в 2013 г., зафиксировано увеличение значения индекса Шеннона (от  $0.16 \pm 1.77$  в 2007 г. до  $1.23 \pm 1.87$  бит/г в 2013 г.). Наиболее высокое видовое разнообразие стрептомицетов ( $H = 1.98 \pm 0.29$  бит/г) отмечено в почве, отобранной в 2012 г. на участке № 3. В 2007 г. почва с данного участка характеризовалась самым низким видовым разнообразием стрептомицетов ( $0.16 \pm 0.36$  бит/г) среди исследуемых почв этого года.

По сравнению с 2007 г., стрептомицетные комплексы почв 2013 г. характеризовались более высокой частотой встречаемости видов (табл. 2).

По долевого участию в комплексах большинства исследуемых почв как в начальный период наблюдений, так и в 2013 г., доминировали виды секции и серии *Cinereus Achromogenes* (табл. 2). Однако их доля в комплексе с течением времени сократилась. Долевого участие в комплексе видов серии *Cinereus Chromogenes* в 2007 г. было более низким (8.2-8.1%), чем в последующие (11.3-21.1%) годы наблюдений (2012, 2013 гг.). Исключением явилась динамика стрептомицетного комплекса почвы, отобранной вблизи объекта, – в ней произошло уменьшение доли представителей этой серии с 67.0 до 11.9% и увеличение доли видов серии *Cinereus Achromogenes* с расширением спектра видового разнообразия. Общей отличительной особенностью почв, отобранных в 2007 г., по сравнению с почвами 2013 г., явилось отсутствие в комплексах видов секций и серий *Cinereus Violaceus*, *Cinereus Aureus*, *Albus Albocoloratus*, а также наличие вида *Roseus*, который в 2013 г. в стрептомицетных комплексах не выявлен.

Таким образом, сравнительный анализ численности и структуры комплексов почвенных стрептомицетов в 2007 и 2012, 2013 гг. позволяет сделать вывод, что микробная система почв луговых фитоценозов в СЗЗ ОХУХО «Марадыковский» за период его работы в режиме уничтожения ХО претерпела некоторые изменения. Для большинства исследуемых почв отмечено увеличение на порядок численности стрептомицетов и доли актиномицетов в прокарриотном комплексе почв, расширение видового разнообразия, а также рост частоты встречаемости и количества доминантных видов в стрептомицетном комплексе. Наиболее выраженную динамику имели стрептомицетные комплексы почвы, отобранной в непосредственной близости к объекту. Учитывая незначительную степень выявленных отклонений, не выходящих за рамки варьирования, которое может быть обусловлено и естественными причинами, можно говорить о том, что работа объекта в режиме уничтожения химического оружия не вызвала острых негативных последствий в структуре почвенных микробных комплексов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гузев В.С., Левин С.В. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях // Почвоведение. 1991. № 9. С. 50.

Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Экология актиномицетов. М.: ГЕОС, 2001. 257 с.

Ильязов Р.Г. Агроэкосфера и техногенез – актуальные проблемы и пути их решения // Почвоведение и агрохимия. 2008. № 1. С. 102.

Напрасникова Е.В., Макарова А.П. Эколого-микробиологическая и биохимическая характеристика почвенного покрова в условиях аэротехногенного загрязнения // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2012. Т. 5. № 2. С. 19.

Миненко А.К. Агрономические функции микробсообществ дерново-подзолистых почв // АгроЭкоИнфо. 2008. № 1. С. 2.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Краткий курс общей экологии. Ч. II: Экология экосистем и биосферы: Учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2011. 180 с.

Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв: Учебное пособие. М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. 237 с.

## НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РАСТЕНИЯХ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

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

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой органические соединения бензольного ряда, различающиеся по числу бензольных колец и особенностям их присоединения (Клар, 1971). Выделяют легкие и тяжелые полиарены. Актуальность исследований ПАУ обусловлена их повышенной канцерогенной, мутагенной и токсической активностью по отношению к живым организмам. ПАУ внесены в списки Европейского экономического сообщества (ЕС) и Агентства по охране окружающей среды США (EPA) как приоритетные загрязнители (Jian et al., 2004). Индикатором присутствия ПАУ в окружающей среде признан бенз[а]пирен, его ПДК в почве составляет 20 нг/г. Установлено, что 60% глобальной эмиссии бенз[а]пирена приходится на процессы, связанные со сжиганием угля (Ровинский и др., 1988).

Воркута – центр угольной промышленности, вблизи города сконцентрировано шесть угольных шахт, что ведет к негативным изменениям в окружающей среде и растительном покрове. Расте-

ния выполняют основную роль в поглощении разнообразных поллютантов из почвы и являются первичными звеньями трофических цепей. Поэтому изучение накопления ПАУ в зонах действия угольных шахт представляет наибольший интерес.

Цель данной работы – изучение особенностей накопления ПАУ разными видами растений южной кустарниковой тундры в зоне действия шахт открытого и закрытого типов.

Нами были проведены исследования содержания ПАУ в органических горизонтах тундровых поверхностно-глеевых почв и растениях кустарниковой тундры. Растения отбирали на фоновом участке и в районе действия угольных шахт закрытого (шахта «Воркутинская») и открытого (шахта «Юнь-Яга») типов. На фоновых участках отобрано 14 видов растений: *Salix lanata* L. (ива шерстистая), *Betula nana* L. (береза карликовая), *Festuca ovina* L. (овсяница овечья), *Deschampsia caespitosa* L. (щучка дернистая), *Pyrola rotundifolia* L. (грушанка круглолистная), *Vaccinium myrtillus* L. (черника), *V. vitis-idaea* L. (брусника), *V. uliginosum* L. (голубика), *Empetrum nigrum* L. (водяника черная), *Pleurozium schreberi* Brid., *Polytrichum commune* L., *Dicranum undilatum* Ehrh., *Lobaria linita* (Ach.) Rabenh., *Cladonia gracilis* (L.) Willd. На загрязненном участке выявлено 10 видов растений: *Salix lanata*, *Betula nana*, *Festuca ovina*, *Deschampsia caespitosa*, *Pyrola rotundifolia*, *Chamerion angustifolium* L. (иван-чай), *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*.

В составе угля обнаружено 14 структур ПАУ (рис. 1). В угле значительно преобладали легкие полиарены – нафталин, флуорен и фенантрен. В меньшей степени представлены пирен, хризен, бенз[b]флуорантен, бенз[a]пирен, бенз[ghi]перилен и инденопирен. В угле шахты «Юнь-Яга» выявлено большее суммарное содержание ПАУ по сравнению с шахтой «Воркутинская», кратности превышения составили 1.7 раза для суммы ПАУ. Для отдельных структур (флуорен, антрацен, инденопирен) они достигали трех-четырёх раз.

В почвах и растениях идентифицированы 15 ПАУ (рис. 2, 3). Содержание аценафтена, не обнаруженного в выбросах шахты, в почвах и растениях было минимальным и практически не изменялось от фонового к загрязненному участку, что позволяет предположить природное происхождение данного соединения.

Несмотря на значительное превышение содержания ПАУ в угле шахты «Юнь-Яга», содержание ПАУ в почве участков, подверженных аэротехногенному воздействию, было примерно одинаково, значительное повышение содержания относительно шахты «Воркутинская» отмечено лишь для нафталина. Это, вероятно,



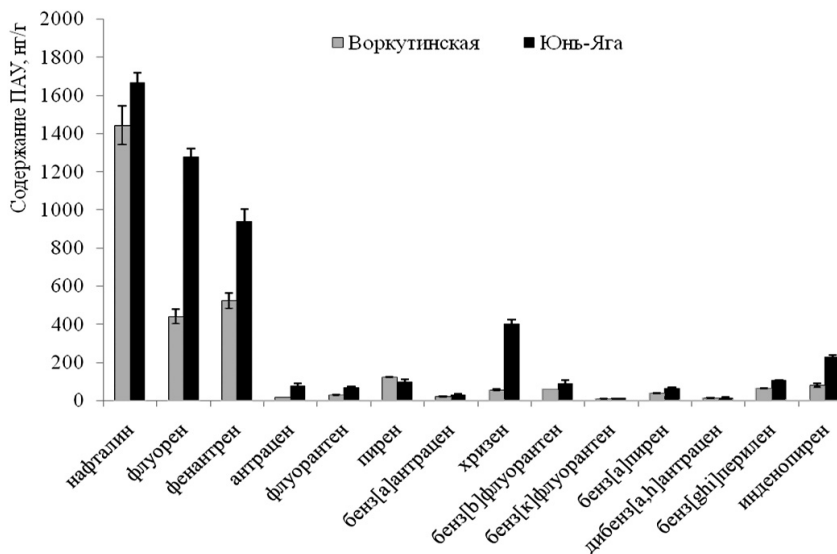


Рис. 1. Состав ПАУ угля шахт «Воркутинская» и «Юнь-Яга», нг/г.

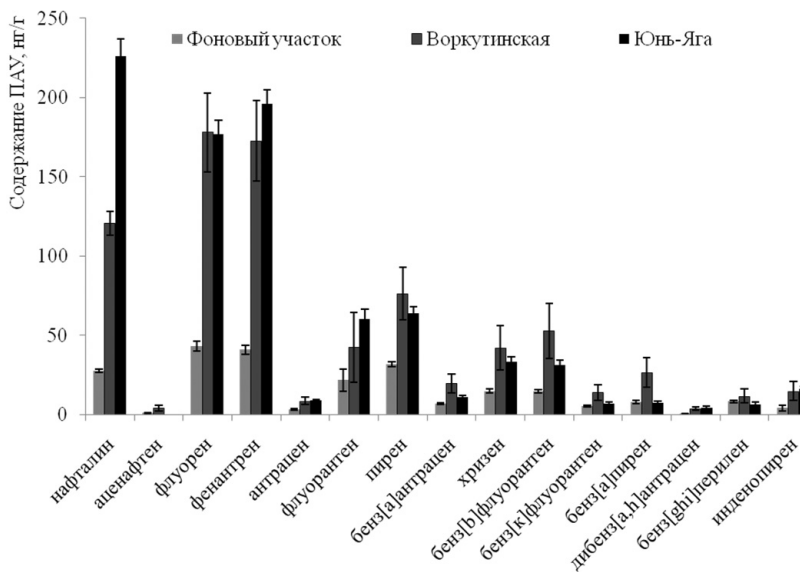


Рис. 2. Содержание ПАУ в почвах фонового и антропогенно загрязненных участков, нг/г.

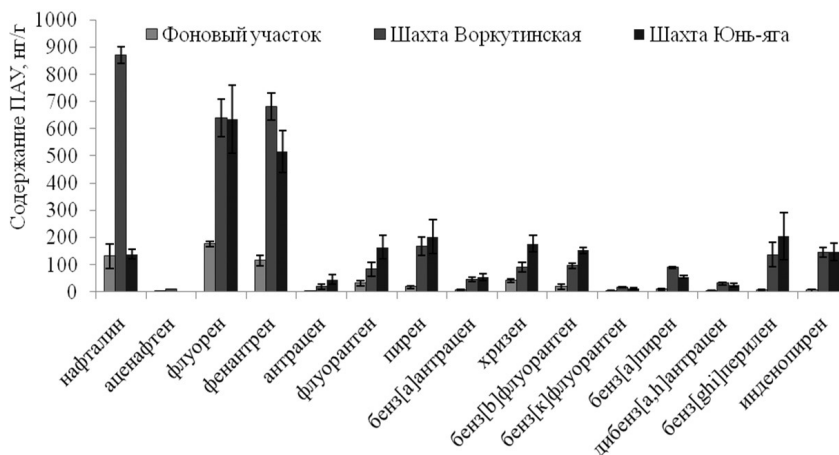


Рис. 3. Содержание различных структур ПАУ в *Pleurozium schreberi* на фоновом и загрязненных участках, нг/г.

связано с активностью эксплуатации исследованных шахт и близким расположением шахты «Воркутинская» к г. Воркута.

В составе ПАУ почв фоновых и загрязненных участков преобладали легкие полиарены (82-91%). Общее содержание полиаренов на загрязненных участках превышало фоновые значения в три-четыре раза (рис. 2). Наибольшие кратности превышения были отмечены как для легких полиаренов: нафталина, флуорена, фенантрена в четыре-восемь раз, так и для тяжелых ПАУ: бенз[а]пирена, бензо[б]флуорантена, дибенз[а,h]антрацена и инденопирена в два-девять раз. Именно эти полиарены преобладали в выбросах шахт. При значительно большем содержании нафталина, флуорена и фенантрена в угле – в 20 и более раз по сравнению с тяжелыми ПАУ – кратности превышения в почве перечисленных легких и тяжелых полиаренов примерно одинаковы. Такое явление может быть обусловлено высокой скоростью разложения легких полиаренов в почве (McKenna, 1976). Легкие ПАУ, поступившие с угольной пылью в почву, могли трансформироваться полностью, что снижало их содержание в почве.

ПАУ в исследуемых растениях фонового и техногенного участков также представлены преимущественно легкими структурами. Доля нафталина, флуорена и фенантрена от общей суммы ПАУ в растениях составляет 70-99% (рис. 3). В растениях фоновых участков содержатся значительные количества легких полиаренов. Высокое содержание ПАУ в растениях, вероятно, свя-

зано с тем, что легкие ПАУ являются необходимыми компонентами растений, участвующими в процессах обмена веществ (Ровинский и др., 1988). В условиях загрязнения для всех растений отмечалось повышение доли тяжелых ПАУ в общей сумме полиаренов на 1-13% по сравнению с фоновыми участками.

Следует подчеркнуть, что на фоновом участке наибольшее содержание ПАУ было отмечено в лишайнике *Cladonia gracilis* и травянистых растениях *Deschampsia caespitosa* и *Festuca ovina*. Отсутствие лишайников на загрязненном участке, по-видимому, обусловлено повышенными концентрациями полиаренов в окружающей среде. Травянистые растения характеризуются мощной корневой системой, что способствует поглощению полиаренов из почвы. Среди кустарничков наибольшие количества полиаренов обнаружены в *Vaccinium vitis-idaea*, наименьшие – в *V. uliginosum*. *V. vitis-idaea*, как вечнозеленое растение, могло накапливать полиарены из окружающей среды длительное время. Суммарное накопление полиаренов другими растениями нижнего яруса примерно одинаково и составляет 400-500 нг/г растения, при содержании ПАУ в почве – 230 нг/г. Наименьшим содержанием ПАУ отличаются растения верхнего яруса *Betula nana* и *Salix lanata*.

Суммарное содержание полиаренов в районах действия шахт открытого и закрытого типов примерно одинаково, что может быть связано с близкими содержаниями ПАУ в почве на данных участках. Наблюдалась тенденция к более высокому содержанию полиаренов в растениях, произраставших в районе шахты «Воркутинская». В целом для загрязненных участков характерно повышение содержания полиаренов в растениях по сравнению с фоновыми значениями. Наибольшим накоплением полиаренов отличаются мхи *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune* и травянистые растения *Pyrola rotundifolia*, *Deschampsia caespitosa*, *Festuca ovina*. Максимальные кратности превышения фоновых значений в три-пять раз характерны для *Pleurozium schreberi* и *Pyrola rotundifolia*. Хотя основную массовую ПАУ составляют легкие полиарены, повышение содержания ПАУ на загрязненных участках происходит в основном из-за роста содержания тяжелых ПАУ в растениях. Легкие полиарены могут образовываться в процессе жизнедеятельности растений. Тяжелые ПАУ в естественных условиях, при отсутствии загрязнения, содержатся в растениях в минимальных количествах.

Наибольшая массовая доля ПАУ (56-63%) в растениях южной кустарниковой тундровой зоны была идентифицирована в *Pleurozium schreberi*, который составлял основную фитомассу исследуемых площадок. Высоким накоплением полиаренов на всех

участках отличались *Betula nana* и *Salix lanata*, их доля в поглощении ПАУ от суммарного накопления составляет на фоновом участке 19%, на загрязненных – 23-31%. Из травянистых растений высоким накоплением полиаренов отличались *Deschampsia caespitosa* и *Festuca ovina*. Для загрязненного участка отмечен повышенный вклад в накопление ПАУ *Pyrola rotundifolia* и *Chamerion angustifolium*. На фоновом участке значительные количества ПАУ концентрируются в *Polytrichum commune*. Роль остальных растений в выносе ПАУ минимальна.

Загрязнение почв в районах угольных шахт приводит к угнетению растительности, снижению ее биомассы, обеднению видового состава. Все эти факторы приводили к снижению общего выноса полиаренов растениями на единицу площади, по сравнению с фоновым участком, при повышении уровня аккумуляции ПАУ растениями на единицу массы. Для фоновой участка суммарное содержание ПАУ в растениях в расчете на 1 м<sup>2</sup> в два раза ниже, чем запасы ПАУ в почве, для загрязненных – в шесть-восемь раз.

### **Выводы**

В почвах и растениях южной кустарниковой тундры были обнаружены 15 структур ПАУ: нафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бензо[к]флуорантен, бенз[а]пирен, бенз[ghi]перилен, бензо[b]флуорантен и дибенз[a,h]антрацен.

Основной вклад в суммарное содержание ПАУ в угле, органических горизонтах почв и растениях вносили низкомолекулярные полиарены. Доля нафталина, флуорена и пирена в исследованных объектах составляла 70-99%. Способ добычи угля не являлся определяющим фактором в изменении содержания полиаренов в почвах и растениях.

Суммарное содержание ПАУ в почвах загрязненных участков превышало фоновые значения в три-четыре раза. Для растений максимальные кратности превышения фоновых значений составляли три-пять раз и были выявлены для *Pleurozium schreberi* и *Pyrola rotundifolia*.

Наибольшие кратности превышения содержания ПАУ в почвах и растениях выявлены для тяжелых ПАУ, что связано с их минимальным содержанием на фоновых участках.

Наибольшая массовая доля ПАУ в растениях кустарниковой тундровой зоны была сосредоточена в *Pleurozium schreberi*. Его вклад в потребление ПАУ составлял 56-63% от суммарного накопления.

Загрязнение почв в районах угольных шахт приводит к снижению общего выноса полиаренов растениями на единицу площади, по сравнению с фоновым участком, при повышении уровня аккумуляции ПАУ растениями на единицу массы.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Клар Э.* Полициклические ароматические углеводороды. М.: Химия, 1971. Т. 1-2. 455 с.

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

*Jian Y., Wang L., Peter P.F., Yu H.T.* Photomutagenicity of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons from the US EPA priority pollutant list // *Mutat. Res.* 2004. Vol. 557. P. 99-108.

*McKenna J.R.D.* Heath Biodegradation of Polynuclear Aromatic Hydrocarbon Pollutants by Soil and Water Microorganisms // *Research Report.* 1976. № 113. P.32.

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

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЯСКИ МАЛОЙ (*LEMNA MINOR* L.)  
В РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

**И.С. Боднарь, Е.А. Юшкова**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [bodnar@ib.komisc.ru](mailto:bodnar@ib.komisc.ru)

В радиобиологии многие явления, процессы легче исследовать на простых растительных объектах (Гродзинский и др., 1984). Для растений намного проще индивидуальная дозиметрия, возможен достаточно точный анализ содержания макро- и микроэлементов, играющих значительную роль в регуляции процессов метаболизма. Наличие простых растительных тест-систем существенно упростили изучение последствий облучения. Для биотестирования качества вод при химическом и радиационном загрязнении используют как тест-объект ряску малую (Берестина и др., 2013). Она чувствительна к среде обитания, обладает высокой скоростью вегетативного размножения, вследствие гидрофильной эволюции эти растения крайней редукции всех органов, поэтому по простоте занимают первое место среди цветковых растений. Кроме того, ряска малая является космополитом, нетребовательна к условиям культивирования в лабораторных условиях.

Ряска малая (*Lemna minor*) – однодольное покрытосеменное растение семейства Рясковые (Lemnaceae). Вегетативное тело представлено специфическим листовидным органом – фрондом (щитком, листецом). Фронды собраны посредством гиалиновой нити, тонкого выроста мембраны, в колонии по две-пять особей. Проводящая система не развита, корни одиночные. Во фронде находится генеративный орган вегетативного размножения – меристематическая ткань. С правой и левой сторон фронда имеются карманы, из которых появляются дочерние особи.

Цель нашей работы – исследование радиобиологических реакций лабораторной культуры ряски малой на острое гамма-излучение.

Материалом для изучения послужили растения *Lemna minor*, собранные в водоемах окрестностей г. Сыктывкара.

Протестировано несколько вариантов обеззараживания ряски от бактерий и водорослей. Наиболее эффективна оказалась обработка 0.5% -ным гипохлоритом натрия в течение 2 мин. После обеззараживания растения промывали в дистиллированной воде и переносили в среду для культивирования.

Растения культивировали в среде Штейнберга. Культивирование проводили в климатической камере с микропроцессорным управлением и цветным жидкокристаллическим дисплеем KBWF 240 (Binder, Германия) при стандартных условиях: температура  $26 \pm 0.1$  °C, фотопериодичность 16 ч свет/8 ч темнота, 70%-ная влажность.

Колонии, состоящие из двух-четырех фрондов, брали из материнской культуры и переносили в тестовые емкости. Каждая экспериментальная емкость содержала 9-12 пластинок. Облучение проводили на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) на установке «Исследователь» ( $^{137}\text{Cs}$ ). Острое облучение осуществлялось в дозах 7, 14, 30, 60, 120 Гр. На 7, 14, 21, 30 день проведена оценка количественных и морфологических показателей. Вычислено изменение удельной скорости роста, мутабельность по уровню и характеру повреждения фрондов. Средняя удельная скорость роста (темп роста) рассчитывается как логарифметрическое увеличение темпа роста – количества фрондов для каждой параллели опытных и контрольных групп (Методы испытания..., 2011). Достоверность различий между скоростью роста в опыте и контроле определяли по критерию Стьюдента. Производили подсчет доли повреждений фрондов через месяц после облучения.

Первым этапом работы стало получение асептической культуры ряски. В водоемах вблизи г. Сыктывкара отобраны колонии ряски малой. Далее они были обработаны гипохлоритом натрия в различных концентрациях и разным временем воздействия. Обработывали следующим образом: брали образец загрязненного растения, отрезали корни. Затем интенсивно промывали в дистиллированной воде, после чего опускали в раствор гипохлорита натрия на 2 мин. Затем растения промывали дистиллированной водой, после чего переносили в чашки Петри с питательной средой. Выжившие растения использовались для посева новых культур. Перед экспериментом растения выдерживали на среде Штейнберга в течение 90 дней.



Облучение проводили в острых дозах. При действии острого  $\gamma$ -излучения на лабораторную популяцию ряски малой в дозах 7-120 Гр при подсчете количества фрондов через семь дней происходит снижение удельной скорости роста (рис. 1). Обнаружена прямая зависимость между дозой и удельной скоростью (темпом) роста популяции ( $r = -0.84$ ). В начальные сроки роста популяции (до восьми суток) удельная скорость роста популяции снижается линейно в зависимости от дозы  $\gamma$ -излучения.

Удельная скорость роста при дозах 60, 120 Гр через семь дней статистически достоверно ниже, чем в контроле ( $p \leq 0.05$ ). Средняя удельная скорость роста снижается при облучении в дозе 60 и 120 Гр в 1.3 и 3.1 раза соответственно по сравнению с контролем. Некротических клеток на седьмой день после облучения нет. Это согласуется с литературными данными, полученными при облучении многокоренника (*Spirodela polyrhiza*), при высоких дозах  $\gamma$ -излучения число выживших клеток велико через два-восемь дней, а выживаемость популяции уже практически равна 0 (Гродзинский и др., 1984). При увеличении дозы облучения выше порога создается ситуация с большим числом нежизнеспособных особей в популяции вследствие поражения и интенсивных процессов старения, которые уже не способны восстановить достаточно большую численность популяции даже за более длительное время размножения.

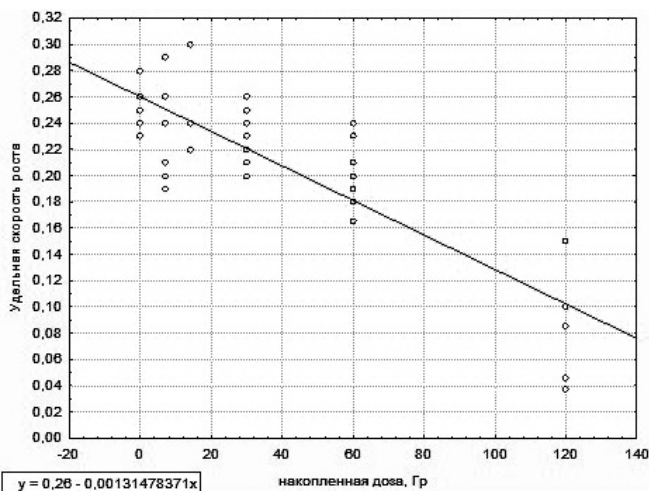


Рис. 1. Зависимость между накопленной дозой и удельной скоростью роста.

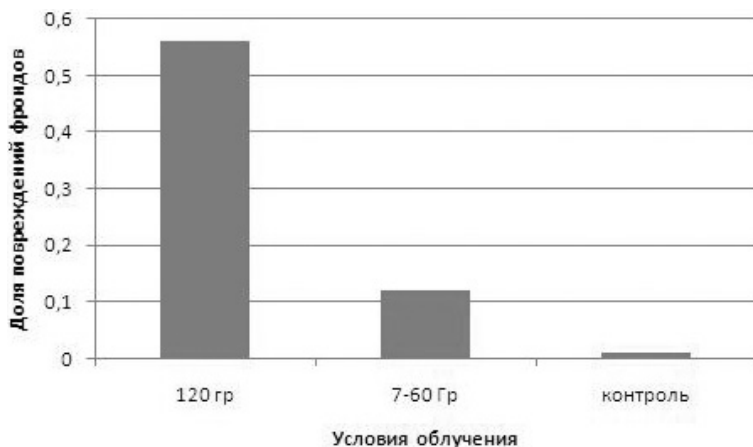


Рис. 2. Доля повреждений фрондов в зависимости от дозы  $\gamma$ -излучения.

Через месяц после облучения был произведен подсчет поврежденных фрондов, хлорозов и некрозов. Доля некротических фрондов в отдельных образцах, облученных в дозе 120 Гр, составляла 100%. Все фронды в чашках Петри стали одиночными вследствие повреждения гиалиновой нити. У растений, облученных в меньшей дозе, встречались повреждения фрондов только в виде хлорозов. Отмечается уменьшение площади фрондов по сравнению с контролем. Доля повреждений фрондов в зависимости от дозы представлена на рис. 2. Как видно из гистограммы, в контроле практически нет повреждений фрондов, при дозе 7-60 Гр доля повреждений фрондов незначительна, а в дозе 120 Гр повреждены более 50% фрондов.

Таким образом, полученная нами лабораторная культура ряски малой пригодна к использованию в радиоэкологических экспериментах. Воздействие острого  $\gamma$ -излучения приводит к снижению темпа роста ряски малой, сокращению площади фронда, увеличению доли повреждений фрондов.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта Уральского отделения РАН № 12-И-4-2006.

#### ЛИТЕРАТУРА

Берестина А.В., Рассказова М.М., Чиж Т.В. Использование *Letna minor* L. в качестве тест-объекта для оценки химического и радиационного загрязнения // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред: Матер. Междунар. конф. М., 2013. С. 22.

Гродзинский Д.М., Коломиец К.Д., Гудков И.Н. и др. Формирование радиобиологической реакции растений. Киев: Наука, 1984. 216 с.

Методы испытания химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста. М., 2011.

## ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ *URTICA DIOICA*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ПРОМЫШЛЕННО-ПРИРОДНОЙ ЗОНЕ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

О.М. Вахрушева

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [Nimf04ka@mail.ru](mailto:Nimf04ka@mail.ru)

Растения – необходимый и обязательный компонент любой экосистемы. Вследствие прикрепленного образа жизни растения постоянно подвергаются воздействию находящихся в окружающей среде поллютантов и характеризуют экологическую ситуацию в месте своего произрастания наилучшим образом. Находясь в основании пищевых цепочек, растения испытывают воздействие токсических агентов раньше, чем организмы более высоких трофических уровней. Растения обладают способностью эффективно концентрировать и преобразовывать в окружающей среде вещества, что увеличивает чувствительность и информативность их использования в целях контроля качества окружающей среды (Рейтова, Шевченко, 1991; Gratao et al., 2005).

Сообщества сосудистых растений, произрастающих в природно-промышленной зоне Кирово-Чепецкого химического комбината (КЧХК), подвергаются влиянию его производственной деятельности с 1938 г.

Цель данной работы – оценить жизнеспособность крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), произрастающей вблизи территории Кирово-Чепецкого химического комбината.

Использование именно этого вида обусловлено его повсеместной встречаемостью, существованием в широком диапазоне экологических условий, высокой семенной продуктивностью и длительной продолжительностью жизни.

Для исследования выбрали экспериментальные участки вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината с учетом рельефа местности и расположения основных источников загрязняющих веществ. Первый экспериментальный участок находится в 500 м от шламонакопителей Кирово-Чепецкого химического комбината, второй – в гривистой пойме р. Вятки на расстоянии 2.5 км к запа-

ду от химкомбината. Контрольный участок расположен на террасированном склоне Вятки в 40 км на северо-запад от КЧХК.

На исследуемых участках проводили геоботаническое описание и анализировали структуру доминирования растительных сообществ, а также для оценки жизнеспособности крапивы двудомной в августе-сентябре 2011 и 2012 гг. собирали семена растений по мере их созревания.

Для исследованной территории оценивали экологические показатели уровня радиоактивного ( $C_r$ ) и химического ( $C_m$ ) загрязнения почвенного покрова (Geras'kin et al., 2011). Для расчета показателей в образцах почв определяли концентрацию тяжелых металлов I и II классов опасности и удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Далее экспериментальные участки разделили на площадки по уровню загрязнения на три категории (на основе экологических показателей): слабо, средне, сильно загрязненные.

Семена проращивали в чашках Петри на влажном субстрате из прокаленного песка, 22-25 °С, в условиях комбинированной подсветки (80 000 люкс, 10 ч). Для полива использовали дистиллированную воду, поскольку в покоящихся семенах содержится достаточное для прорастания количество питательных веществ (Ермакова, 1990). В каждую чашку Петри помещали по 100 семян, всего проанализировано 300 семян с каждой площадки. Продолжительность экспериментов составляла 21 день.

Для характеристики жизнеспособности семян использовали показатели: всхожесть семян, энергия прорастания и выживаемость проростков. При определении всхожести семян учитывали проростки, корешок которых был равен двойной длине семени (Позолотина, 2003). Энергию прорастания определяли как число проросших семян в процентах от их общего количества на 10 день от начала эксперимента. Выживаемость растений рассчитывали в процентах от числа взятых в опыт семян на 21 день опыта.

Эксперименты по изучению жизнеспособности крапивы двудомной с территории вблизи КЧХК показали, что всхожесть семян со всех площадок с сильным уровнем загрязнения достоверно ниже контрольного уровня. Семена крапивы с площадок со слабым и средним уровнем загрязнения характеризуются более высокой всхожестью, но и она не превосходит контрольные значения (см. таблицу).

Энергия прорастания семян крапивы достоверно коррелирует со всхожестью ( $r = 0.674$ ,  $p < 0.01$ ). Этот показатель ниже у семян с экспериментальных участков по сравнению с наблюдаемым в контрольной ценопопуляции.

**Жизнеспособность семян крапивы двудомной,  
произрастающей на участках с разным уровнем загрязнения**

Исследуемые площадки	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Выживаемость, %	C <sub>m</sub>	C <sub>r</sub>
Контрольные	50±12.12	78±6.50	69±8.02	1	1
Слабо загрязненные	48±11.9	66.3±4.73	58±4.26	10	9
Средне загрязненные	34±8.75*	56.6±4.67*	51.6±6.21*	42	46
Сильно загрязненные	23.6±9.69*	46±5.88*	31.6±4.33*	274	369

\* Отличия от контроля достоверны при  $p < 0.05$ .

Всхожесть семян достоверно связана с общим уровнем радиоактивного ( $r = -0.66$ ,  $p < 0.01$ ) и химического ( $r = -0.77$ ,  $p < 0.01$ ) загрязнения почв, на которых произрастают экспериментальные ценопопуляции крапивы. Проверка пригодности различных регрессионных моделей показывает, что зависимость всхожести семян крапивы от уровня радиоактивного и химического загрязнения среды обитания наилучшим образом описывается экспоненциальной функцией, имеющей коэффициент детерминации  $R^2 = 0.80$  ( $p < 0.001$ ). Качество аппроксимации исследуемой зависимости линейной моделью оказалось ниже ( $R^2 = 0.60$ ,  $p < 0.01$ ), при том же числе степеней свободы.

При оценке техногенного воздействия на видовое разнообразие сообществ растений и при анализе структуры доминирования определили ведущие виды, в числе которых была крапива двудомная. По мере увеличения загрязнения доля крапивы возрастает с 10% на контрольных площадках до 45% – на экспериментальных. В условиях максимального загрязнения показатель достигает 80%, т.е. крапива из содоминантов переходит в группу доминантов. Возможно, это связано с тем, что при увеличении техногенного воздействия на данный вид растения происходит снижение его показателей жизнеспособности, слабые особи элиминируются из популяции на ранних стадиях онтогенеза, и, таким образом, на участках с высоким уровнем загрязнения почв остаются наиболее жизнеспособные особи, размножающиеся преимущественно вегетативно.

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

- крапива двудомная оказалась чувствительной к техногенному воздействию. Анализируемые факторы оказали достоверное влияние на жизнеспособность семенного потомства данного вида. Всхожесть, энергия прорастания и выживаемость проростков крапивы с экспериментальных участков были ниже контрольного уровня. Всхожесть зависела экспоненциально от уровня радиоактивного и химического загрязнения почв;

– однако сам вид оказался довольно пластичным и сумел приспособиться к условиям загрязнения за счет вегетативного размножения и сумел занять лидирующее положение в сообществах, практически вытеснив с участков другие виды растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Ермакова И.М.* Одуванчик лекарственный. Номенклатура и система. Положение // Биологическая флора Московской области / Под ред. В.Н. Павлова, Т.А. Работнова. М., 1990. Т. 8. С. 210-269.

*Позолотина В.Н.* Отдаленные последствия действия радиации на растения. Екатеринбург: Академкнига, 2003. 244 с.

*Реутова Н.В., Шевченко В.А.* О мутагенном влиянии двух различных соединений свинца // Генетика. 1991. Т. 27. № 7. С. 1275-1279.

*Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V.* Genotoxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of Allium-test // Chemosphere. 2011. Vol. 83. P. 1133-1146.

*Gratao P.L., Prasad M.N.V., Cardoso P.E., Lea P.J., Azevedo R.A.* Phytoremediation green technology for the clean up of toxic metals in the environment // Braz. J. Plant Physiol. 2005. Vol. 17. P. 53-64.

### КАЧЕСТВЕННЫЕ ОТЛИЧИЯ РЕАКЦИИ НОРМАЛЬНЫХ ФИБРОБЛАСТОВ ЧЕЛОВЕКА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ И ВЫСОКИХ ДОЗАХ

**И.О. Велегжанинов<sup>1</sup>, Д.М. Шадрин<sup>1</sup>, Ю.И. Пылина<sup>1</sup>, А.В. Пыстина<sup>1</sup>,  
О.А. Шосталь<sup>1</sup>, Е.С. Белых<sup>1</sup>, А.В. Канева<sup>1</sup>, О.В. Ермакова<sup>1</sup>, Д.Ю. Клоков<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> Radiological Protection Research and Instrumentation Branch,  
Chalk River Laboratories, Atomic Energy Canada Limited

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

Одной из актуальнейших задач современной радиобиологии является поиск механизмов специфических биологических эффектов ионизирующего излучения в малых дозах, таких как гиперрадиочувствительность, радиационный гормезис и адаптивный ответ. Существование данных феноменов не позволяет использовать линейную беспороговую модель для предсказания эффектов воздействия ионизирующего излучения в малых дозах путем экстраполяции эффектов высоких доз. Накопившиеся экспериментальные данные косвенно свидетельствуют о том, что причиной указанных эффектов на клеточном уровне стала количественная нелинейность дозовой зависимости реакции различных систем

стресс-ответа клетки, складывающаяся в качественные различия интегрального ответа на воздействие ионизирующего излучения в диапазонах малых и высоких доз (Ding et al., 2005; Franco et al., 2005; Nosel et al., 2013). Детальные механизмы формирования специфических биологических эффектов малых доз в большей мере остаются не выясненными.

Цель данной работы – проанализировать характер реакции систем стресс-ответа нормальных фибробластов человека на облучение в дозах от 1 до 200 сГр с высоким разрешением путем анализа экспрессии 22 радиационно-индуцируемых, транскрипционно-регулируемых генов, функционирующих в системах антиоксидантной защиты, репарации ДНК, контроля клеточного цикла и апоптоза с помощью qRT-PCR в семикратной повторности. Кроме того, методом ДНК-комет мы проанализировали уровень повреждения ДНК фибробластов через 1, 5 и 240 мин. после облучения в указанном диапазоне доз и оценили таким образом дозовую зависимость реакции репарации ДНК.

В результате проведенных исследований получено, что экспрессия шести из 22 выбранных нами генов не изменялась в ответ на облучение во всем диапазоне доз (гены репарации RAD52 и DDB2, гены контроля клеточного цикла PCNA и IER5, ген проапоптозного лиганда TNFSF10 и транскрипционного фактора EGR1). Для ряда генов наблюдалась линейная зависимость доза–экспрессия. Среди них ген репарации XPC ( $R^2 = 0.965$ ;  $p < 0.001$ ), ген контроля клеточного цикла CDKN1A ( $R^2 = 0.919$ ;  $p < 0.001$ ), транскрипционный фактор ATF3 ( $R^2 = 0.749$ ;  $p < 0.001$ ). Ген многофункционального белка GADD45A, преимущественно осуществляющего контроль клеточного цикла, а также ген ингибитора транскрипционного фактора p53 – белка MDM2 также характеризовались линейным приростом экспрессии при увеличении дозы облучения ( $R^2 = 0.728$ ;  $p < 0.05$  и  $R^2 = 0.857$ ;  $p < 0.001$  соответственно), но при этом их экспрессия воспроизводимо подавлялась при облучении в дозах 15 и 5 сГр соответственно.

При облучении нормальных фибробластов в малых дозах ряд генов реагировал снижением экспрессии (APEX, CCNG1, CCNG2, TXN, GSR, BBC3, VAX). При этом наиболее выраженное подавление наблюдалось для генов тиоредоксина, проапоптозного фактора BBC3 и циклинов. Снижение экспрессии циклинов G1 и G2 свидетельствует о высокой чувствительности системы контроля клеточного цикла на облучение в малых дозах и, вероятнее всего, является прямым результатом остановки некоторой доли клеток в контрольных точках клеточного цикла. Интересным наблюдением является снижение экспрессии проапоптозных факторов BBC3 и VAX,



а также сильное подавление экспрессии гена антиоксидантного белка тиоредоксина в ответ на облучение в малых дозах. Известно, что у фибробластов отсутствует радиационно-индуцированный апоптоз (Mirzayans et al., 2013), а представленные данные свидетельствуют о дополнительном подавлении апоптоза при действии ионизирующего излучения в малых дозах. При этом недавно обнаружено, что тиоредоксин, помимо своей основной функции, также является проапоптозным белком (Li et al., 2013).

В совокупности мы обнаружили, что различные транскрипционно-регулируемые гены стресс-ответа, даже функционирующие в рамках одной системы, характеризуются различными зависимостями доза–экспрессия (см. рисунок).

Кроме того, мы проанализировали уровень повреждения ДНК, детектируемых с помощью щелочной версии метода ДНК-комет, через 1, 5 и 240 мин. после облучения в указанном выше диапазоне доз. Показано, что уровень повреждения ДНК в первую минуту после облучения достоверно возрастал только после высоких доз. Через 5 мин. различий с контролем уже не наблюдалось, что свидетельствует о высокой скорости репарации поврежденных ДНК. Путем вычитания уровней повреждений, детектируемых через 240 мин. после облучения из уровней, наблюдаемых в

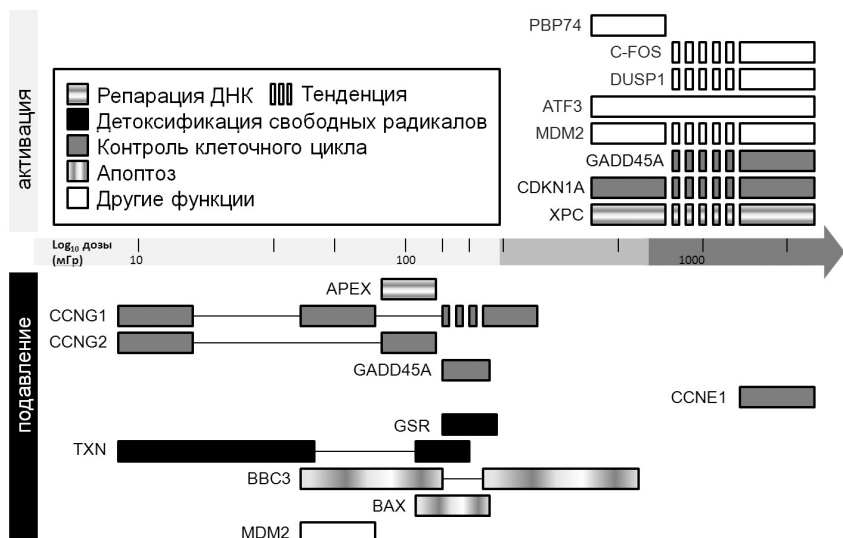


Схема радиационно-индуцированных изменений экспрессии генов стресс-ответа в нормальных фибробластах легких эмбриона человека при действии ионизирующего излучения в диапазоне от 1 до 200 сГр.

первую минуту, мы проанализировали величину индукции репарации ДНК в ответ на облучение. Обнаружено, что статистически значимая индукция репарации наблюдалась после облучения в дозах свыше 20 сГр, а также после 3 и 9 сГр, но не в промежуточных дозах. Через 240 мин. после облучения в дозах 12 и 15 сГр не отмечено даже тенденций к изменению уровня повреждений, относительно уровня в 1 мин., что говорит о нелинейном характере зависимости индукции репарации ДНК от дозы облучения.

Таким образом, показано, что различные системы стресс-ответа клетки, и даже отдельные элементы одной системы характеризуются различными, и преимущественно нелинейными зависимостями доза–реакция в диапазоне малых доз. Это может быть причиной качественных отличий реакции клеток на облучение в малых и высоких дозах.

#### ЛИТЕРАТУРА

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

*Franco N., Lamartine J., Frouin V. et al.* Low-dose exposure to gamma rays induces specific gene regulations in normal human keratinocytes // *Radiat. Res.* 2005. № 163. P. 623-635.

*Li H., Wan A., Xu G., Ye D.* Small changes huge impact: the role of thioredoxin 1 in the regulation of apoptosis by S-nitrosylation // *Acta Biochim. Biophys. Sin. (Shanghai)*. 2013. № 45. P. 153-161.

*Mirzayans R., Andrais B., Scott A. et al.* Ionizing Radiation-Induced Responses in Human Cells with Differing TP53 Status // *Int. J. Mol. Sci.* 2013. № 14. P. 22409-22435.

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

### ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

**А.В. Канева<sup>1</sup>, И.О. Велегжанинов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сыктывкарский государственный университет

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

E-mail: [canewa.anuta@yandex.ru](mailto:canewa.anuta@yandex.ru), [velio@yandex.ru](mailto:velio@yandex.ru)

Антропогенное загрязнение Земного шара в настоящее время приобрело глобальный характер и имеет тенденцию к расширению масштабов и спектра загрязняющих факторов. По совре-

менным данным, масса ежегодно поступающих загрязняющих веществ в окружающую среду увеличивается на 4% (Биологический контроль..., 2010). При этом на большей части загрязненных территорий биологические системы испытывают хроническое воздействие агентов химической и физической природы. Проблеме изучения влияния на биологические объекты малых доз как ионизирующих излучений, так и химических токсикантов посвящено большое число научных исследований. В то же время механизмы формирования таких специфических эффектов низкодозового воздействия, как гормезис, адаптивный ответ или гиперчувствительность, на всех уровнях структурно-функциональной организации окончательно не выяснены. Еще меньше экспериментальных данных о реакции биоты на хроническое действие генотоксических факторов и молекулярно-клеточных механизмах, определяющих устойчивое существование природных популяций растений и животных в условиях сильнейшего антропогенного давления на окружающую среду.

Цель нашего исследования – оценка уровня повреждений ДНК и скорости их репарации у дождевых червей семейства *Lumbricidae* из популяций, в течение многих поколений заселяющих территории с фоновым и техногенно повышенным содержанием в почвах тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) и тяжелых металлов (ТМ).

Выбранные 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 расположен на территории бывшего радиохимического завода в пойме рек Чуть и Ухта. Загрязнение участка обусловлено разливом высокоминерализованных пластовых вод с повышенным содержанием  $^{226}\text{Ra}$  и продуктами их переработки. Участок № 2 находится на территории необорудованного хранилища радиоактивных отходов на левом берегу р. Ухты. Загрязнение обусловлено складированием отходов производства радия из пластовых вод и отходов урановой промышленности. Контрольный участок находится на левом берегу р. Ухты в четырех километрах выше по течению от хранилища радиоактивных отходов. Концентрации радионуклидов и тяжелых металлов в почвах этой территории соответствуют региональным фоновым значениям (Beznosikov et al., 2007; Атлас почв Республики Коми, 2010). Основные характеристики участков приведены в таблице.

В качестве объекта исследования использовали половозрелых дождевых червей *Aporrectodea caliginosa* и *Lumbricus rubellus*.

### Основные характеристики экспериментальных участков

Показатель	Участок № 1	Участок № 2	Контроль
Мощность дозы внешнего облучения в воздухе, мкЗв/ч	0.14-5.41	2.47-10.5	0.08-0.12
Содержание $^{226}\text{Ra}$ , кБк/кг	1.03-2.26	1.81-16.46	0.01-0.06
$Z_c$ /степень опасности загрязнения	13.3 ± 5.8/ допустимый*	77.4 ± 18.8/ опасный	2.7 ± 2.5/ допустимый

Примечание:  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения почвы; \* обнаружены превышения допустимых значений концентрации отдельных металлов.

Генотоксическое воздействие присутствующих в почве исследуемых участков радионуклидов и тяжелых металлов, а также дополнительного острого  $\gamma$ -облучения оценивали по уровню повреждения ДНК в эпителиальных и мышечных клетках дождевых червей семейства *Lumbricidae* с помощью метода ДНК-комет. Щелочная и нейтральная версии метода позволяют определить уровни однонитевых разрывов/щелочно-лабильных сайтов и двунитевых разрывов соответственно. Суспензию эпителиальных и мышечных клеток получали путем измельчения первых пяти сегментов дождевого червя. Степень повреждения ДНК каждой особи определяли в трех технических повторностях, анализируя не менее 100 клеток на повторность. Визуализацию осуществляли с использованием микроскопа «Axioscop» (Carl Zeiss, Германия). Анализ изображений проводили в программе CometScore Pro в полуавтоматическом режиме (TriTek Corp, США). Уровень повреждения ДНК оценивали по показателю процент ДНК в «хвосте кометы». Для каждого препарата рассчитывали медиану распределения значений выбранного показателя. Индивидуальные характеристики для каждой особи, представляющие среднее трех медианных величин, использовали для статистического анализа. Выборки тестировали на наличие артефактов методом Граббса. Оценку достоверности различий осуществляли с помощью t-критерия Стьюдента.

Оценку скорости репарации ДНК проводили у червей *Aporrectodea caliginosa* из популяций, населяющих наиболее загрязненный (№ 2) и контрольный участки. Анализировали уровень однонитевых повреждений ДНК через 1, 5, 30, 60 и 240 мин. после дополнительного провокационного облучения в дозе 6 Гр (источник  $\gamma$ -излучения –  $^{137}\text{Cs}$ ).

Установлено, что уровни повреждений ДНК, регистрируемых как с помощью щелочной, так и нейтральной версий метода ДНК-комет у дождевых червей обоих видов, обитающих на техногенно загрязненных участках, не отличаются от таковых, наблюдаемых у животных с контрольного участка (рис. 1, 2).

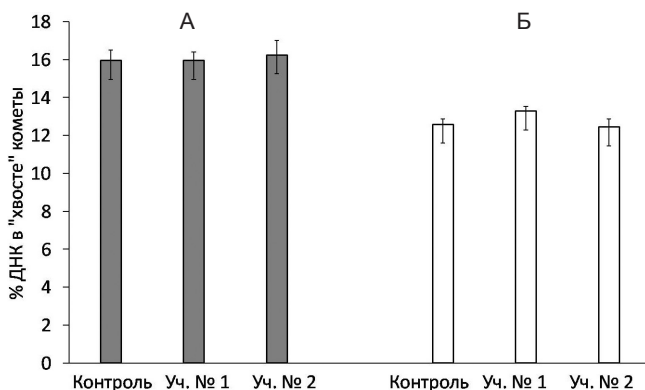


Рис. 1. Уровни одностранных (А) и двустранных (Б) повреждений ДНК дождевых червей *Aporrectodea caliginosa*, обитающих на участках с разным уровнем загрязнения почвы.

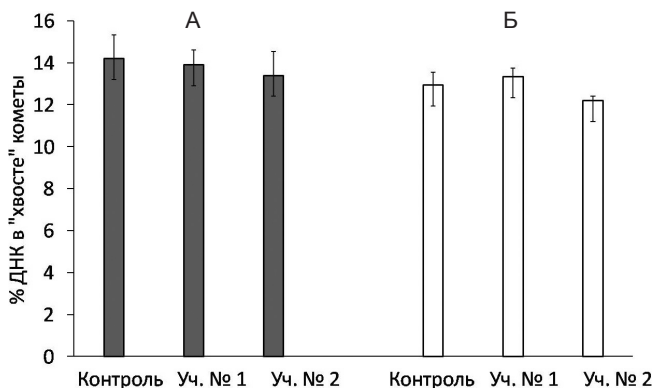


Рис. 2. Уровни одностранных (А) и двустранных (Б) повреждений ДНК дождевых червей *Lumbricus rubellus*, обитающих на участках с разным уровнем загрязнения почвы.

Это может свидетельствовать об адаптации популяции этих малоподвижных почвенных беспозвоночных к длительному существованию в условиях повышенного содержания ТМ и ТЕРН в почве. Подобные результаты были ранее получены для популяции грызунов *Ellobius talpinus*, ведущих оседлый образ жизни. Частота микроядер в клетках крови зверьков, обитающих вблизи пос. Муслюмово в условиях радиоактивного загрязнения почвы ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ), не отличалась от регистрируемой в контрольной популяции (Григоркина, 2010).

С помощью дополнительного острого облучения показано, что скорость репарации повреждений ДНК в клетках червей *Aporrectodea caliginosa*, обитающих на участке № 2, значительно выше, чем у червей из контрольной популяции (рис. 3).

Уже через 5 мин. после облучения уровень повреждения ДНК в клетках червей из популяции, обитающей в условиях техногенного загрязнения, снижался до спонтанного уровня. В клетках особей с контрольного участка завершение репарации повреждений ДНК, индуцированной дополнительным  $\gamma$ -облучением, наблюдали только через 60 мин. после воздействия.

Таким образом, уровень повреждений ДНК в популяциях дождевых червей семейства *Lumbricidae*, в течение многих поколений обитающих в почвах загрязненных ТМ и ТЕРН, не отличается от регистрируемого у особей с контрольного участка. Однако скорость репарации повреждений ДНК, индуцированных дополнительным облучением в дозе 6 Гр, оказалась выше у животных из популяции, населяющей техногенно загрязненный участок. Несмотря на то, что явление адаптивного ответа хорошо изучено в модельных экспериментах, полученные данные являются одним из единичных наблюдений (Mohammadi et al., 2006; Глазко, Глазко, 2012), свидетельствующих в пользу возможного наличия адаптивного ответа у животных из природных популяций, многие поколения обитающих в условиях генотоксического воздействия.

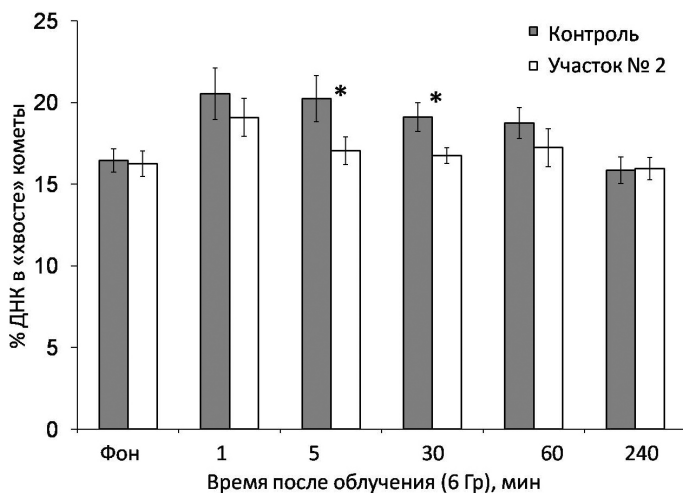


Рис. 3. Уровни однонитевых повреждений ДНК дождевых червей *Aporrectodea caliginosa* после облучения в дозе 6 Гр.

#### ЛИТЕРАТУРА

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

Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг: Учеб. пособие для студ. высш. проф. образования / С.А. Гераськин, Е.И. Сарапульцева, Л.В. Цаценко и др.; под ред. С.А. Гераськина и Е.И. Сарапульцевой. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 208 с.

Иевлев А.А. Водный промысел в Коми АССР – предтеча атомной промышленности Советского Союза // Военно-исторический журнал. 2011. № 2. С. 45-47.

Григоркина Е.Б. Эффекты малых доз: адаптивный ответ у грызунов (*Ellobius talpinus* Pall.), обитающих в среде, загрязненной радионуклидами // ДАН. 2010. Т. 430. № 4. С. 560-567.

Глазко В.И., Глазко Т.Т. Источники противоречий в оценке популяционно-генетических последствий чернобыльской аварии // *Acta Naturae*, 2012. Т. 4. № 4 (15). С. 76-92.

Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Kondratenok B.M. Assessment of background concentrations of heavy metals in soils of the northeastern part of European Russia // *Eurasian Soil Science*. 2007. Vol. 40. № 9. P. 949-955.

Mohammadi S., Taghavi-Dehaghani M., Gharaati M.R. et al. Adaptive response blood lymphocytes of inhabitants residing in high background radiation areas of Ramsar-Micronuclei, apoptosis and comet assays // *Journal of Radiation Research*. 2006. Vol. 47. P. 279-285.

### СРАВНЕНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКОГО И ГЕНОТОКСИЧЕСКОГО ЭФФЕКТОВ $\alpha$ -ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛУТОНИЯ-239 И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА В ALLIUM [СЕРА] TEST

А.В. Романовский<sup>1</sup>, Д.С. Песня<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

<sup>2</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

E-mail: [bolo-kant@rambler.ru](mailto:bolo-kant@rambler.ru)

Продолжая использовать все доступные частоты электромагнитного спектра, можно невольно забыть, что не все частоты одинаково полезны для здоровья, и что если ИК-лампа способна помочь в медицине и делает это очень успешно много десятилетий (в своем диапазоне частот), то полезность постоянного воздействия высокочастотного электромагнитного излучения, в том числе на голову (мозг) и половую систему (яичники и яички) – предмет спорный и активно обсуждаемый в современном обществе (с переменным успехом в сторону вреда для здоровья) (Diem, 2005; Avendano, 2012).



Цель работы – сравнить цито- и генотоксические эффекты  $\alpha$ -частиц плутония-239 и электромагнитного излучения сотового телефона на примере модели Sony Ericsson K550i.

Для анализа генотоксических эффектов использовался Allium [sepa] test, луковицы *Allium sepa* L. сорта Штутгартен-Ризен (Fiskejio, 1985). Согласно статистическим рекомендациям по проведению Allium test, в эксперименте было использовано пять групп луковиц (по шесть луковиц в каждой): негативный контроль (на дистиллированной воде), позитивный контроль К+ (экспозиция 20 мин. образца плутония-239). Стандартный источник  $\alpha$ -частиц представляет собой стальной диск с нанесенным на него слоем активного плутония-239 (Радиевый институт им. В.Г. Хлопина). Средний уровень плотности потока от поверхности плутония-239 стандартного источника  $\alpha$ -излучения составил  $164.8 \pm 0.45$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> (усредненные данные трех измерений и ошибка среднего). Группа непророщенных луковиц помещалась на поверхность диска плутония-239 на 20 мин. (позитивный контроль К+). После облучения данные луковицы проращивались в дистиллированной воде. Три группы луковиц экспонировались мобильным телефоном: шам-контроль – девятичасовая экспозиция выключенного телефона (три дня по 3 ч в день), 3 ч (три дня по 1 ч в день) и 9 ч (три дня по 3 ч в день) в режиме связи. Объектом выступал телефон Sony Ericsson K550i с уровнем SAR 1.4 W/kg. Шесть луковиц были помещены на расстояние 1.5 см от мобильного телефона. Их корешки подвергались облучению сигналом, модулированным голосом с задействованием сотовой радиосвязи. Уровень фоновой плотности потока энергии на месте проведения эксперимента составил  $0.05 \pm 0.01$   $\mu$ W/см<sup>2</sup> (измеритель радиочастотного излучения ПЗ-31). Эксперимент продолжался три дня. В каждой группе было шесть повторностей. От каждой из шести луковиц для микроскопического анализа брали по три корешка (18 меристем на каждую группу / всего проанализировано 90 меристем). На препаратах исследовались митотический индекс – МІ, частота митотических нарушений, хромосомных aberrаций – ХА, и микроядер.

Все результаты представлены в таблице и на рисунке.

В группах К- и шам-контроля зафиксировано минимальное значение МІ (~9.5%), отмечены митотические нарушения: отставания и слипания хромосом (~0.55%). Частота ХА (мосты и фрагменты) в группе К- и шам-контроля составила  $0.81 \pm 0.16$  и  $0.83 \pm 0.14$ % соответственно, а доля микроядер на 3 тыс. клеток – 0.01%.

Трехчасовая экспозиция радиоизлучения способствовала значительному увеличению МІ, в сравнении с контролем, т.е. прояв-

Сводная таблица по МI, митотическим нарушениям, частоте ХА и встречаемости микроядер

Группа	МI, %	Митотические нарушения, % на 1 тыс. митозов			Хромосомные aberrации, % на 100 ана-телофаз			Микроядра, % на 3 тыс. клет-ток
		Слипания	Отставания	Всего	Мосты	Фрагменты	Всего	
Негативный К-	9.08±0.27	0.02±0.01	0.04±0.01	0.06±0.01	0.33±0.09	0.47±0.12	0.81±0.16	0.010±0.003
Шам-контроль	9.05±0.19	0.02±0.01	0.03±0.01	0.05±0.01	0.44±0.10	0.39±0.09	0.83±0.14	0.010±0.003
3 часа	11.62±0.30 <sup>а</sup>	0.11±0.03 <sup>аб</sup>	0.25±0.03 <sup>вб</sup>	0.36±0.03 <sup>а</sup>	1.89±0.42 <sup>а</sup>	1.25±0.21 <sup>вб</sup>	3.14±0.50 <sup>аб</sup>	0.056±0.012 <sup>аб</sup>
9 часов	12.49±0.17 <sup>а</sup>	0.40±0.03 <sup>абс</sup>	0.53±0.04 <sup>абс</sup>	0.94±0.04 <sup>абс</sup>	3.86±0.30 <sup>абс</sup>	2.14±0.16 <sup>абс</sup>	6.00±0.32 <sup>абс</sup>	0.144±0.010 <sup>абс</sup>
Позитивный К+	12.12±0.37 <sup>а</sup>	0.25±0.04 <sup>а</sup>	0.10±0.02 <sup>а</sup>	0.36±0.04 <sup>а</sup>	1.78±0.26 <sup>а</sup>	6.22±0.77 <sup>а</sup>	8.00±0.80 <sup>а</sup>	0.229±0.032 <sup>а</sup>

Примечание: различия в значениях митотического индекса, частоте хромосомных aberrаций, микроядер и митотических нарушений между опытными и контрольными группами рассчитывались с использованием независимого t-test. При p<0.05 различия считались достоверными: от негативного контроля (\*), от шам-контроля (а), от позитивного контроля (б), между трех- и девятичасовой группами (с).

ление митозстимулирующего эффекта. Отмечены митотические нарушения, причем процент слипаний был минимальным (0.11%), а отставания превышали по уровню таковой в К+ (0.11%). В сумме по митотическим нарушениям значения трехчасовой экспозиции превышали таковой уровень у группы позитивного контроля и составили 0.25%. Уровень ХА был незначительным по отношению к другим группам и значительно выше, чем в контроле и шам-контроле: минимальное количество мостов (1.9%) и фрагментов (1.25%), составивших в сумме 3.14%.

Девятичасовая экспозиция значительно увеличивала МI в сравнении с К- – митозстимулирующего эффекта. Отмечены митотические нарушения, причем процент слипаний (0.4%) и отставаний (0.53%) оказался максимальным и в сумме составил 0.53%. Закономерное большее количество ХА (6%), чем при трехчасовой экспозиции (3.14%), при этом доля мостов составляет 1.9%, а фрагментов 1.25%. Также можно отметить, что девятичасовая экспозиция индуцировала наибольшее количество мостов.

Плутоний-239 индуцировал значительное увеличение МI, в сравнении с К-, т.е. проявлял митозстимулирующий эффект. Отмечены митотические нарушения, количественно занимающая промежуточную и минимальную позиции по количеству слипаний (0.25%) и отставаний (0.1%) соответственно, в сумме составив 0.36%, что соответствует трехчасовой экспозиции мобильным телефоном. Максимальное количество ХА – 8%, при том, что доля мостов меньше такого у

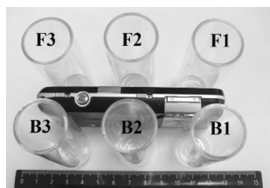


Схема расположения стаканчиков вокруг мобильного телефона с замерами потока энергии электромагнитного излучения.

Данные по значениям плотности потока энергии электромагнитного излучения сотового телефона Sony Ericsson K 550i у разных сторон телефона. Представлены средние значения семи измерений  $\pm$ SD.

Передняя стенка	Часть						Задняя стенка
	F1 Верхняя	F2 Средняя	F3 Нижняя	B1 Верхняя	B2 Средняя	B3 Нижняя	
	8.41 $\pm$ 1.32	12.10 $\pm$ 1.29	5.25 $\pm$ 0.91	4.79 $\pm$ 0.77	6.20 $\pm$ 0.81	4.04 $\pm$ 0.52	
Плотность потока энергии ( $\mu$ W/cm <sup>2</sup> )							

трехчасовой экспозиции, а доля фрагментов максимальна по группам (6.22%).

Ситуация, когда митотический индекс значительно выше, чем в группе контроля, может косвенно указывать на повреждение клеток, ведущее к нарушению клеточной пролиферации и даже к малигнантной трансформации (Leme, 2009). Поэтому не ясно следует ли считать данный эффект положительным или вредным для организма. Эффект радиостимуляции слабыми и средними дозами ионизирующей радиации на растения был впервые описан Тимофеевым-Ресовским, а также другими радиобиологами. В работах отмечается, что эффект стимуляции митоза следует всегда на фоне значительного увеличения цитогенетических повреждений, таких как хромосомные аберрации.

Экспозиция излучением сотового телефона по 3 и 9 ч, а также обработка плутонием-239 статистически значимо повышала частоту мостов, фрагментов и микроядер в корневых меристемах *A. cerea*. Радиация индуцировала значительное увеличение частоты ХА в целом, а также фрагментов и микроядер в частности.

Особый способ образования микроядер путем отпочковывания от интерфазного ядра (почкующиеся ядра) был зарегистрирован после экспозиции излучением сотового телефона и плутония-239. Хорошо известно, что микроядра как правило образуются из ацентрических хромосомных или хроматидных фрагментов, а также целыми хромосомами или хроматидами, которые отстали в анафазу (Fenech, 2000). Кроме того, микроядра могут образовываться путем почкования интерфазного ядра (Lindberg, 2007).

Это исследование подтверждает другое сообщение, что излучение телефона может индуцировать митотические и хромосомные аберрации в растительных клетках (Ткалес, 2009). В нашем случае показано, что неионизирующее излучение сотового телефона обладает более выраженным анеугенным эффектом, по срав-

нению с ионизирующим  $\alpha$ -излучением. Кроме того, обнаружены другие типы цитогенетических нарушений (микроядра, полиплоидии, трехгрупповые метафазы, амитозы, почкующиеся ядра и другие аберрации митоза).

Итак, радиоизлучение средств подвижной радиосвязи и  $\alpha$ -излучение значительно увеличивают митотический индекс в клетках меристем *A. cepa*.

Радиоизлучение мобильного телефона и  $\alpha$ -излучение проявляют кластогенный и анеугенный эффекты. Причем у радиоизлучения более выражен анеугенный эффект (частота проявления митотических нарушений), а у радиации – кластогенное действие (частота проявления хромосомных аберраций).

Продолжительность воздействия радиоизлучения статистически значимо увеличивает митотический индекс, частоту митотических и хромосомных аберраций и микроядер.

Девять часов радиосвязи оказывается достаточно для регистрации полиплоидных клеток, трехгрупповых метафаз, амитозов и других цитогенетических нарушений, не обнаруженных в других опытных группах.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Avendano C., Mata A., Sanchez Sarmiento C.A., Doncel G.F.* Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation // *Fertil. Steril.* 2012. Vol. 97. № 1. P. 39-45.

*Diem E., Schwarz C., Adlkofer F., Jahn O., Rüdiger H.* Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation in human fibroblasts and in GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro // *Mutation Research.* 2005. № 2. P. 178-183.

*Fenech M.* The in vitro micronucleus technique // *Mutation Research.* 2000. Vol. 455. P. 81-95.

*Fiskesjo G.* The Allium test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas.* 1985. № 102. P. 99-112.

*Leme D.M., Marine-Morels M.A.* Allium cepa test in environmental monitoring: a review on its applications // *Mutation Research.* 2009 Vol. 682. P. 71-81.

*Lindberg H.K., Wang X., Jarventaus H., Falcka G. C.-M., Norppa H., Fenech M.* Origin of nuclear buds and micronuclei in normal and folate-deprived human lymphocytes // *Mutation Research.* 2007. Vol. 617. P. 33-45.

*Tkalec M., Malarić K., Pavlica M., Pevalek-Kozlina B., Vidaković-Cifrek Z.* Effects of radiofrequency electromagnetic fields on germination and root meristem of *Allium cepa* L. // *Mutation Research.* 2009. Vol. 672. № 2. P. 76-81.

## ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

А.В. Романовский<sup>1</sup>, Д.С. Песня<sup>2</sup><sup>1</sup>Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова<sup>2</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАНE-mail: [bolo-kant@rambler.ru](mailto:bolo-kant@rambler.ru)

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden., сем. *Ariaceae*) является активным инвазивным видом в Европе, как и некоторые его сородичи (борщевик Мантегации (*H. mantegazzianum* Manden.) и персидский (*H. persicum* Manden.)). Среди последствий отмечаются: негативное воздействие на биоразнообразие, разрушение естественных экосистем, экономический ущерб, опасность для здоровья. Имеющиеся методы борьбы затратные по времени и ресурсам (каждое растение обрабатывается отдельно или необходима техника для вспашки в определенные временные периоды в течение нескольких лет), в то время как более дешевые способы, например выжигание, не милосердны к естественным ценозам на обрабатываемом участке (Nielsen, 2005).

Основную опасность представляет сок растения. Это водянистая жидкость, которая содержит фотосенсибилизирующие соединения фуранокумарины, способные вызывать ожоги на коже и не только (Nielsen, 2005). Кроме того, экстракты других борщевиков проявляют токсический эффект без фотоактивации (Mosham, 2009) и мутагенного эффекта (Bogucka-Kocka, 2004), а исследования их потенциальной опасности единичны.

Цель работы – изучение токсического и цитогенетического (митоз модифицирующего и мутагенного) действия борщевика Сосновского.

Для изучения действия *H. sosnowskyi* был выбран *Allium* [сера] test, который рекомендован экспертами ВОЗ как стандарт в цитогенетическом мониторинге окружающей среды. Объектом является меристема проростков корешков лука посевного – *Allium cepa* сорта Штутгартен-Ризен. Преимущества теста: экономичность, регистрация всех типов генетических повреждений, выявление мутагенов и промутагенов (Fiskesjo, 1985; Прохорова, 2008).

Материалом для исследования стали черешки и листья *H. sosnowskyi*. Растения собраны с заброшенных полей Ярославской области Некрасовского района, в окрестностях пос. Бурмакино. Сок извлекали прессованием, разбавляли дистиллированной водой (1:2) для получения водного экстракта. Исходный экстракт имел pH 7.0. Экстракт разбавляли дистиллированной водой (pH 6.7) для получения различных концентраций 30, 10, 5, 1, 0.5 и 0.1%.

Луковицы *A. sera* высаживали в стаканчики на 25 мл. Было поставлено семь вариантов опытов в зависимости от концентрации экстракта, все в пяти повторностях (Barberrio, 2011). Луковицы проращивали четыре дня при искусственном освещении, которое не содержало УФ. Затем у каждой луковицы срезали корни под основание донца.

Для оценки токсического действия определяли длину корней как краткосрочный скрининг-тест (Fiskesjo, 1985). Измерено 509 корешков. Определялось среднее арифметическое ( $X$ ) и ошибка среднего ( $m$ ) для варианта опыта. Для цитогенетического анализа готовили препараты давленных корневых меристем согласно методике (Прохорова, 2008; Barberrio, 2011). В опытных образцах отмечались корни с таким изгибом, что их апикальная часть начинала выходить из воды и в итоге засыхала, что объясняется токсичностью некоторых соединений.

Показателем митозмодифицирующего действия фактора является митотический индекс (МИ, %). В ходе анализа под микроскопом просматривали около 700-800 клеток. На тех же препаратах одновременно анализировали продолжительность каждой фазы митоза и определяли фазные индексы, %: ПИ – профазный индекс; МИ – метафазный; АИ – анафазный; ТИ – телофазный (Прохорова, 2008). Проводили сравнение долей различных фаз в контрольном и опытных вариантах.

Мутагенное действие определяли с использованием ана-телофазного анализа, который позволяет изучать частоту мутаций путем учета суммы хромосомных aberrаций (ХА) и отставаний хромосом (отс.) на стадиях анафазы и телофазы к общей сумме ана-телофаз на препарате ( $\Sigma\text{отс.} + \text{ХА}$ , %) (Прохорова, 2008).

Степень мутагенного эффекта оценивали по ВМЭ (выраженности мутагенного эффекта) – определяется как кратность превышения процента индуцированных мутаций над контрольным значением (спонтанным уровнем) и выражается в баллах, которые ранжировали по уровням.

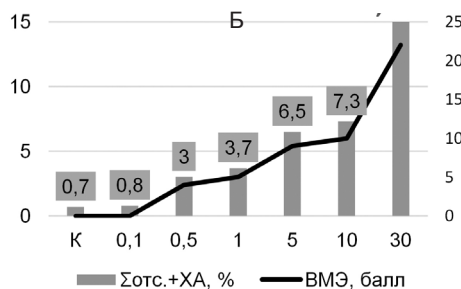
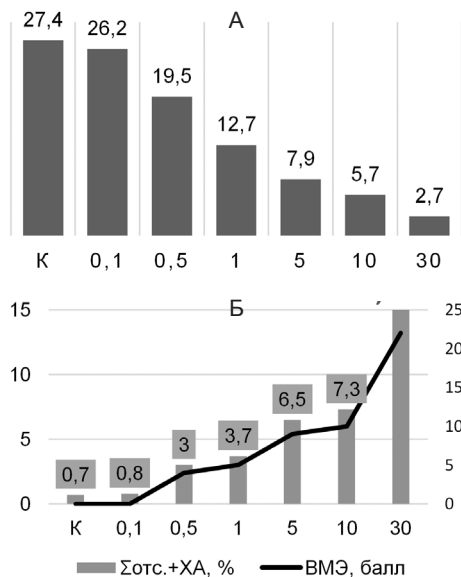
0.1% – частота хромосомных aberrаций и отставаний не отличалась от контрольного уровня. При концентрациях (0.1-0.5%) водного экстракта *H. sosnowskyi* доля профаз достаточно большая и не отличается от контрольного уровня, а другие фазные индексы не претерпевают значительных изменений. Следовательно, ингибирование корневого прироста у *A. sera* при низких концентрациях вызвано не угнетением митотической активности клеток, а другими причинами, например, апоптозом.

0.5% – в сравнении с контрольным уровнем достоверный токсический эффект регистрируется с 0.5%-ной концентрации. От-

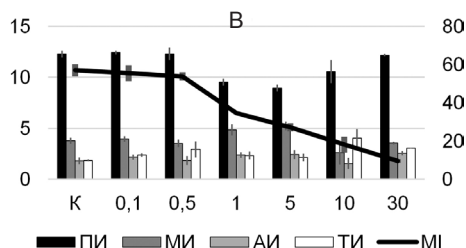
мечается достоверный мутагенный эффект (выше контрольного в четыре раза – слабый уровень мутагенного эффекта (МЭ). С этого момента прирост корешков начинает уменьшаться, что, вероятно, вызвано апоптозом.

1-5% – достоверный митотоксический эффект начинается с концентрации 1% и далее концентрации. При этом доля клеток, которые находятся в митозе, резко падает. При концентрациях (1-5%) мутагенный эффект превышает контрольный уровень в 5-9 раз (средний уровень МЭ); происходит резкое падение ПИ, что означает угнетение митотической активности. При средних концентрациях повышается МИ, что может быть вызвано действием фактора на веретено деления. Угнетение прироста корешков может объясняться апоптозом и угнетением деления клеток.

10-30% – при высоких концентрациях (10-30%) наблюдается повышение доли клеток, вступивших в профазу (ПИ растёт), а также регистрируется максимальный митотоксический эффект. Видимо, деление вошедших в митоз клеток останавливается на стадии профазы, и поэтому число зарегистрированных профаз соответствует контрольному уровню, а клетки, прошедшие стадию профазы, останавливаются в телофазе, чему соответствует повышение доли телофаз. Достигну-



Графики ростовых и генетико-токсикологических показателей, выявленных в тест-системе Allium test экстрактом соков борщевика Соновского. А – средняя длина корней, мм; Б – мутагенный эффект, % (по главной оси – сумма отставаний и ХА, по вспомогательной – ВМУ); В – митотический и фазный индексы, % (по главной оси – МИ, по вспомогательной – остальные индексы).





Сводная таблица ростовых и генетико-токсикологических показателей

Концентрация, %	Средняя длина, мм	Σотс.+ХА, %	ВМЭ, балл	Уровень МЭ	М1, %	ПИ, %	МИ, %	АИ, %	ТИ, %
К	27.4±1.4	0.7±0.6	0	Нет	10.7±0.6	65.5±1.8	20.2±1.6	9.6±1.8	9.9±0.5
0.1	26.2±1.2	0.8±0.4	0		10.4±0.8	66.3±1.0	21.1±1.5	11.5±1.4	12.7±0.9*
0.5	19.5±1.0*	3.0±0.6*	4	Слабый	10.1±0.4	65.6±3.2	18.8±1.9	9.8±2.3	15.6±4.2
1	12.7±0.5*	3.7±0.4*	5	Средний	6.5±0.1*	50.9±1.7*	25.8±2.9	12.7±1.5	12.4±2.0
5	7.9±0.2*	6.5±1.4*	9		5.1±0.4*	47.7±1.7*	27.9±2.3*	12.9±2.4	11.4±2.0
10	5.7±0.2*	7.3±3.0*	10	Сильный	3.4±0.8*	56.3±6.1	13.9±6.2	8.2±2.9	21.6±4.6*
30	2.7±0.2*	15.2±1.3*	22		1.8±0.2*	64.9±0.6	18.9±0.7	13.6±1.0	16.2±0.1*

Примечание: обработку проводили в программном пакете «Statistica» (t-test и ANOVA). За уровень значимых принимали значения при  $p < 0.05$  (\*).

ты максимальный мутагенный эффект (превышение в 10-22 раза) и минимальный прирост корешков, они темнеют и гибнут.

Фазные индексы свидетельствуют о том, что фактор нарушает процессы, которые происходят в интерфазу, при подготовке клетки к делению (синтез белка, репликация ДНК и т.д.). Степень нарушений такова, что клетка не вступает в митоз. Изменения в клетках, вступивших в митоз, определяют уже иной активностью фактора.

Среди хромосомных нарушений подавляющее большинство составляют отставания хромосом, что свидетельствует о повреждениях веретена деления или в прицентромерной области хромосом.

А.П. Дубровин также регистрировал угнетение роста корней у других растений: огурцов, кукурузы и кабачков, семена которых проращивал на водной вытяжке из семян *H. sosnowskiyi* (Дубровин, 2009). Это позволяет предполагать, что различные органы *H. sosnowskiyi* выделяют в среду физиологически активные вещества – колины, оказывающие регулирующее действие (в данном случае угнетающее) на рост и развитие других растений.

Итак, водный экстракт борщевика Сосновского угнетает прирост корешков у *A. cerea*. Степень угнетения прямо пропорциональна дозе, достигая 90% для 30%-ного разбавленного раствора водного экстракта борщевика Сосновского, т.е. обладает токсической активностью.

Водный экстракт борщевика Сосновского угнетает митотическую активность корневых меристем *A. cerea*. Степень угнетения зависит от дозы и

достигает 83% для 30%-ного раствора. Следовательно, водный экстракт борщевика Сосновского обладает митотоксичностью.

Митотоксический эффект связан как с индукцией апоптоза и гибелью клеток, так и с угнетением деления клеток, которое происходит из-за нарушений в интерфазу, при подготовке клетки к делению.

Водный экстракт борщевика Сосновского, разбавленный до 30%, вызывает хромосомные мутации и увеличивает частоту хромосомных аберраций и отставаний, которая превышает контрольный уровень до 22 раз. Уровень мутагенного эффекта классифицируется как сильный. Следовательно, водный экстракт борщевика Сосновского обладает мутагенной активностью. Степень мутагенного эффекта прямо пропорциональна дозе.

Allium test остается актуальным для оценки токсического, митозмодифицирующего и мутагенного потенциалов растительных организмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Дубровин А.П. Биотестирование активности водорастворимых веществ, содержащихся в плодах *Heracleum Sosnowskyi Manden* // Вестник Московского областного университета. 2009. № 1. С. 56-59.

Прохорова И.М., Ковалева М.И., Фомичева А.Н., Бабаназарова О.В. Пространственная и временная динамика мутагенной активности воды озера Неро // Биология внутренних вод. М.: Наука, 2008. 59 с.

Barberrio A., Voltolini J.C., Mello M.L.S. Standardization of bulb and root sample sizes for the Allium test // Ecotoxicology. 2011. Vol. 20. P. 927-935.

Bogucka-Kocka A., Rulka Ja., Kocki Ja., Kubis P., Buzala E. Bergapten of *Heracleum sibiricum* apoptosis induction in blood lymphocytes of cattle // Bull. Vet. Inst. Pulawy. 2004. Vol. 48. P. 99-103.

Fiskesjo G. The Allium test as a standard in environmental monitoring // Hereditas. 1985. Vol. 102. P. 99-112.

Mosham M. H., Sharififar F., Dehghana G.-R., Ameri A. Bioassay screening of the various extracts of fruits of *Heracleum Persicum* desf. using brine shrimp cytotoxicity assay // Iranian J. of Pharmac. Res. 2009. Vol. 8. № 1. P. 59-63.

Nielsen C., Ravn H.P., Nentwig W., Wade M. The Giant Hogweed Best Practice Manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe // Forest & Landscape. Denmark: Hoersholm, 2005. 44 p.

## ВЛИЯНИЕ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

И.А. Соловьев, Е.В. Добровольская, Е.Н. Плюснина, А.А. Москалев  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Сыктывкарский государственный университет  
Московский физико-технический институт  
E-mail: [demonicisoloman@mail.ru](mailto:demonicisoloman@mail.ru)

Процесс старения ассоциирован с изменениями уровня экспрессии различных генов (McCarroll et al., 2004). Исключением не являются и гены циркадных ритмов, которые образуют систему молекулярных «часов» организма, генерирующую посредством эпигенетических модификаций периодические колебания экспрессии прочих генов, ответственных, например, за поддержание ритмичности метаболизма или формирование своевременных поведенческих реакций в сенильном периоде, а также при наличии различных патологий у многих видов наблюдаются нарушения этих функций (Archer, 2014).

Цель данной работы – изучить влияние мифепристон-индуцированной кондиционной сверхэкспрессии генов циркадных ритмов на продолжительность жизни особей *Drosophila*.

Несмотря на невысокую степень гомологичности молекулярных компонентов циркадных часов у представителей различных крупных таксонов, принципы генерирования ритма и архитектура систем весьма схожи, что само по себе при учете всех особенностей допускает возможность проведения процедуры экстраполяции результатов исследований, безусловно, с некоторыми поправками (Reddy et al., 2014).

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)*. Впоследствии *per* и *tim* формируют гетеродимеры, которые осуществляют репрессию *CLK-CYC* и, соответственно, свою собственную. В другой петле отрицательной обратной связи комплекс *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 реп. Продукт гена *Clk* является гистонацетилтрансферазой, но ацети-

лирует «соседа» по K537, а вовсе не гистоны, что само по себе чрезвычайно интересно.

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* (блокатор гетеродимера *CLK/CYC* и *Tim* в мозгу мухи (Hardin, 2013).

Отметим, что 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), вызванной мутацией, проявляла старческий 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 mTOR-S6K сигналингом именно посредством упомянутого гена, который является, по словам авторов, одним из важнейших регуляторов активности киназы mTORC1, в свою очередь выступающей «переключателем» между анаболической и катаболической программами клетки, во всяком случае, млекопитающих. Роль гена ортолога *cyc* заключается в ингибировании пути mTOR, что супрессирует метаболизм, предотвращая излишний расход ресурсов организма и, вероятно, продляя жизнь. У мух выявлена регуляция циркадных часов компонентами TOR пути. 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 возраст-зависимых патологий вмешательством в качественный состав поступающих нутриентов, так как именно пептиды активируют регуляторный белок *Raptor* (Giebultovich, Kapahi, 2010).

**Линии *Drosophila melanogaster*:** Линия *y, w; UAS-cry24/CyO* (*cry* – рецептор синего света, противодействующий свободным радикалам). Линии *w; UAS-per10* и *w; UAS-per24*, а также *w; UAS-cyc #6*. Драйверная линия с мифепристон-идуцибельным 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 °С и 12-часовом режиме освещения на стандартной агарно-дрожжевой среде. По возможности ежедневно подсчитывали число умерших мух. Для статистической оценки достоверности различий между выборками использовали критерий Колмогорова-Смирнова, чтобы обнаружить воздействие веществ. Критериями Гехана-Бреслоу-Уилкоксона и Мантела-Кокса пользовались для оценки различий между медианами продолжительности жизни. При выявлении различий между показателями 90%-ной смертности был применен тест Ванг-Элисона.

Влияние сверхэкспрессии генов циркадных ритмов не привело к появлению драматических изменений показателей ПЖ. Максимальные значения увеличения медианной продолжительности жизни (~11%) и времени 90% смертности (~9%) отмечались у мужских особей линии *UAS-cyc #6/ELAV* (мифепристон), в то время как у женских наблюдалось незначительное снижение, менее 2% по обоим показателям. Линия *w; UAS-per10/ELAV* показала прирост медианной ПЖ (опыт) примерно в 8% - и 90%-ной смертности около 7% в случае с самками, также на 4% увеличился второй показатель у самцов. У мужских особей линии *w; UAS-per24/ELAV* нами не было выявлено различий в значениях упомянутых показателей в опыте и контроле, у женских особей они выросли лишь на 2%.

Небольшие величины приростов медиан продолжительности жизни при сверхэкспрессии генов циркадных ритмов в нервной системе мух, вероятно, можно объяснить с позиций ритмики процессов, сопряженных с экспрессией генов интереса (Rakshit, Giebultowicz, 2013). Так, кондиционная сверхэкспрессия одной последовательности, индуцируемая мифепристоном в течение всей жизни имаго, не когерентна волнам экспрессии, например, «соседей» по гетеродимеру, в результате этого создается излишек не взаимодействующего с мишенью белка, на трансляцию которого, по-видимому, безвозвратно была затрачена энергия, предназначенная для других целей. Следовательно, через некоторое время, функционируя в таком режиме, организм, точнее нервная система мухи, утратит энергетический резерв, что в итоге приведет к неспособности формировать полноценный ответ на стресс-факторы, либо же сверхэкспрессия требуется по всей периферии и результат незначителен именно в связи с этим. С другой стороны, постоянное подавление TOR сигналинга белком *CYC* положительно сказывается на ПЖ, предотвращая потерю энергии. Есть предположение, что расход энергии на трансляцию мРНК гена интереса почти перекрывает его геропротекторные свойства ингибитора TOR при индуцированной сверхэкспрессии (Khapre et al., 2014).

Таблица 1  
Влияние сверхэкспрессии на параметры продолжительности жизни самцов *Drosophila melanogaster*

Показатель	Min	Mean±SE	Median	90%	Max	MRDT	a	R	n
UAS - су 24/ELAV (контроль)	6	58.6±0.8	59	74	87	7.9	0.09	0.0003	254
UAS - су 24/ELAV (мифепристон)**	2	62.6±0.8	61*	80*	92	8.94	0.08	0.0004	249
UAS - per 10/ELAV (контроль)	4	69.9±1.1	72	85	91	7.19	0.10	0.0001	216
UAS - per 10/ELAV (мифепристон)**	7	72.7±1.2	78**	91**	98	9.21	0.08	0.0002	273
UAS - per 24/ELAV (контроль)	2	52.1±1.2	56	69	83	8.97	0.08	0.0008	212
UAS - per 24/ELAV (мифепристон)	3	54.6±0.9	57	70*	84	8.25	0.08	0.0005	285
UAS - сус #6 (контроль)	3	66.7±1.2	71	85	91	8.87	0.08	0.0002	249
UAS - сус #6 (мифепристон)**	3	68.9±1	70*	84	90	7.4	0.09	0.0001	252

Примечание: здесь и в табл. 2: Min – минимальная продолжительность жизни; Mean±SE – средняя и ошибка средней; Median – медиана продолжительности жизни; 90% – время 90%-ной смертности в популяции; MRDT – время удвоения смертности; a и R – параметры уравнения Гомпертца; n – величина выборки;

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.0001$  (первый столбик – по критерию Колмогорова-Смирнова, четвертый – по Гехана-Бреслоу-Вилкоксона, пятый – по Ванг-Элисон).

Таблица 2  
Влияние сверхэкспрессии на параметры продолжительности жизни самок *Drosophila melanogaster*

Показатель	Min	Mean±SE	Median	90%	Max	MRDT	a	R	n
UAS - су 24/ELAV (контроль)	2	54.3±1	57	71	92	8.96	0.08	0.0007	253
UAS - су 24/ELAV (мифепристон)*	4	55±1	58	71	87	8.66	0.08	0.0006	263
UAS - per 10/ELAV (контроль)	8	55.8±1.2	57	72	85	8.27	0.08	0.0004	205
UAS - per 10/ELAV (мифепристон)	4	54.7±1.3	57	75*	85	9.66	0.07	0.0008	210
UAS - per 24/ELAV (контроль)	3	40.4±1.2	49	56	56	9.01	0.08	0.0020	236
UAS - per 24/ELAV (мифепристон)	5	38.4±1.3	49	56**	63	11.62	0.06	0.0040	220
UAS - сус #6 (контроль)	6	50±1.1	56	64	71	7.7	0.09	0.0005	256
UAS - сус #6 (мифепристон)**	3	57.5±1.1	62**	70**	90	8.21	0.08	0.0004	275

Таким образом, экспрессию *per* и *cyc* в будущих исследованиях следует согласовывать с экспрессией мишени, как, впрочем, и *cry*, который без драйвера *timGAL4* вообще малоэффективен (Rakshit, Giebultowicz, 2013), согласно полученным показателям медленной ПЖ, увеличившейся относительно контроля лишь на 3% у самок и на 2% – у самцов. Несмотря на несовершенство методики, были выявлены положительные показатели прироста, которые говорят о необходимости проведения дальнейших исследований в этой области.

#### ЛИТЕРАТУРА

Archer S.N. et al. Mistimed sleep disrupts circadian regulation of the human transcriptome // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. P. 201316335.

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.

Khapre R.V. 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. et al. Comparing genomic expression patterns across species identifies shared transcriptional profile in aging // Nature genetics. 2004. Vol. 36. № 2. P. 197-204.

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.

Reddy A.B., Rey G. Metabolic and Nontranscriptional Circadian Clocks: Eukaryotes // Annual Review of Biochemistry. 2014. Vol. 83. № 1.

## РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ МЫШЕЙ ЛИНИИ АФ ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

Н.Н. Старобор

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: starobor@ib.komisc.ru

Одним из наиболее важных показателей благополучия организма в окружающей среде является его способность к воспроизводству. Высокой чувствительностью к воздействию повреждающих



факторов окружающей среды, в том числе и радиации, обладают половые железы. Наиболее опасны для будущего потомства нерепарированные и/или частично репарированные радиационные повреждения в половых клетках родителей, совместимые с дальнейшим развитием гамет и их участием в оплодотворении. В литературе имеются многочисленные данные по генетическим последствиям у потомства облученных родителей (Докучаева, 1966; Нефедов и др., 2000; Фоменко и др., 2006).

Цель нашей работы – оценить репродуктивную способность у мышей-родителей после хронического низкоинтенсивного облучения в малых дозах.

Эксперимент проводили на самцах и самках мышей линии Af. Животные в возрасте 2 мес. разделены на контрольную и опытные группы. Мышей опытных групп подвергали воздействию ионизирующей радиации. Источником гамма-излучения были две ампулы со стальной оболочкой, разнесенные на расстояние 2.5 м и содержащие  $0.474 \times 10^6$  и  $0.451 \times 10^6$  кБк  $^{226}\text{Ra}$ . Самцов и самок облучали в течение 29, 56 и 84 сут. (с перерывом на уборку) при постоянной мощности экспозиционной дозы 150 мЗв/ч. Поглощенные дозы соответственно составили 10, 20 и 30 сГр. Контрольные животные находились в стандартных условиях вивария. У всех групп мышей был свободный доступ к воде и корму. Сразу же после окончания облучения для получения потомства ( $F_1$ ) облученные и контрольные животные посажены на размножение. В течение 3 мес. размножения у мышей фиксировали сроки появления пометов, количество рожденных и погибших детенышей. Анализ морфофункциональных (Шварц и др., 1968), цитологических (Осадчук, 2010) и цитогенетических (Soares et al., 1979) **показателей у мышей-родителей** проводили спустя 4-5 мес. после окончания облучения и получения потомства. На момент проведения анализов возраст животных составлял 8-9 мес. Статистическую обработку данных проводили по t-критерию Стьюдента и усовершенствованному методу Фишера для четырехпольных таблиц.

Более высокие показатели размножения выявлены у облученных (в дозах 20 и 30 сГр) животных по сравнению с контрольными (см. таблицу) и проявлялись в достоверном увеличении количества детенышей на самку ( $6.88 \pm 0.40$  и  $6.48 \pm 0.63$ ) и числа детенышей в помете ( $6.11 \pm 0.80$  и  $5.96 \pm 0.36$ ). В контроле данные показатели составляли  $4.3 \pm 0.53$  и  $4.09 \pm 0.34$  соответственно. У мышей, облученных в дозе 10 сГр, только количество рожденных детенышей значительно превышало контрольное значение.

Исследуемые группы животных различались и по количеству детенышей, рожденных в одном помете (рис. 1). Так, у контрольных и

**Показатели размножения мышей линии Af, подвергавшихся хроническому низкоинтенсивному облучению в течение 29, 56 и 84 сут.**

Показатель	Вариант эксперимента (поглощенные дозы)			
	Контроль	10 сГр	20 сГр	30 сГр
Детенышей на самку	4.3±0.53	6.5±0.91*	6.88±0.40***	6.48±0.63**
Детенышей в помете	4.09±0.34	4.73±0.33	6.11±0.80*	5.96±0.36**
Пометов на самку	1.05±0.18	1.38±0.27	1.13±0.17	1.09±0.13
Умертвили детенышей (от общего количества рожденных)	0%	0%	21.82%	12.75%

Примечание: различия с контролем достоверны при \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  и \*\*\* $p < 0.001$

облученных в минимальной дозе (10 сГр) мышей, количество детенышей, рожденных в одном помете, не превышало шести особей. Тогда как у животных, облученных в дозах 20 и 30 сГр, были зарегистрированы многоплодные пометы, состоящие из 7-10 детенышей. Количество многоплодных пометов повышалось с увеличением дозы облучения (шесть и девять многоплодных пометов соответственно). У этих двух групп мышей обнаружены умертвленные в первые сутки жизни детеныши (соответственно 21.8 и 12.8% от общего количества рожденных, см. таблицу).

Анализ массы тела мышья линии Af (рис. 2) показал, что у самцов, облученных в дозе 10 сГр, масса тела была выше ( $p < 0.05$ ), чем у необлученных, а у самок – ниже ( $p < 0.05$ ). У облученных в дозах 20

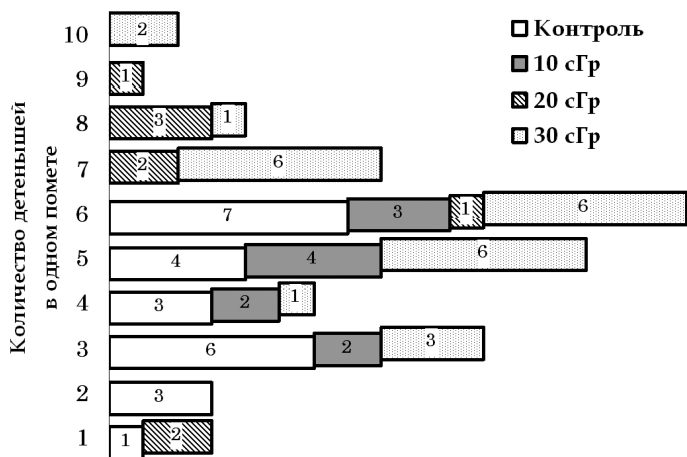


Рис. 1. Количество детенышей, рожденных в одном помете, у мышей линии Af, подвергавшихся хроническому облучению в малых дозах.

Рис. 2. Масса тела у мышей линии Af, подвергавшихся хроническому облучению в малых дозах.

\*  $p < 0.05$  – различия достоверны по сравнению с контролем и мышами, облученными в дозах 20 и 30 сГр.

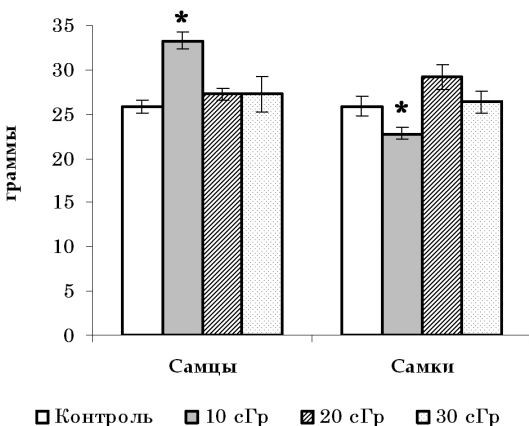
и 30 сГр животных достоверных отличий по массе тела от контроля не выявлено.

Масса семенников у мышей, подвергавшихся облучению в дозе 30 сГр, составляла  $93.5 \pm 1.9$  мг и была выше ( $p < 0.05$ ), чем у контрольных животных –  $85.4 \pm 2.9$  мг. Кроме того, абсолютное количество эпидидимальных сперматозоидов ( $19.82 \pm 2.2$  млн./оба эпидидимиса) у мышей данной группы также достоверно превышало контрольное значение ( $13.45 \pm 1.6$  млн./оба эпидидимиса). У мышей, облученных в дозах 10 и 20 сГр, значимых отличий по массе семенников и количеству эпидидимальных сперматозоидов от контрольного значения не обнаружено.

Анализ частоты нарушений в половых клетках у контрольных и облученных (10, 20 и 30 сГр) самцов не выявил достоверных отличий по частоте аномальных головок спермиев (АГС). При этом у самцов, облученных в минимальной дозе (10 сГр), частота АГС была выше ( $p < 0.05$ ), чем у самцов, облученных в максимальной дозе (30 сГр).

Таким образом, у облученных мышей в дозах 20 и 30 сГр выявлено достоверное увеличение количества детенышей на самку и числа детенышей в помете, а также зарегистрированы многоплодные пометы, доля которых уменьшалась с ростом дозы облучения. У мышей, облученных в максимальной дозе (30 сГр), обнаружено достоверное повышение абсолютной массы семенников и количества эпидидимальных сперматозоидов.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 13-04-01750 и № 13-04-90351.



#### ЛИТЕРАТУРА

Дочкаева Н.Ф. Образование костной мозоли у потомства животных, подвергшихся хроническому облучению // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1966. Т. 62. № 8. С. 98-100.

Нефедов И.Ю., Нефедова И.Ю., Палыга Г.Ф. Актуальные аспекты проблемы генетических последствий облучения млекопитающих // Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т. 40. № 4. С. 358-372.

Осадчук Л.В. Межлинейные различия в формировании генеративной функции в период полового созревания у самцов мышей // Онтогенез. 2010. Т. 41. № 3. С. 213-220.

Фоменко Л.А., Ломаева М.Г., Безлепкин В.Г., Газиев А.И. Геномная нестабильность, выявленная микроядерным тестом, у потомства F1-поколения мышей, подвергнутых воздействию ионизирующей радиации // Радиационная биология. Радиоэкология. 2006. Т. 46. № 4. С. 431-435.

Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. Вып. 58. 388 с.

Soares E.R., Sheridan W., Segall M. Increased frequencies of aberrant sperm as indicators of mutagenic damage in mice // Mutation Research. 1979. Vol. 64. № 1. P. 27-35.

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СУТОЧНУЮ ЛОКОМОТОРНУЮ АКТИВНОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* С МУТАЦИЯМИ В ГЕНАХ СТРЕСС-ОТВЕТА

О.А. Шосталь, А.А. Данилов  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [olash@list.ru](mailto:olash@list.ru)

В многочисленных работах показано, что изменение режима освещения, как и любого другого экологического фактора, является стрессом для организмов и негативно сказывается на их качестве и длительности жизни (Анисимов, 2003; Le Bourg, 2001; Massie, Whitney, 1991; Sheeba et al., 2000, 2002). В процессе стресс-ответа ключевую функцию выполняют гены распознавания и репарации повреждений ДНК. Поэтому было интересно посмотреть, как изменяется продолжительность жизни и двигательная активность у мутантов с нарушением в генах репарации ДНК при изменении режима освещения.

Цель данной работы – изучение влияния различных режимов освещения на продолжительность жизни и суточную локомоторную активность *Drosophila melanogaster* с мутациями в генах стресс-ответа.

В эксперименте исследовали линию дикого типа *Canton-S*; линию *dGADD45* – гомозигота по дефекту гена *dGADD45* (генотип: *y\* w\**; *P{GawB}Gadd45NP0351*); линию *p53<sup>5A-1-4</sup>* – гомозигота по де-

фекту гена *p53* (генотип:  $y^1 w^{1118}; p53^{5A-1-4}$ ); линию *mei-9<sup>Al</sup>* – гомозигота по дефекту гена *mei-9* (гомолог *XPF* млекопитающих, генотип:  $w^1 mei-9^{Al}$ ); линию *mei-41<sup>D12</sup>* – гомозигота по дефекту гена *mei-41* (гомолог *ATM* млекопитающих, генотип:  $w^1 mei-41^{D12}$ ).

Родительские особи исследуемых линий содержали в термостате при 25 °С и 12-часовом режиме освещения в пробирках на 100 мл, содержащих 25 мл агарно-дрожжевой питательной среды. После появления имаго в течение суток производили отбор необходимого количества особей (50 шт. на баночку), предварительно наркотизировав эфиром. Самцы и самки содержались раздельно. Общее количество отобранных для эксперимента мух было разделено на три группы. Первая группа исследуемых линий содержалась в условиях стандартного 12-часового освещения при интенсивности 120-130 лк, вторая – при постоянном освещении (24 ч, 120-130 лк), третья группа – в условиях световой депривации (24 ч темнота, 0 лк).

Подсчет числа умерших мух проводили ежедневно (за исключением субботы и воскресенья). Один раз в неделю оставшихся в живых мух переносили на свежую среду без наркотизирования.

Для оценки достоверности различий по продолжительности жизни в темноте и на свету применяли непараметрический критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона (для оценки различий медианной продолжительности жизни) и Колмогорова-Смирнова (для кривых выживаемости). Для оценки статистической значимости различий 90% -ной гибели особей применяли метод Ванг-Аллисона (Wang et al., 2004). Функции дожития оценивали с помощью процедуры Каплана-Мейера и представляли в виде кривых дожития. Для демографического анализа полученных данных также применяли программу Statistica 6.1 (Statsoft, США).

Измерение суточной активности осуществляли при помощи аппаратно-программного комплекса для мониторинга активности биообъектов *Trikinetics* (США) у дрозофил с разными генотипами. Измерения проводили отдельно у самцов и самок при 12-, 24- и 0 ч режимах освещения на 14, 35 и 50 дни жизни. На каждую точку брали три пробирки по 10 особей. Данные суммировались за каждый час.

При содержании особей контрольной линии дикого типа *Canton-S* в условиях стандартного 12-часового режима освещения при интенсивности 120 лк медианная продолжительность жизни у самцов и самок достоверно не изменилась, максимальная, оцененная по времени жизни 90% -ной популяции, снизилась на 11% у самцов и на 5% у самок, по сравнению с содержанием в темноте; при содержании в условиях круглосуточного режима освещения

медианная продолжительность жизни у самцов и самок достоверно не изменилась, максимальная продолжительность жизни достоверно снизилась лишь у самок на 14% (см. таблицу).

У особей с нарушением в гене *dGADD45* в условиях стандартного 12-часового режима освещения медианная продолжительность жизни снизилась на 22% у самцов и 19% у самок, максимальная продолжительность жизни на 14 и 10% соответственно

**Параметры продолжительности жизни особей лабораторных линий дрозофилы при различных режимах освещения**

Линия	Пол	Освещение, ч	M	СПЖ	90%	min	max	MRDT	N
<i>Canton-S</i>	♂♂	24 ч	52	51±0.6	66	3	70	7.4	528
		12 ч	52	48.5±0.4	59	9	74	7.1	711
		0 ч	52	51.6±0.7	66	8	80	7.9	412
	♀♀	24 ч	56	52.4±0.6	66*	3	78	6.9	494
		12 ч	59	56.5±0.6	73*	4	81	7.8	527
		0 ч	58	56.6±0.7	77	5	84	9.4	494
<i>dGADD45</i>	♂♂	24 ч	39*	39.6±0.6	54*	4	62	7.4	424
		12 ч	39*	38.8±0.6	56*	4	67	9.2	425
		0 ч	50	47.2±0.7	65	8	76	9.5	444
	♀♀	24 ч	37*	39.5±0.6	60*	4	66	9.7	404
		12 ч	43*	42.6±0.6	60*	4	74	8.4	453
		0 ч	53	49.2±0.7	67	4	79	9.5	384
<i>mei-9<sup>A1</sup></i>	♂♂	24 ч	41*	38.9±0.8	61	5	63	11.5	413
		12 ч	49	43.1±0.7	61*	5	69	9.2	545
		0 ч	45	44.8±0.7	63	6	72	9	461
	♀♀	24 ч	48*	43.3±0.8	63	5	71	10.6	478
		12 ч	49*	43.3±0.8	62	5	72	10.6	533
		0 ч	56	48.7±0.6	63	6	74	8	673
<i>mei-41<sup>D12</sup></i>	♂♂	24 ч	41*	44.6±0.8	68*	9	79	13.6	483
		12 ч	45*	49.7±0.9	75	13	84	13.8	430
		0 ч	66	57.5±1	79	12	84	11.5	385
	♀♀	24 ч	51*	49.7±0.8	72*	9	81	11.7	483
		12 ч	57*	55.9±0.9	83*	9	87	13.7	510
		0 ч	79	68.4±1	87	11	96	9.7	396
<i>p53<sup>5A-1-4</sup></i>	♂♂	24 ч	38*	33.6±0.4	43*	5	44	4.2	436
		12 ч	40*	41.4±0.5	52*	5	73	7.3	428
		0 ч	50	49.7±0.8	73	9	82	10.4	396
	♀♀	24 ч	41*	41.1±0.2	45*	7	51	2.4	470
		12 ч	59*	58.3±0.6	73*	5	79	7	413
		0 ч	65	61.8±0.8	77	22	82	7	274

*Примечание:* различия с 0 ч освещением статистически значимы: \*  $p < 0.001$ . Обозначения: M – медианная продолжительность жизни; СПЖ – средняя продолжительность жизни; 90% – время жизни 90% популяции; min и max – минимальная и максимальная продолжительность жизни в выборке; MRDT – время удвоения интенсивности смертности; N – количество особей в выборке; ♂♂ – самцы; ♀♀ – самки.

( $p < 0.001$ ). При круглосуточном режиме освещения медианная продолжительность жизни снизилась на 22% у самцов и 30% у самок, а максимальная продолжительность жизни – на 17 и на 10% соответственно ( $p < 0.001$ ).

У особей гомозиготной линии по дефекту гена *mei-9* медианная продолжительность жизни при стандартном режиме освещения достоверно не изменилась у самцов и на 13% уменьшилась у самок. При содержании в условиях круглосуточного режима освещения медианная продолжительность жизни снизилась на 9% у самцов и на 14% у самок ( $p < 0.001$ ) по сравнению с условиями затемнения. Максимальная продолжительность жизни достоверно не изменялась.

У особей линии *mei-41<sup>D12</sup>* медианная продолжительность жизни при стандартном режиме освещения снизилась на 32% у самцов и на 28% у самок. Медианная продолжительность жизни при 24 ч освещении уменьшилась на 38% у самцов и на 35% у самок ( $p < 0.001$ ) по сравнению с условиями затемнения. Разрыв в максимальной продолжительности при 12-часовом режиме освещения составил 5% у самцов, и у самок, при 24-часовом режиме – 14% у самцов и 17% у самок,  $p < 0.001$ .

У особей линии *p53<sup>5A-14</sup>* медианная продолжительность жизни при стандартном режиме освещения снизилась на 20% у самцов и на 9% у самок. При содержании в условиях круглосуточного режима освещения медианная продолжительность жизни уменьшилась на 24% у самцов и на 37% у самок ( $p < 0.001$ ), по сравнению с условиями затемнения. Разрыв в максимальной продолжительности при 12-часовом режиме освещения составил 29% у самцов и 5% у самок, при 24-часовом режиме – 41% у самцов и 42% у самок,  $p < 0.001$ .

Таким образом, у особей с нарушением генов стресс-ответа наблюдается более значительное снижение продолжительности жизни на свету по сравнению с линией дикого типа. При этом увеличение длины светового дня (с 12 до 24 ч) приводит к более значительному снижению продолжительности жизни у линий с нарушением в генах репарации ДНК. Данный результат подтверждает участие исследуемых генов в регуляции продолжительности жизни в ответ на изменение длины светового дня.

Исследование суточной локомоторной активности самцов и самок лабораторных линий дрозофилы при разных режимах освещения (24, 12, 0 ч) в возрасте 14, 35 и 50 дней жизни показал, что суточная активность зависит от генотипа, пола и возраста мух. Самцы более активны, чем самки. С возрастом наблюдается снижение суточной активности самцов и самок исследуемых линий.



Изменение режима освещения (световая депривация или удлинение светового дня до 24 ч) приводит к десинхронизации суточной активности как самцов, так и самок исследуемых линий. При этом наиболее заметное нарушение ритмов активности наблюдается при круглосуточном режиме освещения, что подтверждает негативное влияние избыточного освещения на организм.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. СПб.: Наука, 2003. 468 с.
- Le Bourg E. Oxidative stress, aging and longevity in *Drosophila melanogaster* // FEBS Letters. 2001. Vol. 498. P. 183-186.
- Massie H.R., Whitney S.J. Preliminary evidence for photochemical ageing in *Drosophila* // Mech. Ageing Dev. 1991. Vol. 58. P. 37-48.
- Sheeba V., Sharma V.K., Shubha K., Chandrashekar M.K., Joshi A. The effect of different light regimes on adult life span in *Drosophila melanogaster* is partly mediated through reproductive output // J. Biol. Rhythms. 2000. № 5. P. 380-392.
- Sheeba V., Chandrashekar M.K., Joshi A., Sharma V.K. Developmental plasticity of the locomotor activity rhythm of *Drosophila melanogaster* // J. Insect Physiol. 2002. Vol. 48. P. 25-32.
- Wang C., Li Q., Redden D.T., Weindruch R., Allison D.B. Statistical methods for testing effects on "maximum lifespan" // Mech. Ageing Dev. 2004. Vol. 125. № 9. P. 629-632.

**Секция 5.**  
**ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ**  
**РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ**  
**ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ**  
**НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ**  
***CHLORELLA VULGARIS* ИФР № С-111**

**А.А. Богданова, А.А. Суховский, Е.А. Флерова**

Ярославская государственная сельскохозяйственная академия

E-mail: [bogdanova.ale@gmail.com](mailto:bogdanova.ale@gmail.com), [katarinum@mail.ru](mailto:katarinum@mail.ru), [nikita\\_poet@mail.ru](mailto:nikita_poet@mail.ru)

В настоящее время существует множество исследований о положительном влиянии электростатического поля на рост и развитие, как низших, так и высших растений (Шмигель, 2003). Одним из модельных объектов экспериментов, связанных с влиянием электростатического поля на растения, является *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Следует отметить, что данную водоросль, благодаря своим уникальным свойствам и богатому составу питательных веществ, макро- и микроэлементов, витаминов и ферментов, используют в пищевой (добавки в хлеб, молоко и т.д.), химической промышленности (БАДы, биотопливо) и в сельском хозяйстве (кормовые добавки) (Федоров, 1977; Ковалев, 2003). Тем не менее, до настоящего времени сведения о том, возможно ли использовать интенсивную технологию выращивания хлореллы под действием электростатического поля в пищевых и кормовых целях отсутствуют.

Цель наших исследований – изучение влияния различного напряжения и времени воздействия электростатического поля на морфофизиологические показатели хлореллы.

Экспериментальную работу проводили в химико-аналитическом отделе лаборатории генетического маркирования и лаборатории электрификации ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА». В каждой серии опытов использовались шесть стеклянных емкостей в форме параллелепипеда (размер 80×60×70 мм, толщина стекла

5 мм). В каждую емкость вносили по 100 мл суспензии хлореллы с плотностью клеток 10 млн./мл, в которую предварительно добавлялась питательная среда в нашей модификации (Flerova, Bogdanova, 2014).

Каждый из серии опытов проводился в трех повторностях. Для этого на три емкости с суспензией хлореллы крепились медные электроды, на которые подавался постоянный электрический ток определенного напряжения. Между электродами и стенками стеклянных емкостей создавалось электростатическое поле. Контролем служила хлорелла, содержавшаяся в емкостях, не подсоединенных к электродам (табл. 1).

Предел напряжения обусловлен конструктивными особенностями емкостей и электродов. Каждую емкость из серии экспериментов подвергали стимуляции равные промежутки времени, которые составляли 5 мин. После обработки электростатическим полем микроводоросль выращивалась в одинаковых условиях, с постоянным освещением фитолюминесцентных ламп.

После определения оптимальных показателей напряжения электростатического поля в единых методических условиях был проведен ряд экспериментов по выявлению оптимального времени воздействия электростатического поля на клетку хлореллы (табл. 2).

На 1, 2 и 3 сут. каждого эксперимента отбиралась средняя проба суспензии хлореллы для определения количества клеток и их морфологических характеристик и рассчитывалась по полученному значению оптической плотности на спектрофотометре СФ-46.

Плотность клеток в суспензии хлореллы определялась по оптической плотности на спектрофотометре СФ-46. Затем с помощью калибровочной кривой определяли количество клеток хлореллы в 1 мл суспензии. Клетки измеряли по стандартной для световой микроскопии методике под микроскопом Микмед-6 (Богданова, Суховский, 2013).

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Excel 2007. Достоверность результатов рассчитывали по критерию Стьюдента ( $p \geq 0.95$ ).

*Таблица 1*  
**Условия постановки эксперимента по определению оптимальных показателей напряжения электростатического поля, время выращивания – 72 ч**

Эксперимент	Напряжение, кВ	Время стимуляции, мин.
Контроль	–	–
Опыт № 1	5	5
№ 2	10	5
№ 3	15	5
№ 4	20	5
№ 5	25	5
№ 6	30	5
№ 7	35	5
№ 8	40	5
№ 9	45	5

В ходе экспериментов было выявлено, что большее увеличение прироста биомассы микроводоросли достигается при стимулировании суспензии хлореллы напряжением электростатического поля в 5 и 15 кВ (рис. 1).

Следует отметить, что нами не выявлено достоверных различий по количеству клеток, простимулированных напряжением 5 и 15 кВ, тем не менее при напряжении 5 кВ количество клеток в 1 мл суспензии составило 42.5 млн., при 15 кВ – 48.8 млн./мл. Таким образом, наилучший результат прироста клеток показало напряжение 15 кВ.

По результатам экспериментов по выявлению оптимального времени воздействия электростатического поля постоянного тока было выявлено достоверное увеличение прироста биомассы при стимулировании клеток хлореллы в течение всего периода выращивания (рис. 2).

Таблица 2

**Условия постановки эксперимента по выявлению оптимального времени воздействия электростатического поля на клетку хлореллы, время выращивания – 72 ч**

Эксперимент	Напряжение, кВ	Время стимулирования
Контроль	–	–
Опыт № 1	15	1 мин.
№ 2	15	5 мин.
№ 3	15	10 мин.
№ 4	15	15 мин.
№ 5	15	30 мин.
№ 6	15	72 ч

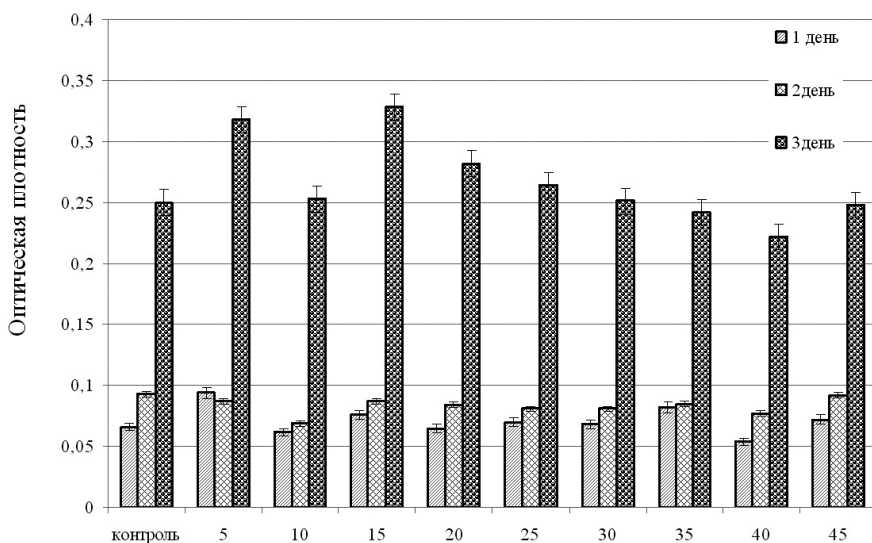


Рис. 1. Оптическая плотность суспензии хлореллы в зависимости от различного напряжения электростатического поля.

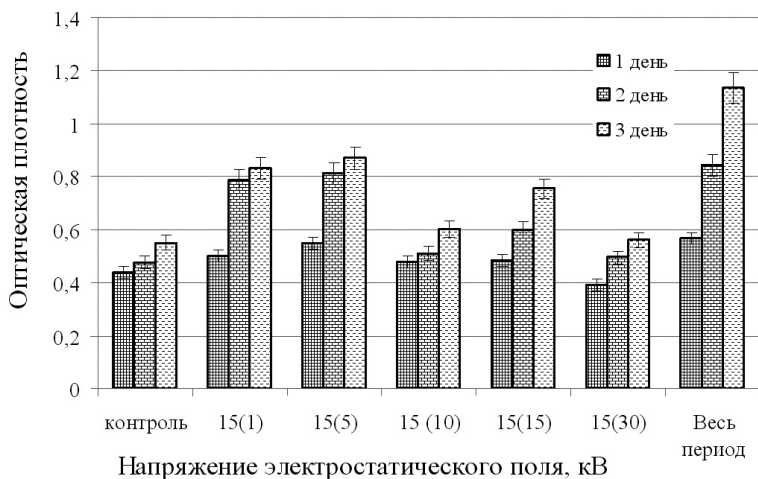
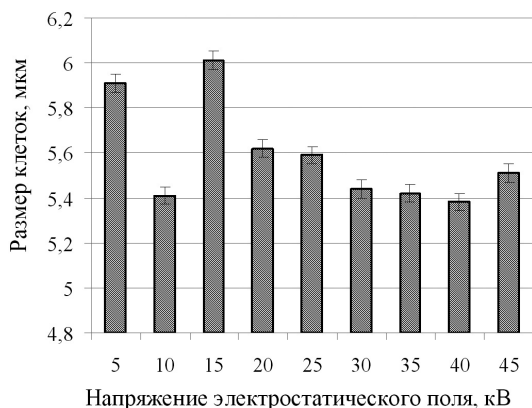


Рис. 2. Оптическая плотность суспензии хлореллы в зависимости от времени воздействия электростатического поля.

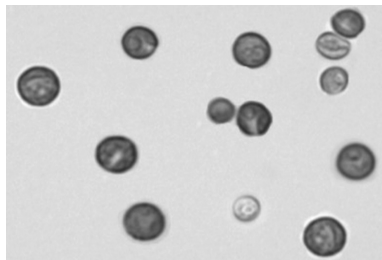
Морфометрические исследования показали, что больший размер клеток наблюдается у суспензии хлореллы, простимулированной электростатическим полем с напряжением 15 кВ (рис. 3). Было установлено, что у всех измеренных клеток хлореллы, подвергшихся воздействию электростатического поля, вне зависимости от времени стимулирования, форм-фактор варьировал в пределах  $1.00 \pm 0.03$ , клеток с нетипичной формой для данного вида микроводорослей не замечено. На светомикроскопических препаратах хлореллы повреждений в области клеточной стенки и плазматической мембраны не отмечалось. Протопласт имел привычный зеленый оттенок и характерную для этого вида клеток форму. Таким образом, наличие каких-либо клеточных аномалий не обнаружено (рис. 4).



Размер клеток хлореллы при различном напряжении электростатического поля, мкм.

Рис. 3. Размер клеток хлореллы при различном напряжении электростатического поля, мкм.

Рис. 4. Клетки хлореллы после воздействия поля в 15 кВ (увеличение 600).



Итак, в результате эксперимента было выявлено, что наибольший стимулирующий эффект оказало поле с напряжением 15 кВ при стимулировании в течение всего периода выращивания. Морфологический анализ клеток микроводоросли, подвергнутой воздействию электростатического поля с различным напряжением, выявил увеличение размеров клеток без каких-либо морфологических нарушений.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Богданова А.А., Суховский Н.А.* Влияние электростатического поля на клетку хлореллы // Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса: Матер. II **Международ. конф.** Ставрополь, 2013. Т. 3. Вып. 6. С. 274-277.

*Ковалев Б.М., Богданов Н.И., Ковалева С.П.* Одноклеточная микроводоросль хлорелла – природный биоиммуномодулятор. М.: Агропромиздат, 2003. 179 с.

*Федоров А.А.* Жизнь растений. Т. 3. Водоросли, лишайники: Учебное пособие. М.: Просвещение, 1977. 500 с.

*Шмигель В.В., Стерхова Т.Н., Лачин А.В., Шенец А.А.* Контактная зарядка сплюснутых эллипсоидальных частиц в электростатическом поле // Вестник РАСХН. 2003. № 4. С. 82-83.

*Flerova E., Bogdanova A.* The features of biochemical indices of strain *Chlorella vulgaris* IGF №С-111, grown in closed system // JMBFS. 2014. № 3 (special issue 1). P. 311-313.

### ФИЗИОЛОГИЯ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ МХОВ *POLYTRICHUM COMMUNE* И *CLIMACIUM DENDROIDES*

**К.Ю. Бросова**

Сыктывкарский государственный университет  
E-mail: kbrosova@yandex.ru

Мохообразные – самая примитивная группа высших растений. Ассимилирующие органы мхов – листья, расположенные на стебле в два или три ряда (**Grandall-Stotler, Bartholomew-Began, 2007**). Листья мхов, в основном, включают хлорофиллонос-

ные и водоносные клетки. Ведущими факторами, определяющими структуру и функциональную активность ассимилирующих органов мхов, являются свет и вода. Важная структурная особенность листьев мхов – отсутствие устьиц. Мхи формируют ризоиды, расположенные либо вдоль всего стебля, либо в его основании, у видов с простертым стеблем – в зоне контакта стебля с субстратом (Игнатов, Игнатова, 2004). Ризоиды функционально заменяют корни, участвуют в поглощении воды. По способам проведения воды, в зависимости от наличия центрального пучка, мхи могут быть экто- и эндогидрильными. По отношению к световому режиму эта группа относится к теневыносливым растениям. Мохообразные приспособлены к значительным суточным и сезонным изменениям условий среды и характеризуются широкой нормой реакции. Мхи начинают фотосинтезировать ранней весной и остаются активными до поздней осени. Функциональные показатели мхов, как правило, рассчитывают на единицу массы побегов или на площадь занимаемой микрогруппировки, что связано с размерами мхов, трудностью определения площади их листовой поверхности. Анализ литературы показал, что данные по физиологическим характеристикам ассимиляционного аппарата листостебельных мхов в условиях севера малочисленны. Показатели  $\text{CO}_2$ -газообмена и структуры ассимилирующей поверхности важны для оценки продуктивности мхов в различных экологических условиях. Изучение различных физиологических свойств мхов может быть использовано для прогнозирования их поведения в условиях меняющейся среды.

Цель работы – изучение  $\text{CO}_2$ -газообмена, водного обмена и структуры ассимиляционного аппарата у листостебельных мхов *Polytrichum commune* и *Climacium dendroides*.

Объекты исследования – листостебельные мхи *Polytrichum commune* и *Climacium dendroides* – широко распространены в Республике Коми. Данные мхи имеют в своей структуре подземные плагиотропные побеги, кроме того, у *C. dendroides* оригинальная система ветвления, свойственная только этому виду на территории флоры европейского Северо-Востока.

Продуктивность мхов оценивали по скорости фотосинтеза и испарения воды, структуру – по формированию площади ассимилирующей поверхности и накоплению биомассы. Исследования проводили в чернично-зеленомошном ельнике вблизи г. Сыктывкара в июне 2013 г. Интенсивность  $\text{CO}_2$ -газообмена и испарение воды побегами определяли газометрической системой LCPro+ (ADC BioScientific Ltd.) при температуре воздуха 20 °C и насыщающей освещенности 500 мкмоль/м<sup>2</sup>с ФАР. Водопоглощающую и



водоудерживающую способности побегов мхов определяли, взвешивая образцы на лабораторных весах с дискретностью 0.001 г Scout Pro (OHAUS) через разные интервалы времени в течение 7 ч. Площадь веточек побегов находили по их фотографиям с линейкой ценой деления 1 мм. Анализ фотографий осуществляли в программе Image Tools (1995-2002 гг.). Проводили описательную статистику результатов, корреляционный и регрессионный анализы. Для математической обработки результатов использовали специализированную надстройку XLSTAT для MS Excel. Работа выполнена в лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Показатели удельной поверхностной плотности листа (УППЛ) и сухой массы единицы побега ветвления (СМЕД) тесно связаны с ростом и накоплением биомассы растений, их скоростью роста и интенсивностью газообмена (Мигалина, 2008). Наши исследования показали, что у побегов *C. dendroides* УППЛ составила в среднем 0.3 г/дм<sup>2</sup>, для *P. commune* этот показатель был в пять раз больше. СМЕД – 0.8 и 17 мг/см для *C. dendroides* и *P. commune* соответственно.

Изучение структуры ассимилирующих побегов мхов показало, что длина фотосинтезирующего побега ветвления *C. dendroides* была в среднем 1.5 см, а площадь – около 0.4 см<sup>2</sup>. Побеги *P. commune* отличались от *C. dendroides* большими размерами. Средние показатели длины и площади побега *P. commune* были в 3.5 и 16 раз больше соответственно. Получена статистически значимая линейная зависимость между длиной и площадью побегов изучаемых мхов (табл. 1). Положительные коэффициенты корреляции регрессии для *C. dendroides* и *P. commune* статистически значимые при  $\alpha$  0.05 и описывают около 70% полученных данных.

Видимый фотосинтез (ВФ) положительно коррелирует с УППЛ, отражающей эффективность использования ассимилятов на рост. В одинаковых свето-температурных условиях изученные

Таблица 1

**Зависимость площади ассимилирующих побегов (y) от их длины (x) растений *Climacium dendroides* и *Polytrichum commune* (вид уравнения  $y = ax + b$ )**

Параметры	<i>C. dendroides</i>	<i>P. commune</i>
a – коэффициент регрессии и его ошибка	0.22 ± 0.02	1.14 ± 0.25
b – свободный член регрессии и его ошибка	0.039 ± 0.031	0.79 ± 1.25
Число Фишера (степени свободы)	123.56 (1, 157)	23.37 (1, 32)
r – коэффициент корреляции регрессии	0.66	0.65
P – величина	<0.0001	<0.0001

мхи отличались по интенсивности видимого фотосинтеза. Побеги *C. dendroides* поглощали в среднем 1 мкмоль  $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ , а побеги *P. commune* – в три раза больше (табл. 2). В расчете на массу выявили обратную закономерность: ВФ побегов *C. dendroides* составляла в среднем 6 мг  $\text{CO}_2/\text{г}$  сухой массы ч, а у *P. commune* была в два раза ниже. Различия в скорости ассимиляции  $\text{CO}_2$  в расчете на массу и площадь побегов между видами связаны с разницей в накоплении сухого вещества единицей фотосинтезирующей поверхности мхов. Исследуемые виды мхов слабо различались по скорости испарения воды и транспирировали около 3-4 ммоль  $\text{H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$ . Отношение ВФ к транспирации рассматривают как эффективность использования воды в процессе ассимиляции  $\text{CO}_2$ . У *P. commune*, по сравнению с *C. dendroides*, этот показатель был в 2.5 раза выше (табл. 2).

Гидроморфизм определяет функционирование и продуктивность бриофитов. По нашим данным, среднее содержание воды в побегах *C. dendroides* и *P. commune* было 60-75%. Изучение поглощения и испарения воды в листовой камере показало, что побеги *C. dendroides* и *P. commune* не поглощали воду из насыщенного ее парами воздуха. Изменение содержания воды в побегах за 2 ч составило менее 1%. Насыщение побегов мхов водой происходит только за счет капельно-жидкой воды, поглощаемой побегами из почвы. Испарение воды побегами проходило интенсивно: за первые два часа побеги испаряли до 15% воды от общего содержания. Минимальное количество воды в ассимилирующем побеге составляло 20% от общего содержания.

Таким образом, результаты наших исследований показали, что исследуемые виды мхов имеют низкие показатели интенсивности газообмена (не более 3 мкмоль  $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ ), что сравнимо с литературными данными (Шпак, 2008; Bansal et al., 2012). На основе наших результатов по изучению водообмена *C. dendroides* и *P. commune* выявлено, что данные мхи имеют высокое содержание

Таблица 2

**Характеристика газообмена листостебельных мхов  
*Climacium dendroides* и *Polytrichum commune***

Статистические показатели	<i>C. dendroides</i>	<i>P. commune</i>	P-величина
Фв, мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$	1.05 ± 0.34*	2.92 ± 0.42	0.0007
ИВ, ммоль $\text{H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$	3.32 ± 0.05*	3.80 ± 0.03	<0.0001
ЭИВ, мкмоль $\text{CO}_2/\text{ммоль H}_2\text{O}$	0.32 ± 0.1*	0.75 ± 0.11	0.005

Примечание: Фв – видимый фотосинтез; ИВ – испарение воды; ЭИВ – эффективность использования воды, Фв/ИВ; \* различия между показателями значимы при уровне значимости  $\alpha$  0.05.

воды в побегах (60-75%), что сравнимо с исследуемыми в Хибинах видами эктогидрильных мхов, у которых содержание воды в побегах могло достигать 92% (Шпак, 2008).

Наши исследования показали, что у растений *P. commune* показатели интенсивности фотосинтеза, эффективности использования воды, УППЛ были в несколько раз выше, по сравнению с *C. dendroides*. Это может быть связано с формой роста, экологией данных видов мхов. *P. commune* – самый крупный мох на территории флоры средней части европейской России (кроме *Sphagnum sp.*), растет дерновинками, является частым и массовым видом на территории средней части европейской России (Игнатов, Игнатова, 2003). *C. dendroides* – имеет древовидную форму роста, оригинальную систему ветвления, свойственную только ему на территории средней части европейской России (Игнатов, Игнатова, 2004).

Полученные данные по физиологии ассимилирующего аппарата и эффективности его работы могут быть использованы для оценки продуктивности мхов в разных экологических условиях, а также для функциональной классификации видов мхов.

#### Выводы

1. *P. commune* характеризовался более высокой физиологической активностью, по сравнению с *C. dendroides*. Интенсивность фотосинтеза и УППЛ у *P. commune* составляла 3 мкмоль  $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$  и 1.4 г/дм<sup>2</sup> сухого вещества соответственно, что в три-пять раз больше, чем у *C. dendroides*.

2. Исследуемые виды мхов сорбируют до 75% воды. Мхи получают воду только из почвы, что связано с эндогидрильной стратегией проведения воды. *P. commune* и *C. dendroides* интенсивно испаряют воду, имеют 20% связанной воды.

Впервые получены уравнения отношения площади ассимилирующих побегов к их длине, которые позволяют на основе изучения длины побегов вычислить площадь всей ассимилирующей поверхности. Это облегчает исследование площади ассимилирующих побегов мхов и дает возможность проводить измерения непосредственно в природе, не удаляя растения с места произрастания.

#### ЛИТЕРАТУРА

Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 1. Sphagnaceae – Hedwigiaceae. М., 2003. 608 с.

Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 2. Fontinalaceae – Amblystegiaceae. М., 2004. 352 с.

Мигалина С.В. Адаптивная изменчивость ассимиляционного аппарата основных лесобразующих видов растений // Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения: Матер. Междунар. науч. конф., посвящ. 135-летию со дня рождения И.И. Сарыгина. Пенза, 2008. Ч. 1. С. 55-58.

*Шпак О. В.* Эколого-физиологическая характеристика некоторых видов мхов в Хибинах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2008. 23 с.

*Bansal S., Nilson M-C., Wardle D. W.* Response of photosynthetic carbon gain to ecosystem retrogression of vascular plants and mosses in the forest // *Oecologia*. 2012. Vol. 169. P. 661-672.

*Grandall-Stotler B.J., Bartholomew-Began S.E.* Morphology of mosses (*Phylum Bryophyta*) // *Flora of America North of Mexico*. New York & Oxford. 2007. Vol. 27. P. 3-13.

## РОЛЬ САЛИЦИЛАТ- И ЭТИЛЕН-ЗАВИСИМЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ В РАЗВИТИИ ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ГРИБНОМ ПАТОГЕНЕЗЕ

О.В. Горбачева<sup>1</sup>, И.О. Дашкова<sup>1</sup>, Г.Ф. Бурханова<sup>2</sup>, Т.В. Нужная<sup>2</sup>, С.В. Веселова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Башкирский педагогический университет им. М. Акмуллы

<sup>2</sup> Институт биохимии и генетики Уфимского НЦ РАН

E-mail: [lisi4ka.1991@bk.ru](mailto:lisi4ka.1991@bk.ru), [veselova75@rambler.ru](mailto:veselova75@rambler.ru)

Защитные реакции растений, лежащие в основе развития как локальной, так и системной устойчивости, направлены на предотвращение развития и распространения патогена либо через разрушение структур гриба, либо через укрепление клеточной стенки растения-хозяина. Регуляция этих защитных реакций зависит от взаимодействия фитогормонов (Almagro et al., 2009; Ding et al., 2011). **Инфицирование стимулирует растение к синтезу одного или более гормонов в зависимости от типа патогена. Салицилат (СК)- и этилен-зависимые защитные ответы растений при патогенезе – два сигнальных пути, проявляющих антагонизм (Ding et al., 2011). Так, СК индуцирует в растениях системную приобретенную устойчивость (СПУ) к биотрофным патогенам, а этилен участвует в индукции системных защитных ответов растений против некротрофов (Шакирова, Сахабутдинова, 2003; Wi et al., 2012). Кроме того, этилен может подавлять иммунитет к биотрофным и гембиотрофным патогенам (Wi et al., 2012), что может быть одним из проявлений антагонизма с салицилатным сигналингом. Однако влияние этилена на СК-путь неоднозначно и остается не до конца изученным (Ding et al., 2011). Формирование системной устойчивости, которую связывают с синтезом сигнальных молекул в тканях растений, предполагает индукцию экспрессии ряда генов защитных PR-белков (pathogenesis related-proteins), обладающих антимикробной и антифунгальной активностями (PR-1, бета-1.3-глюканазы (PR-2), хитиназы (PR-3), ингибиторов протеиназ (PR-6), пероксидаз (PR-9) и т.д.). Накоплено много данных**

о роли СК и этилена в индукции экспрессии *PR*-генов на примере арабидопсиса в качестве модельного растения. Однако недостаточно изучено взаимодействие салицилатного и этиленового сигнальных путей у однодольных растений (Ding et al., 2011).

Цель данной работы – изучение влияния обработки СК, этефоном (ЭТ) (химическим предшественником этилена) и ингибитором рецепции этилена 1-метилциклопропеном (1-МЦП) на активность транскрипции генов *PR*-белков, кодирующих бета-1.3-глюканазу (*PR-2*), хитиназу I (*PR-3*), **PR-1 белок, а также на образование пероксида водорода ( $H_2O_2$ ) и лигнификацию клеточных стенок при формировании устойчивости растений пшеницы к грибу *Septoria nodorum* Berk.**

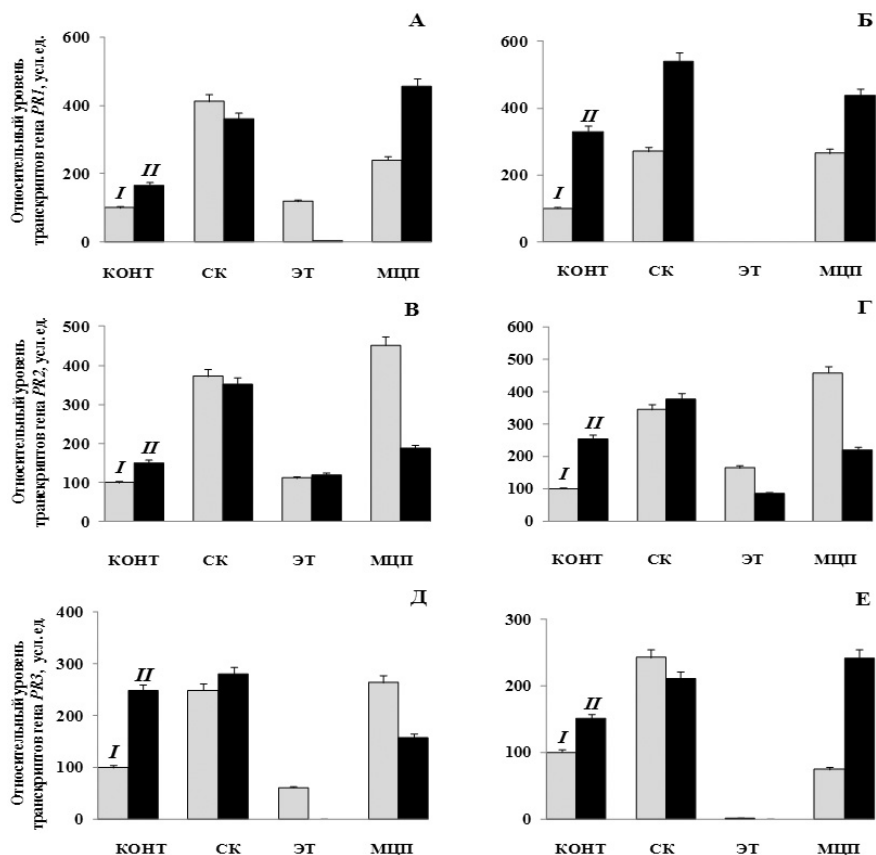
Объектом исследования служили семисуточные проростки мягкой яровой пшеницы сортов Казахстанская 10 (Каз10) (восприимчивый) и Омская 35 (Ом35) (устойчивый), контрастных по устойчивости к *S. nodorum* Berk, выращенные в лабораторных условиях на водной культуре, часть из которых предварительно подвергалась предпосевной обработке СК в концентрации 50 мкМ. Часть срезанных первых листьев проростков, помещенных в чашки Петри, обрабатывали раствором 1-МЦП («AgroFresh Inc, Spring House PA», USA) в концентрации 2 мМ, часть – раствором этефона (Sigma, Germany) в концентрации 1.5 мМ, а часть – дистиллированной водой, немедленно закрывали и помещали в темноту. Через 24 ч листья инфицировали суспензией пикноспор агрессивного штамма гриба *S. nodorum* ( $10^5$  спор/мл) из коллекции лаборатории. Симптомы развития септориоза оценивали по четырехбалльной системе. Площадь зоны поражения измеряли с помощью компьютерной программы ImageJ ([rsbweb.nih.gov/ij/download.html](http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html)). Тотальную РНК выделяли с помощью тризола согласно протоколу фирмы-поставщика (Molecular Research Center, Inc). Синтез кДНК проводили с использованием праймеров и фермента M-MLV обратной транскриптазы по протоколу фирмы-поставщика (Fermentas, США). Одноцепочечную кДНК использовали в реакции амплификации с праймерами к PR-1 белку *AF384143*, бета-1.3-глюканазе (*PR-2*) *DQ090946* и хитиназе I (*PR-3*) *CK207575* (Chen et al., 2008). Электрофорез полученных ампликонов проводили в 8% -ном полиакриламидном геле в электрофоретической камере Mini-Protean II Electrophoretic St-II («Bio-Rad», США). Гели после окрашивания в 0.5% -ном растворе этидия бромида фотодокументировали на системе Gel Camera System и данные обрабатывали с помощью программы LabWorks 4.6 (UVP, Inc., США). Содержание  $H_2O_2$  оценивали при 560 нм с использованием ксиленола оранжевого. Автофлуоресценцию лигнина наблюдали с помощью лазерного ска-

нирующего конфокального микроскопа (ЛСКМ) LSM-510 («Carl Zeiss», Германия). Все опыты проводились в трех биологических и трех аналитических повторностях.

Анализ развития септориоза на листьях пшеницы восприимчивого и устойчивого сортов показал, что обработанные этефоном растения становились чувствительны к грибу *S. nodorum*, так как на листьях развивались пикниды гриба, окруженные большими зонами хлорозов, занимающих до 50 и 40% площади листа соответственно (4 балла). Предпосевная обработка семян СК и обработка ингибитором рецепции этилена 1-МЦП повышали устойчивость растений пшеницы к септориозу, при этом наблюдалось развитие небольших зон некрозов без хлорозов и пикнид, занимающих от 10 до 20% площади листа (2, 1 балла соответственно у обоих сортов).

Анализ содержания транскриптов генов PR-белков показал, что при обработке салициловой кислотой уровень мРНК генов *PR-1*, *PR-2*, *PR-3* повышался как в контрольных, так и в инфицированных растениях по сравнению с неинфицированным контролем у обоих сортов (см. рисунок). При обработке растений устойчивого сорта этефоном транскрипты генов *PR-1* и *PR-3* не были обнаружены ни в контрольном варианте, ни при инфицировании (см. рисунок, Б, Е), тогда как у восприимчивого сорта транскрипты этих генов отсутствовали только при инфицировании, а без инфицирования оставались на уровне контроля (см. рисунок, А, Д). Этефон не влиял на уровень транскриптов гена *PR-2* контрольных растений, но при инфицировании количество мРНК этого гена снижалось у обоих сортов (см. рисунок, В, Г). Ингибирование рецепции этилена с помощью 1-МЦП приводило к повышению уровня транскриптов всех исследуемых генов, как в случае с обработкой СК (см. рисунок), из чего можно сделать предположение, что при обработке 1-МЦП в растениях развиваются СК-зависимые защитные реакции.

Скорее всего, повышение устойчивости растений пшеницы после обработки СК и 1-МЦП было связано с увеличением транскрипционной активности генов, кодирующих белки PR-1, PR-2, PR-3, которые обладают антифунгальной активностью и выполняют защитные функции. Так, например, растительные ферменты бета-1.3-глюканазы (PR-2) совместно с эндохитиназами (PR-3) принимают непосредственное участие в защите растений от патогенов путем гидролиза клеточных стенок грибов и деградации хитина. Разрушение клеточной стенки гиф гриба делает его чувствительным к лизису клеток, а высвобождение бета-1.3-глюканов и хитоолигосахаридов, являющихся элиситорами, запускает каскад



Влияние салициловой кислоты и этилена на накопление транскриптов генов, кодирующих белки PR-1 (А, Б), PR-2 (В, Г), PR-3 (Д, Е) в листьях растений пшеницы контрастных по устойчивости сортов Казахстанская 10 (А, В, Д) и Омская 35 (Б, Г, Е) через 24 ч после инфицирования грибом *S. nodorum*: I – контроль, II – инфицирование; КОНТ – контроль, СК – салициловая кислота, ЭТ – этефон, МЦП – 1-метилциклопропен.

защитных реакций широкого диапазона. Также известно положительное влияние СК на генерацию  $H_2O_2$ , синтез фенольных соединений и образование лигнина в клеточных стенках растений в местах проникновения патогена (Kawano, Furuichi, 2007). Однако, очень мало информации о влиянии этилена на эти процессы при патогенезе, особенно у однодольных растений (Ding et al., 2011). Обращают на себя внимание полученные нами данные о характере изменения генерации  $H_2O_2$  в листьях пшеницы при инфициро-



**Влияние салициловой кислоты и этилена на генерацию H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в листьях пшеницы через 24 ч после инфицирования грибом *S. nodorum***

Вариант	КОНТ	СК	ЭТ	МЦП
Казахстанская 10, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , мкМ/г сырой массы				
Контроль	15.9±0.9	33.1±4.6	12.9±1.0	20.0±2.0
<i>S. nodorum</i>	24.2±2.8	38.1±4.3	7.4±1.6	32.5±2.8
Омская 35, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , мкМ/г сырой массы				
Контроль	15.8±0.8	28.3±1.8	15.8±1.2	25.9±2.3
<i>S. nodorum</i>	33.1±3.2	43.7±3.8	18.3±1.4	39.5±3.1

*Примечание:* обозначения, как на рисунке.

вании (см. таблицу). В обработанных этефоном листьях генерация H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> подавлялась, а в предобработанных СК и 1-МЦП – усиливалась, по сравнению с необработанными инфицированными листьями обоих сортов (см. таблицу), причем обработка 1-МЦП усиливала отложение лигнина в клеточных стенках инфицированных листьев (данные не приведены), что может говорить об отрицательном влиянии этилена на развитие защитных реакций в растениях пшеницы при развитии септориоза.

Полученные нами результаты говорят о том, что положительное влияние СК и отрицательное влияние этилена на защитный ответ растений при гембиотрофной инфекции, проявляется на уровне регуляции экспрессии генов защитных белков, активности компонентов про-/антиоксидантной системы, синтеза защитных соединений, создающих барьер для развития патогена. Эти факты говорят о том, что рецепция этилена в растениях при гембиотрофной инфекции является одним из ключевых факторов, негативно влияющих на их защитный ответ, действуя, скорее всего, через подавление защитных реакций, регулирующихся СК.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-04-97079 p\_поволжье\_a).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Шакирова Ф.М., Сахабутдинова А.Р.* Сигнальная регуляция устойчивости растений к патогенам // Успехи современной биологии. 2003. Т. 123. № 6. С. 563-572.
- Almagro L., Gomez Ros L.V. et al.* Class III peroxidases in plant defence reactions // J. Exp. Botany. 2009. Vol. 60. P. 377-390.
- Chen L., Zhang Z.Y., Liang H.X. et al.* Overexpression of TiERF1 enhances resistance to sharp eyespot in transgenic wheat // J. Exp. Bot. 2008. Vol. 59. № 15. P. 4195-4204.
- Ding L., Xu H., Yi H. et al.* Resistance to hemi-biotrophic *F. graminearum* infection is associated with coordinated and ordered expression of diverse defense signaling pathways // PLoS ONE. 2011. Vol. 6. P. 19008.

*Kawano T., Furuichi T.* Salicylic acid as a defence-related plant hormone: Roles of oxidative and calcium signaling paths in salicylic acid biology // *Salicylic acid: A plant Hormone*. Ed. Hayat S., Ahmad A. Berlin. Heidelberg: Springer, 2007. P. 277-322.

*Wi S.J., Ji N.R., Park K.Y.* // *Physiol. Plant.* 2012. Vol. 159. № 1. P. 251-265.

## ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНОЙ БАКТЕРИИ *BACILLUS SUBTILIS* 26Д НА РАЗВИТИЕ ЖАСМОНАТ-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЙ В ИНФИЦИРОВАННЫХ *SEPTORIA NODORUM* BERK РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ

И.О. Дашкова<sup>1</sup>, О.В. Горбачева<sup>1</sup>, Г.Ф. Бурханова<sup>2</sup>,  
А.В. Сорокань<sup>2</sup>, С.В. Веселова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Башкирский педагогический университет им. М. Акмуллы

<sup>2</sup>Институт биохимии и генетики Уфимского НЦ РАН

E-mail: [irochkarutt@mail.ru](mailto:irochkarutt@mail.ru), [veselova75@rambler.ru](mailto:veselova75@rambler.ru)

Использование в качестве биопрепаратов, стимулирующих рост растений, микроорганизмов (СРРМ), к которым относят эндофитные, ризосферные и свободноживущие почвенные бактерии, является перспективным и быстро развивающимся направлением в системе защиты растений от патогенов. Применение СРРМ представляется привлекательным, так как в дополнение к их рост-стимулирующей активности, эти микроорганизмы способны, активизируя различные стороны метаболизма, обеспечивать высокий иммунный статус растений и повышать их неспецифическую устойчивость к широкому спектру патогенов, т.е. запускать так называемую системную индуцированную устойчивость (СИУ). Однако не ясно, каким образом регулируется взаимодействие растений и эндофитов, как запускается защитная система растений-хозяев. Одними из основных индукторов защитных систем растений считаются сигнальные молекулы – салициловая (СК) и жасмоновая (ЖК) кислоты, выработка которых бактериями доказана (Van Loon, 2007). Считается, что СК индуцирует в растениях системную приобретенную устойчивость (СПУ) к биотрофным патогенам, а ЖК – СИУ к фитофагам и некротрофам. Также известно, что повышение устойчивости растений сопровождается системной активацией транскрипции *PR*-генов и синтеза самих *PR*-белков (**pathogenesis related-proteins**), **принимающих участие в защитных реакциях**, направленных на предотвращение развития и распространения патогена, либо через разрушение структур гриба, либо через укрепление клеточной стенки растения-хозяина.

Исходя из этого, цель данной работы – изучение влияния последовательной обработки ЖК и эндофитной бактерией *Bacillus subtilis* (штамм 26Д) на активность транскрипции генов PR-белков, кодирующих бета-1.3-глюканазу (PR-2), хитиназу (PR-3), анионную пероксидазу (PR-9), а также на образование пероксида водорода ( $H_2O_2$ ), изменение активности пероксидазы (ПО) и лигнификацию клеточных стенок в растениях пшеницы при инфицировании гембиотрофным грибом *Septoria nodorum* Berk.

Объектом исследований служили 10-суточные проростки мягкой яровой пшеницы сорта Жница, выращенные в лабораторных условиях на водной культуре, часть из которых предварительно подвергалась предпосевной обработке ЖК в двух концентрациях ( $10^{-7}$  и  $10^{-12}$  М). За три дня до инфицирования половину всех растений опрыскивали суспензией спор эндофитного штамма бактерии *Bacillus subtilis* 26Д в концентрации  $10^5$  кл/мл, другую половину обрабатывали дистиллированной водой. Срезанные первые листья проростков всех вариантов обработок, помещенных в чашки Петри, инокулировали суспензией пикноспор агрессивного штамма гриба *S. nodorum* ( $10^5$  спор/мл) из коллекции лаборатории. Площадь зоны поражения измеряли с помощью компьютерной программы ImageJ ([rsbweb.nih.gov/ij/download.html](http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html)).

Тотальную РНК выделяли с помощью тризола согласно протоколу фирмы-поставщика (Molecular Research Center, Inc). Синтез кДНК проводили с использованием праймеров и фермента M-MLV обратной транскриптазы по протоколу фирмы-поставщика (Fermentas, США). Одноцепочечную кДНК использовали в реакции амплификации с праймерами к анионной пероксидазе пшеницы (Ap) TC151917 (Бурханова и др., 2007), бета-1.3-глюканазе (PR-2) DQ090946 и хитиназе I (PR-3) CK207575 (Chen et al., 2008). Электрофорез полученных ампликонов проводили в 8%-ном полиакриламидном геле в электрофоретической камере Mini-Protean II Electrophoretic Ct-II (Bio-Rad, США). Гели после окрашивания в 0.5%-ном растворе этидия бромидом фотодокументировали на системе Gel Camera System, и данные обрабатывали с помощью программы LabWorks 4.6 (UVP, Inc., США). Содержание  $H_2O_2$  оценивали при 560 нм с использованием ксиленола оранжевого. Активность ПО определяли по окислению (o-) фенолендиамина (ОФД) в присутствии  $H_2O_2$  при 490 нм. Автофлуоресценцию лигнина наблюдали с помощью универсального микроскопа проходящего и отраженного света «Axio Imager M1» («Carl Zeiss», Германия). Все опыты проводились в трех биологических и трех аналитических повторностях.

В инфицированных растениях, обработанных ЖК ( $10^{-7}$  М) или *B. subtilis* 26Д, наблюдалось многократное торможение развития болезни по сравнению с необработанными растениями (табл. 1), что предполагает их иммунизирующий эффект. Однако, совместное применение ЖК ( $10^{-7}$  М) и бактерии привело к снижению защитного эффекта и более сильному развитию инфекции (табл. 1), что предполагает интерференцию запускаемых ими сигнальных путей.

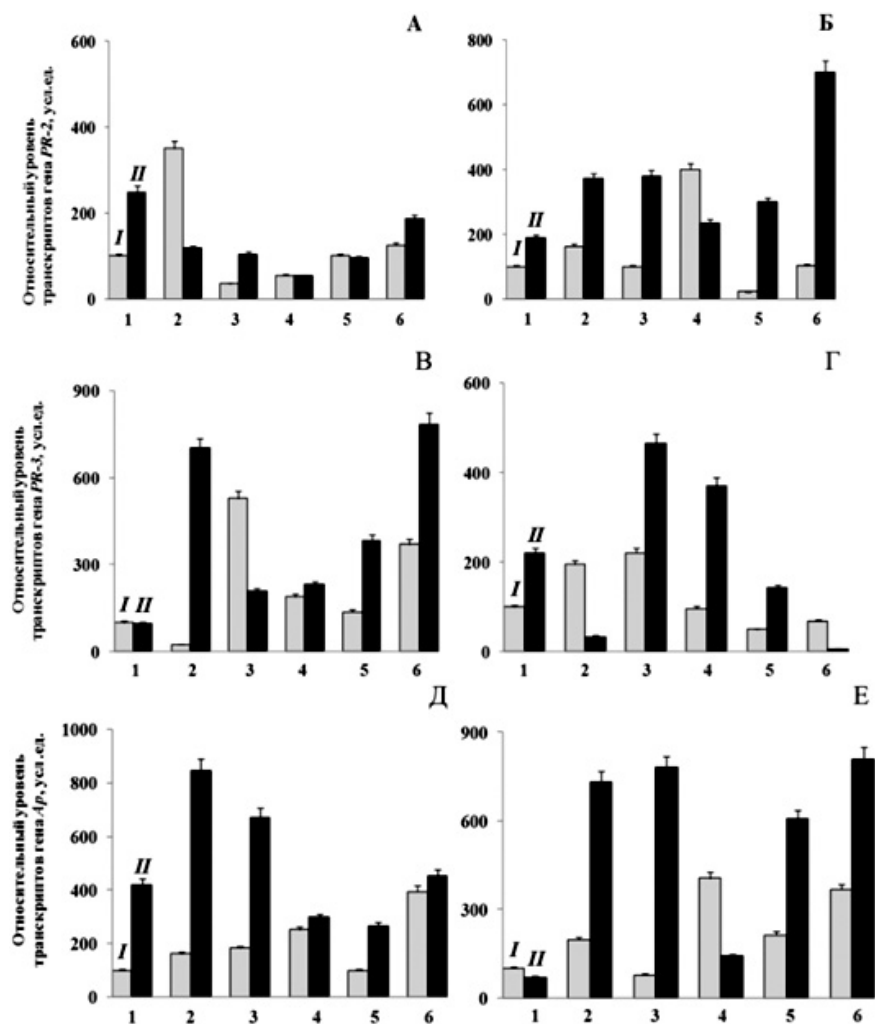
Из литературных данных известно, что концентрации ЖК  $10^{-7}$  и  $10^{-12}$  М имеют максимальный ростстимулирующий эффект на растения пшеницы (Сахабутдинова и др., 2009). Обработка растений ЖК ( $10^{-12}$  М) также приводила к торможению симптомов развития болезни у инфицированных растений, причем при совместном применении с *B. subtilis* 26Д снижение защитного эффекта не обнаружено (табл. 1).

СРРМ, так же как и ЖК, способны активировать в растениях различные ферменты, участвующие в защите растений от стрессоров (пероксидазу, бета-1.3-глюканазу, хитиназу), а также индуцировать накопление активных форм кислорода (АФК), в том числе  $H_2O_2$  (Van Loon, 2007; Almagro et al., 2008). Развитие защитных реакций, несомненно, связано с индукцией транскрипционной активности генов, кодирующих определенные защитные белки. Растительные ферменты бета-1.3-глюканазы (PR-2) совместно с эндохитиназами (PR-3) принимают непосредственное участие в защите растений от патогенов путем гидролиза клеточных стенок грибов. Первые действуют, напрямую разрушая 1.3/1.6-глюканы в грибной клеточной стенке, а вторые катализируют деградацию хитина (Balasubramanian et al., 2012). Наибольшее количество транскриптов гена *PR-2* наблюдалось через 72 ч после инфицирования в растениях пшеницы, обработанных ЖК ( $10^{-7}$  М), *B. subtilis* 26Д и при совместном применении ЖК ( $10^{-12}$  М) с бактерией (см. рисунок, Б), что может говорить о регуляции транскрипции этого гена как ЖК, так и бактерией. В то же время при совместном применении

Таблица 1

Влияние жасмоновой кислоты и *B. subtilis* 26Д на развитие септориоза в листьях растений пшеницы

Варианты	Контроль	<i>B. subtilis</i>	ЖК $10^{-7}$ М	<i>B. subtilis</i> + ЖК $10^{-7}$ М	ЖК $10^{-12}$ М	<i>B. subtilis</i> + ЖК $10^{-12}$ М
Площадь поражения, мм <sup>2</sup>	42.1±3.1	12.0±0.6	15.3±0.8	28.6±1.6	17.2±0.5	9.1±1.1



Влияние жасмоновой кислоты и *B. subtilis* 26Д на накопление транскриптов генов, кодирующих белки PR-2 (А, Б), PR-3 (В, Г) и анионную пероксидазу (Д, Е) в листьях пшеницы через 24 ч (А, В, Д) и 72 (Б, Г, Е) после инфицирования *S. nodorum*: 1 – вода, 2 – *B. subtilis*, 3 – ЖК  $10^{-7}$  М, 4 – *B. subtilis* + ЖК  $10^{-7}$  М, 5 – ЖК  $10^{-12}$  М, 6 – *B. subtilis* + ЖК  $10^{-12}$  М; I – контроль, II – инфицирование.

ЖК ( $10^{-7}$  М) и *B. subtilis* 26Д обнаружено снижение содержания транскриптов этого гена на протяжении всего эксперимента (см. рисунок, А, Б). Максимальное накопление транскриптов гена *PR-3* наблюдалось через 24 ч после инфицирования в растениях, преобработанных чистым штаммом *B. subtilis* 26Д и бактерией совместно с ЖК ( $10^{-12}$  М), но не ЖК ( $10^{-7}$  М), а в варианте с ЖК ( $10^{-7}$  М) накопление транскриптов этого гена наблюдалось только через 72 ч после инфицирования (рис. 1В, Г). Определенные изоформы растительного фермента пероксидазы (ПО) при патогенезе вовлекаются в синтез антимикробных соединений (фитоалексинов, алкалоидов и терпенов) и катализируют формирование лигнина, что коррелирует с устойчивостью растений (Almagro et al., 2009). **Наибольшее содержание транскриптов гена анионной пероксидазы (*Ap*) пшеницы в наших экспериментах наблюдалось в вариантах с обработкой ЖК ( $10^{-7}$  М), *B. subtilis* 26Д, ЖК ( $10^{-12}$  М) совместно с бактерией, а наименьшее – ЖК ( $10^{-7}$  М) совместно с бактерией (см. рисунок, Д, Е).**

Аналогично менялась активность фермента, которая максимально возростала в инфицированных растениях преобработанных ЖК ( $10^{-7}$  М) или *B. subtilis* 26Д, и максимально снижалась в варианте совместной обработки бактерией с ЖК ( $10^{-7}$  М), но не ЖК ( $10^{-12}$  М) (табл. 2). Кроме того, в вариантах с высокой активностью ПО увеличивалась генерация  $H_2O_2$  (табл. 2), что приводило к усилению лигнификации клеточных стенок в местах поражения (данные не приведены). И, наоборот, в случае совместной обработки ЖК ( $10^{-7}$  М) с бациллой подавлялась не только активность ПО, но и генерация  $H_2O_2$  (табл. 2). Интересно, что процесс образования лигнина коррелировал с повышением активности ПО, уровень которой был выше всего у растений, обработанных ЖК ( $10^{-7}$  М) (табл. 2).

Таблица 2  
Влияние жасмоновой кислоты и *B. subtilis* 26Д на генерацию пероксида водорода (24 ч после инфицирования) и активность пероксидазы (48 чпи) в листьях пшеницы при инфицировании *S. nodorum*

Варианты	Контроль	<i>B. subtilis</i>	ЖК $10^{-7}$ М	<i>B. subtilis</i> + ЖК $10^{-7}$ М	ЖК $10^{-12}$ М	<i>B. subtilis</i> + ЖК $10^{-12}$ М
ПО, оп.ед./ мг белка	33.1±3.5	50.1±5.3	75.1±4.7	13.4±0.1	27.0±0.3	39.6±3.2
$H_2O_2$ , мкМ/ г сыр.масс.	24.7±1.2	36.1±1.8	46.6±2.0	13.6±0.2	35.0±1.9	33.0±0.8

Эффект интерференции сигнальных путей при совместном применении бактерии и ЖК зависел от концентрации последней и проявлялся в подавлении транскрипционной активности генов, регулирующих как ЖК, так и бактерий. Повышение чувствительности растений к патогену могло быть связано как с уменьшением гидролиза клеточных стенок грибов, так и с недостаточной лигнизацией клеточных стенок растения-хозяина.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-04-97079 p\_поволжье\_a).

#### ЛИТЕРАТУРА

Бурханова Г.Ф., Яруллина Л.Г., Максимов И.В. Пути регуляции хитоолигосахаридами защитных реакций в растениях пшеницы при инфицировании *Bipolaris sorokiniana* // Физиол. раст. 2007. Т. 54. С. 119-126.

Сахабутдинова А.Р., Ласточкина О.В., Шакирова Ф.М. Влияние метилжасмоната на рост и гормональный статус проростков пшеницы // Агрехимия. 2009. № 7. С. 48-53.

Almagro L., Gomez Ros L.V., Belchi-Navarro S. et al. Class III peroxidases in plant defence reactions // J. Exp. Bot. 2008. Vol. 59. № 15. P. 4195-4204.

Balasubramanian V., Vashisht D., Cletus J., Sakthivel N. Plant  $\alpha$ -1,3-glucanases: their biological functions and transgenic expression against phytopathogenic fungi // Biotechnol Lett. 2012. Vol. 34. P. 1983-1990.

Chen L., Zhang Z.Y., Liang H.X. et al. Overexpression of TiERF1 enhances resistance to sharp eyespot in transgenic wheat // J. Exp. Bot. 2008. Vol. 59. № 15 P. 377-390.

Van Loon L.C. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria // Eur. J. Plant Pathol. 2007. Vol. 119. P. 243-254.

### ВЛИЯНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ *NOSTOC MUSCORUM* НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ К ДЕЙСТВИЮ МЕТИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Е.В. Коваль<sup>1</sup>, С.Ю. Огородникова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный гуманитарный университет

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

E-mail: undina2-10@yandex.ru

В биосферу поступают различные загрязняющие вещества, в том числе содержащие биогенные элементы. К таким соединениям относятся фосфорсодержащие вещества – метилфосфонаты. Метилфосфоновая кислота (МФК) – конечный продукт гидролиза и универсальный маркер фосфорсодержащих отравляющих веществ ( $\text{CH}_5\text{O}_3\text{P}$ ), она устойчива в природных условиях и сохра-



няется в почве десятилетиями (Савельева и др., 2002). Наличие стабильной углерод-фосфорной связи в молекуле МФК делает ее устойчивой к тепловому воздействию, гидролизу и фотолузу (Коновина, Несмеянова, 2002). Есть данные, что некоторые прокариотические микроорганизмы и низшие эукариоты способны расщеплять С–Р связь (Quinn, 1989). Ряд цианобактерий (ЦБ) проявляет устойчивость к фосфорорганическим токсикантам (Домрачева и др., 2008). Кроме того, ЦБ потенциально обладают большими адаптационными, биоремедиационными и антагонистическими способностями, многие из которых до сих пор не изучены.

Цель работы – изучить влияние ЦБ *Nostoc muscorum* на фитотоксическое действие МФК для растений ячменя с. Новичок.

Объектами исследования были растения ячменя с. Новичок и ЦБ *N. muscorum*. ЦБ взяты из музея фототрофных микроорганизмов кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э.А. Штиной ВятГСХА.

Для оценки влияния МФК на ЦБ культуру *N. muscorum* инкубировали на растворе МФК ( $5 \times 10^{-4}$  и  $1 \times 10^{-3}$  М) в течение суток, после чего определяли активность ПОЛ и количество хлорофилла *a*.

Семена ячменя проращивали в чашках Петри на дистиллированной воде с добавлением ЦБ и без. Семидневные проростки ячменя пересаживали в сосуды на водную среду, в качестве которой использовали питательный раствор Кнопа (контроль), растворы МФК, приготовленные на растворе Кнопа ( $5 \times 10^{-4}$  и  $1 \times 10^{-3}$  М). Возраст культуры ЦБ – девять недель, титр –  $6.5 \times 10^7$ .

Изучали влияние обработки растений ЦБ на функциональный статус растений, выращенных в присутствии МФК, по показателям: интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), содержание пластидных пигментов.

Интенсивность перекисного окисления липидов анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), который образуется в процессе ПОЛ (Лукаткин, 2002). Определяли накопление МДА в культуре ЦБ (нмоль/мл), листьях и корнях ячменя (нмоль/г сырой массы).

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя определяли фотометрическим методом на спектрофотометре «Specol» (Германия) в ацетоновой вытяжке (Шлык, 1971), хлорофилл *a* в ЦБ – спектрофотометрически (Standard procedure..., 2000). Для приготовления растворов использовали метилфосфовую кислоту фирмы Lancaster (Англия), содержащую 98% действующего вещества.

Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных статистических методов (Лакин, 1973).

МФК в изученных концентрациях не оказывала токсического действия на ЦБ. МФК в низкой концентрации ( $5 \times 10^{-4}$  М) стимулировала накопление хлорофилла *a* в культуре *N. muscorum* в 2.5 раза (табл. 1). МФК более высокой концентрации ( $1 \times 10^{-3}$  М) также вызывала рост количества хлорофилла *a*, но в меньшей степени (табл. 1). Под влиянием МФК ( $1 \times 10^{-3}$  М) происходило возрастание интенсивности процессов ПОЛ в клетках ЦБ в 1.6 раза, по сравнению с контролем. МФК более низкой концентрации ( $5 \times 10^{-4}$  М) не вызывала изменение интенсивности процессов ПОЛ.

Изучено влияние МФК, ЦБ и их совместное действие на жизнеспособность семян, которую оценивали по активности дегидрогеназ. Обработка ЦБ вызывала увеличение жизнеспособности семян (табл. 2). МФК в низкой концентрации ( $5 \times 10^{-4}$  М) также стимулировала жизнеспособность семян, причем эффект усиливался в присутствии ЦБ. В вариантах с МФК более высокой концентрации ( $1 \times 10^{-3}$  М) и МФК в присутствии ЦБ жизнеспособность семян была близка к контролю.

Изучено влияние МФК, ЦБ и их совместное действие на показатели жизнедеятельности растений. Выращивание растений в присутствии ЦБ приводило к снижению интенсивности процессов ПОЛ в клетках ячменя (см. рисунок).

В варианте с действием МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М) также отмечали снижение интенсивности процессов ПОЛ, которое было выражено в большей степени в корнях. Совместное действие МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М) и ЦБ вызывало возрастание (в 1.3 раза) уровня МДА в корнях, по сравнению с действием ЦБ и МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М). Под влиянием МФК высокой концентрации интенсивность процессов ПОЛ в клетках корней была близка к контролю, в листьях – ниже контрольного уровня на 13%. Совместное действие МФК ( $1 \times 10^{-3}$  М) и ЦБ индуцировало активацию окислительных процессов в клетках корней, накопление МДА превышало в 2.5 раза значения в контроле. В листьях интенсивность процессов ПОЛ при действии МФК ( $1 \times 10^{-3}$  М) и ЦБ была близка к значениям в варианте с действием МФК ( $1 \times 10^{-3}$  М).

Таблица 1

**Влияние МФК на содержание хлорофилла *a* и активность ПОЛ в клетках *N. muscorum***

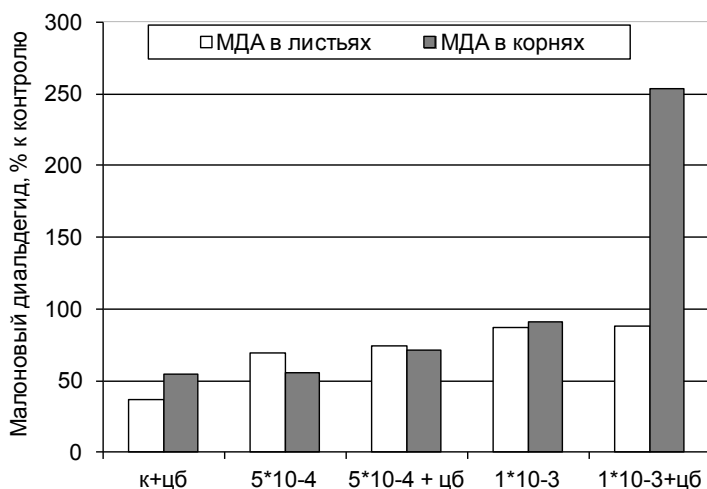
Концентрация МФК	Содержание, % к контролю	
	малонового диальдегида	хлорофилла <i>a</i>
$5 \cdot 10^{-4}$ М	92.5	251.0
$1 \cdot 10^{-3}$ М	156.8	140.8

Таблица 2

Влияние МФК и ЦБ *N. muscorum* на жизнеспособность семян ячменя

Вариант опыта	Контроль (вода)		МФК ( $5 \cdot 10^{-4}$ М)		МФК ( $1 \cdot 10^{-3}$ М)	
	Контроль	К+ЦБ	МФК	МФК+ЦБ	МФК	МФК+ЦБ
Количество жизнеспособных семян, % к контролю	100	107	108	111	102	101

Важным показателем функционального статуса растений является содержание пластидных пигментов. Каротиноиды – пластидные пигменты, которые выполняют протекторную функцию в клетке, они взаимодействуют с органическими радикалами жирных кислот, действуя при этом в качестве «ловушек» радикалов (Кошкин, 2010). В листьях опытных растений, по сравнению с контролем, происходило повышенное накопление каротиноидов (табл. 3). Самое высокое содержание желтых пигментов отмечали в листьях растений, выращенных в присутствии ЦБ, и в вариантах с действием МФК низкой концентрации ( $5 \cdot 10^{-4}$  М) и МФК с добавлением ЦБ. МФК в высокой концентрации ( $1 \cdot 10^{-3}$  М) в меньшей степени стимулировала накопление желтых пигментов в листьях. Отмечена тесная обратная зависимость между содержанием каротиноидов и интенсивностью процессов ПОЛ в листьях ячменя ( $r = -0.83$ ), что свидетельствует об активации антиоксидантной системы в растительных тканях в ответ на действие ЦБ и МФК. При-



Влияние МФК и ЦБ на интенсивность процессов ПОЛ в корнях и листьях ячменя.

Таблица 3

**Действие метилфосфоновой кислоты (МФК) и ЦБ *N. muscorum* на содержание пластидных пигментов в листьях ячменя, мг/г сухой массы**

Вариант	Хлорофиллы			Каротиноиды
	а	б	а+б	
Контроль (0)	5.72±0.42	1.54±0.01	7.26	0.86±0.11
Контроль (0)+ЦБ	5.42±0.20	1.92±0.28	7.35	1.98±0.01
МФК (5·10 <sup>-4</sup> )	5.59±0.15	1.91±0.07	7.49	1.84±0.07
МФК (5·10 <sup>-4</sup> )+ЦБ	5.75±0.69	1.91±0.21	7.66	1.92±0.20
МФК (1·10 <sup>-3</sup> )	4.09±0.21	1.48±0.24	5.58	1.26±0.03
МФК (1·10 <sup>-3</sup> ) + ЦБ	4.37±0.40	1.64±0.21	6.01	1.45±0.17

чем, наиболее эффективно антиоксидантная защита проявляется в вариантах с ЦБ и МФК низкой концентрации ( $5 \times 10^{-4}$  М), что подтверждается данными по содержанию в листьях зеленых пигментов – хлорофиллов. Количество хлорофиллов в листьях ячменя, выращенного в присутствии ЦБ, МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М) и МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М) с добавлением ЦБ, было близко к контролю. В вариантах с действием МФК ( $1 \times 10^{-3}$  М) и МФК в присутствии ЦБ отмечали снижение содержания хлорофиллов в 1.2 раза, по сравнению с контролем.

Установлено, что предварительная обработка семян ЦБ привела к увеличению жизнеспособности семян в условиях действия МФК низкой концентрации ( $5 \times 10^{-4}$  М). При действии ЦБ, МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М) и МФК ( $5 \times 10^{-4}$  М) в присутствии ЦБ отмечали снижение интенсивности процессов ПОЛ и значительное возрастание накопления каротиноидов, что свидетельствует об активации антиоксидантной защиты. МФК более высокой концентрации ( $1 \times 10^{-3}$  М) и МФК с добавлением ЦБ вызвала возрастание интенсивности окислительных процессов в растительных тканях, что привело к снижению уровня хлорофиллов. Причем, предварительная обработка семян ЦБ не снижала токсического действия МФК ( $1 \times 10^{-3}$  М) на растения, напротив, отмечали усиление процессов ПОЛ в корнях при совместном действии МФК и ЦБ. На основании проведенных модельных опытов можно сделать вывод, что предварительная обработка семян ЦБ *N. muscorum* не оказывает выраженного протекторного воздействия на растения, произрастающие в присутствии МФК, но стимулирует всхожесть семян и индуцирует активацию антиоксидантной системы растений.

#### ЛИТЕРАТУРА

Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я. Применение тетра-  
зольно-топографического метода определения дегидрогеназной активно-

сти цианобактерий в загрязненных средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23.

Кононова С.В., Несмеянова М.А. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами // Биохимия. 2002. Т. 67. Вып. 2. С. 220-233.

Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010. 638 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.

Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.

Огородникова С.Ю., Головкин Т.К., Ашихмина Т.Я. Реакции растений на фосфорорганический ксенобиотик – метилфосфоновую кислоту. Сыктывкар, 2004. 24 с.

Савельева Е.И., Зенкевич И.Г., Кузнецова Т.А. и др. Исследование продуктов превращений фосфорорганических отравляющих веществ методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии // Российский химический журнал. 2002. Т. XLVI. № 6. С. 82-91.

Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154-171.

Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. Institute of Marine Research. Norway, 2000. 25 p.

Quinn J.P., Peden J.M.M., Dick R.E. // Appl. Microbiol Biotechnol. 1989. Vol. 31. P. 283-287.

## **ВЛИЯНИЕ УФ-РАДИАЦИИ НА АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ И ПРОЦЕССЫ ЛИПОПРЕОКСИДАЦИИ ЛИСТЬЕВ *PLANTAGO MEDIA* L.**

**Е.В. Коковкина, И.Г. Захой, И.В. Далькэ**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [Kokovkina@ib.komisc.ru](mailto:Kokovkina@ib.komisc.ru)

Биосфера получает солнечную радиацию с длиной волны от 280 до  $10^5$  нм. Коротковолновая область (280-380 нм) относится к ультрафиолетовому излучению (УФ). Его доля в солнечном спектре на поверхности Земли составляет в среднем 2%. Озоновый слой препятствует проникновению губительной для биосферы УФ-С-радиации и значительно снижает поступление ближней УФ-В (280-315 нм)- и УФ-А (315-400 нм)-радиации. По данным Всемирной метеорологической организации, в последние десятилетия наблюдается уменьшение озонового слоя в атмосфере ежегодно на 0.6%, что эквивалентно увеличению поступления УФ-В-радиации примерно на 1.2%. Подсчитано, что поступление УФ-В-радиации в умеренных широтах в последующие 15 лет может возрасти на

5-10% (Lidon, Ramalho, 2011). В связи с этим изучение влияния УФ облучения на живые организмы весьма актуально.

Одним из наиболее повреждающих последствий действия стрессоров различной природы, в том числе и УФ-В-радиации, является окислительный стресс (Blokhina et al., 2003). Окислительный стресс возникает и развивается в результате усиленного образования активных форм кислорода (АФК). Взаимодействие активных радикалов с белками, липидами, нуклеиновыми кислотами приводит к мутагенезу, нарушению структуры и функции мембран (прежде всего в хлоропластах), ферментов, фотосинтеза (инактивации фотосистемы II, снижению активности рибулозо-1,5-бисфосфат карбоксилазы/оксигеназы (РуБФК/О), уменьшению концентрации хлорофиллов и каротиноидов), водного обмена и, в итоге, к остановке клеточного цикла и смерти (Mittler, 2002). Для нейтрализации АФК растения используют антиоксидантную систему, представленную низкомолекулярными соединениями и специализированными ферментами.

Цель данной работы – выявить изменения в активности антиоксидантных ферментов и процессов перекисного окисления липидов при действии УФ (А+В) радиации в листьях растений двух световых фенотипов *Plantago media* L.

*Plantago media* L. – многолетнее травянистое растение сем. *Plantaginaceae*. Данный вид является типичным растением таежной зоны гомарктического бореального пояса (Флора..., 1976). Ареал этого вида охватывает Европу, Сибирь, Переднюю и Среднюю Азию.

Исследования проводили в первой половине июля 2013 г. на территории ботанического заказника «Сойвинский» (62°45' с.ш., 55°49' в.д.). Две группы растений *P. media* произрастали на левом берегу р. Сойва в непосредственной близости друг от друга: на слабо заросшем склоне юго-восточной экспозиции (С-растения) и на террасе в густом травостое (Т-растения). Измерения микроклиматических показателей, проведенных с помощью портативной метеостанции (Data Logger LI-1400, USA), показали, что условия на склоне характеризовались более высокими дневными температурами, пониженной влажностью воздуха и более высоким уровнем освещенности на протяжении всего фотопериода по сравнению с условиями в густом травостое.

Ранее было показано, что экологические условия способствуют формированию экотипов с устойчивым к фотоингибированию фотосинтетическим аппаратом (Головки и др., 2011). Вместе с тем, инструментальные наблюдения показали, что интенсивность УФ облучения световых листьев в естественных условиях может до-

стигать 16 Вт/м<sup>2</sup>, причем доля УФ-В составляла 5-7%. При этом суточная доза поступления УФ в светлом местообитании на порядок выше, по сравнению с теневыми условиями. Следовательно, растения светового фенотипа должны адаптироваться не только к воздействию повышенной ФАР, но и к действию ближней УФ-радиации.

Чтобы проверить эту гипотезу, мы исследовали устойчивость листьев растений *P. media* к действию ближней УФ (А+В) радиации. Опытные образцы растений светового и теневого фенотипов экспонировали под лампами ЛЭР 40-М при низкой (2.2 Вт/м<sup>2</sup>) и высокой (6.0 Вт/м<sup>2</sup>) интенсивности УФ (А+В). Вклад УФ-В радиации был примерно вдвое выше, чем УФ-А. В первом варианте листья получали за час дозу УФ (А+В) порядка 7 кДж/м<sup>2</sup>, во втором – около 22 кДж/м<sup>2</sup>. Контролем служили листья, выдерживаемые при умеренном освещении в условиях полного отсутствия УФ. Пробы фиксировали жидким азотом и хранили при температуре –70 °С.

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) определяли по накоплению в тканях растений *P. media* ТБК-реагирующих продуктов (Uchiyama, Mihara, 1978), активность супероксиддисмутазы (СОД) – согласно (Beauchamp, Fridovich, 1971), активность пероксидазы оценивали по скорости полимеризации гваякола до тетрагваякола (Chance, Maehly, 1955).

Неспецифической реакцией растений на повышенные дозы УФ является развитие окислительного стресса, о чем может свидетельствовать накопление в клетках продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). Нами не выявлено достоверных изменений в содержании ТБК-реагирующих продуктов в листьях С-растений при экспозиции к различной дозе УФ (А+В) (см. таблицу). В листьях Т-растений, неадаптированных к высокой инсоляции, наблюдали увеличение активности процессов ПОЛ на 10-14% по сравнению с контрольным вариантом. В листьях светового фенотипа активность СОД не менялась. В листьях Т-растений активность СОД увеличилась на 25 и 35% при экспозиции к низкой и высокой дозе УФ-радиации соответственно.

Поскольку основными мишенями действия УФ в фотосинтезирующих клетках являются хлоропласты, для более полной характеристики чувствительности листьев теневых растений к УФ исследовали СО<sub>2</sub>-газообмен и фотохимическую активность ФС 2 (см. рисунок). Экспозиция к высокой дозе УФ в течение 1.5 ч подавляла скорость видимого фотосинтеза почти на 70%, тогда как низкая доза УФ ингибировала ассимиляцию СО<sub>2</sub> на 30%. При действии УФ потенциальная фотохимическая активность ФС 2 (Fv/Fm) снижалась в среднем на 10 и 20% соответственно.



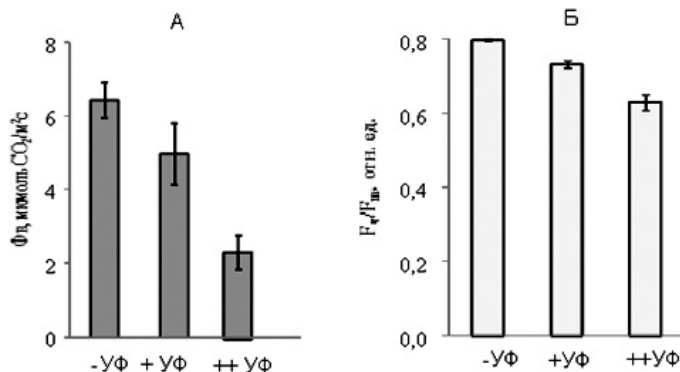
**Влияние УФ (А+В)-радиации на активность супероксиддисмутазы (СОД, ед./мг белка) и содержание ТБК-реагирующих продуктов (ТБК-РП, нМ/г сухой массы) в листьях светового и теневого фенотипов *P. media***

Вариант	С-растения			Т-растения		
	-УФ	+УФ	++УФ	-УФ	+УФ	++УФ
СОД	3.1±0.1	2.8±0.3	2.7±0.3	4.0±0.5	5.3±0.2*	6.0±0.5*
ТБК-РП	133±14	145±21	148±8	183±22	213±14	204±12

Примечание: -УФ, +УФ и ++УФ: без воздействия УФ-радиации, при экспозиции к УФ в дозе 7 и 22 кДж/м<sup>2</sup> за час соответственно.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что фотосинтетический аппарат светового фенотипа растений *P. media*, адаптированный к высокому уровню поступления ФАР, более устойчив к действию повышенных доз УФ-радиации, о чем свидетельствуют незначительные изменения активности ПОЛ. В ответ на действие УФ облучения в листьях светового фенотипа растений *P. media* не наблюдали стресс-зависимой индукции активности ключевого фермента антиоксидантной защиты – СОД. По-видимому, конститутивный уровень общей активности СОД был достаточным для детоксикации супероксида. С другой стороны, воздействие УФ на неадаптированные к высокой солнечной инсоляции растения привело к увеличению содержания продуктов липопероксидации и активности СОД, что связано с образованием АФК.

Известно, что среди основных повреждающих эффектов УФ на растения является формирование свободных радикалов (Strid



Влияние УФ (А+В)-радиации на видимый фотосинтез (А) и максимальный квантовый выход ФС2 листьев теневых растений *P. media*. Обозначения вариантов как в таблице.

et al., 1994; Han et al., 2009), а одна из главных мишеней АФК – фотосинтетический аппарат растений. Экспозиция к УФ-радиации оказывала отрицательный эффект на фотосинтетический аппарат теневых листьев, что выражалось в ингибировании ассимиляции  $\text{CO}_2$  и снижении фотохимической активности ФС2.

Работа выполнена при поддержке гранта УрО РАН №14-С-4-1015.

#### ЛИТЕРАТУРА

Головко Т.К., Далькэ И.В., Захой И.Г. и др. Функциональная пластичность и устойчивость фотосинтетического аппарата *Plantago media* к фотоингибированию // Физиол. раст. 2011. Т. 58. С. 490-501.

Флора северо-востока европейской части СССР. Т. IV. Семейство *Umbelliferae-Compositae* / Под ред. А.И. Толмачева. Л.: Наука, 1976.

Aebi H. Methods of Enzymatic Analysis. Weinheim. 1971. Vol. 3. P. 273-286.

Beauchamp C., Fridovich I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels // Analytic. Biochem. 1971. Vol. 44. P. 276-287

Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K.V. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress. A Review // Ann. Bot. 2003. Vol. 91. P. 179-194.

Chance B., Maehly A. Assay catalase and peroxidase. Methods in Enzymology. N.-Y.: Academic Press. 1955. P. 764-775.

Han C., Liu Q., Yang Y. Short-term effects of experimental warming and enhanced UV-B-radiation on photosynthesis and antioxidant defenses of *Picea asperata* seedlings // Plant Grow Regul. Vol. 58. P. 153-162.

Lidon F.C., Ramalho J.C. Impact of UV-B-irradiation on photosynthetic performance and chloroplast membrane components in *Oryza sativa* L. // J. Photochem. Photobiol., 2011. Vol. 104. P. 475-466.

Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends in Plant Sci. 2002. Vol. 7. P. 405-410

Strid A., Chow W.S., Anderson J.M. UV-B damage and protection at the molecular level in plants // Photosynth. 1994. Vol. 39. P. 475-489.

Uchiyama M., Mihara M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test // Analytic. Biochem. 1978. Vol. 86. P. 287-297.

## СПОСОБНОСТЬ ЛИСТОВАТОГО ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA* К ВОССТАНОВЛЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

**Р.В. Малышев, И.Г. Захожий**  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [malrus@ib.komisc.ru](mailto:malrus@ib.komisc.ru)

Лишайники – классический пример симбиотической ассоциации, состоящий из грибного и фотосинтезирующего компонентов. Это пойкилогидрические экстремофильные фотосинтезирующие организмы, распространенные в природе от Арктики до Антарктиды.

Особый интерес к лишайникам как объектам исследования связан с их толерантностью к экстремальным изменениям окружающей среды. Они способны высухать до метаболически неактивного состояния и практически без ущерба восстанавливать свои функции после продолжительной зимы.

Цель настоящей работы – оценить способность лишайника *Lobaria pulmonaria* к восстановлению функциональной активности в зимний период.

Объект исследования – листоватый эпифитный лишайник *Lobaria pulmonaria* с гетеромерным типом строения таллома. Для изучения использовали талломы лишайника, собранные в окрестностях г. Сыктывкара в зимний период (январь). До проведения измерений талломы хранились при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ . Функциональную активность лишайника оценивали с использованием методов: индуцированной флуоресценции хлорофилла, дифференциальной сканирующей и изотермической калориметрии. Определения физиологических характеристик проводили на талломах непосредственно после их перенесения из условий хранения во влажную среду при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Показателями, отражающими функциональное состояние растительных тканей в зимнее время, являются температура заморозания, оводненность и доля замерзшей воды.

Результаты измерений показали, что в тканях таллома *L. pulmonaria* в зимнее время содержится до 60% воды, 1/3 которой претерпевала фазовый переход вода–лед при  $-9^{\circ}\text{C}$ . Остальная вода не замерзала даже при понижении температуры до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Содержащаяся в тканях вода, нуклеация которой наступает в диапазоне от 0 до  $15^{\circ}\text{C}$ , считается свободной и кристаллизуется в межклетниках (Бакрадзе и др., 1983). Это позволяет полагать, что в талломе лишайника существенная доля незамерзшей воды находилась в клетках фото- и микобионта.

Следует отметить, что талломы лишайника характеризуются сравнительно высокой оводненностью до 60% от сырой массы. Например, доля воды в почках такого морозоустойчивого вида, как *Betula pendula* в январе не превышала 40%.

Нами установлено, что летом содержание воды в метаболически активных талломах составляло 50-60%. Это позволяет полагать, что при перенесении талломов, собранных в январе, в оптимальные условия содержащейся в них воды будет достаточно для возобновления биохимических процессов.

Определение фотохимической активности ФС 2 фотобионта показало, что уже в течение первого часа после перенесения талломов в оптимальные условия уровень максимального квантового выхода достигал значений, близких к величине данного показателя в летний период ( $F_v/F_m \sim 0.7$  отн. ед.). Интенсивность фотохимической активности, оцениваемая по скорости транспорта электронов в ФС 2 фотобионта через час после начала опыта лишь немногим уступала абсолютным величинам ЕТР, выявленным у талломов летом. Способность ФС 2 фотобионта быстро достигать высокой эффективности усвоения световой энергии указывает на то, что пигмент-белковые комплексы фотосистем фотобионта зимой находятся в функционально целостном состоянии.

В отличие от фотохимических реакций,  $CO_2$  газообмен восстанавливался медленнее. Скорость нетто-фотосинтеза достигала максимальных значений через 4-5 ч после перенесения талломов в благоприятные условия.

Считается, что у лишайников с гетеромерным типом строения таллома существенная часть биомассы сформирована мицелием гриба, который является основным продуцентом  $CO_2$  (Quispel, 1960; Ahmadjian, 1993). Принимая во внимание тот факт, что до 90% метаболического тепла образуется при дыхании (Hopkin, 1991), можно предположить, что подавляющая часть тепла, выделяемого слоевищем лишайника, связана с метаболизмом клеток гриба. В таком случае, по интенсивности метаболического тепловыделения возможно оценить изменение функциональной активности микобионта.

Калориметрическое измерение скорости тепловыделения показало, что микобионт лобарии легочной быстро реагирует на повышение температуры таллома. Интенсивность метаболического тепловыделения в течение первых 3 ч экспозиции при 20 °С достигала максимальных значений около от 2.5 до 4 мкВт/мг сухой массы. Затем постепенно снижалась и спустя 5 ч адаптации при комнатной температуре составляла 2.5 мкВт/мг сухой массы. Это сравнимо с интенсивностью метаболического тепловыделения талломов в летний период.

Таким образом, нами выявлена динамика изменения функциональной активности таллома лишайника *L. pulmonaria* при перенесении зимой в благоприятные условия температуры. Показано, что лишайник способен в течение сравнительно короткого промежутка времени восстанавливать функциональную активность фото- и микобионта. Установлено, что интенсивность метаболических процессов фото- и микобиота после размораживания достигает значений, близких к величинам, отмеченным в летний период.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Бакрадзе Н.Г., Балла Ю.И.* О кристаллизации внутриклеточной воды в тканях растений // Биофизика. 1983. Т. 28. С. 119-121.

*Ahmadjian V.* The lichen symbiosis. John Wiley & Sons New York, 1993. 250 p.

*Hopkin M.S.* Calorimetric Studies of Plant Physiology. Rh. D. Dissertation. Provo, 1991. 90 p.

*Quispel A.* Respiration of lichens / Pflanzenatmung einschliesslich Gärung und Säurestoffwechsel (Handbuch der Pflanzenphysiologie, vol. XII/2). N.-Y.: Springer, 1960. P. 455-460.

## ЛИПИДЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ ВОДОЕМОВ ГОРНЫХ И ТУНДРОВЫХ МЕСТООБИТАНИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

**Н.В. Матистов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

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

Водоросли – крайне гетерогенная группа споровых организмов, объединяющая ряд отделов с различным биохимическим составом. За счет небольших размеров, высокой устойчивости к экстремальным условиям среды, быстрого размножения водоросли рассматриваются как ценнейший возобновляемый сырьевой ресурс, широко используемый в биотехнологии для производства различных органических соединений (Дьяков, 2000).

Основными местообитаниями водорослей являются водоемы разных типов: крупные и малые реки, озера и болота. Водоемы имеют разное происхождение и характеризуются довольно широким диапазоном физико-химических факторов, что определяет высокое видовое разнообразие водорослей в водных экосистемах (Минюк и др., 2008). Для северо-востока европейской части России к настоящему времени выявлено около 2 тыс. видов водорослей из десяти отделов (Патова, 2012).

На химический состав и распространение водорослей влияют различные факторы. Многие виды водорослей приурочены к строго определенным экологическим условиям и чувствительны к разнообразным видам антропогенного воздействия. В связи с этим в последнее время возрастает внимание ученых к изучению экологии и скрининга биохимических показателей водорослей.

К одним из важнейших компонентов живой клетки относятся липиды, играющие важнейшую роль в процессах жизнедеятельности организма. Интерес к липидам водорослей обусловлен их высоким потенциалом в качестве сырья для фармацевтической, химической, пищевой промышленности и биотехнологии.

Цель наших исследований – определение содержания общих липидов и входящих в них основных жирных кислот в талломах различных таксономических групп водорослей, обитающих в горных и тундровых местообитаниях европейского северо-востока России.

Объектом исследования служили восемь видов водорослей, собранных сотрудником Института биологии Коми НЦ УрО РАН Е.Н. Патовой, из различных водоемов горных и тундровых местообитаний европейского северо-востока России (табл. 1).

Микроводоросли сушили в вакууме, измельчали на лабораторном дисковом истирателе. Общие липиды извлекали трехкратной экстракцией смесью гексан/этанол в соотношении 98/2 (v/v). Экстракты объединяли, фильтровали через складчатый фильтр и упаривали в вакууме на роторном испарителе до полного удаления растворителей. Массовую долю общих липидов определяли гравиметрическим методом (табл. 2).

Таблица 1

Места сборов исследованных видов водорослей

Номер образца	Дата сбора	Вид	Район сбора	Отдел
1	19.07.12	<i>Lemanea fluviatilis</i>	Река Хальмерью	<i>Rhodophyta</i>
2	07.08.12	<i>Batrachospermum moliniforme</i>	Озеро Балбанты	<i>Rhodophyta</i>
3	20.07.12	<i>Nostoc coeruleum</i>	Река Силоваяха	<i>Cyanoprokaryota</i>
4	20.07.12	<i>Nostoc commune</i>	Река Силоваяха	<i>Cyanoprokaryota</i>
5	02.08.12	<i>Nostoc commune</i>	Гора Баркова Река Силоваяха	<i>Cyanoprokaryota</i>
6	22.07.12	<i>Tetraspora sp.</i>	Река Силоваяха	<i>Chlorophyta</i>
7	07.08.12	<i>Draparnaldia glomerata</i>	Озеро Большое Балбанью	<i>Chlorophyta</i>
8	07.08.12	<i>Tetraspora lacustris</i>	Река Балбанью	<i>Chlorophyta</i>
9	31.07.12	<i>Hydrurus foetidus</i>	Река Балбанты	<i>Chrysophyceae</i>

Таблица 2

Массовая доля общих липидов в исследованных видах водорослей

Номер образца	Вид	Массовая доля ОЛ, %
1	<i>Lemanea fluviatilis</i>	11.2±0.6
2	<i>Batrachospermum moliniforme</i>	35.2±1.4
3	<i>Nostoc coeruleum</i>	1.94±0.09
4	<i>Nostoc commune</i>	2.64±0.08
5	<i>Nostoc commune</i>	3.72±0.18
6	<i>Tetraspora sp.</i>	33.57±1.34
7	<i>Draparnaldia glomerata</i>	38.33±1.92
8	<i>Tetraspora lacustris</i>	6.44±0.19
9	<i>Hydrurus foetidus</i>	27.9±1.4

Примечание: ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при  $p = 0.95$ . Полученные данные обработаны статистически с помощью пакета компьютерных программ Statistica for Windows.

Метилловые эфиры жирных кислот получали по методу К.М. Синяка с соавторами в запаянных стеклянных ампулах метанолом, содержащим 5% серной кислоты, при температуре 110 °С (А.с. 542932).

Анализ жирнокислотного состава проводили на газовом хроматографе «Кристалл 2000 М» (Россия) с пламенно-ионизационным детектором. Регистрацию и обработку хроматограмм осуществляли с помощью системы сбора и обработки хроматографических данных «Хроматэк» (Россия). Идентификацию МЭЖК проводили методом хромато-масс-спектрометрии на приборе «Finnigon Trase DSQ Thermo-Electron» (США).

Все изученные виды водорослей имеют автотрофный тип питания. По максимальному содержанию общих липидов можно выделить три вида – зеленые водоросли *Draparnaldia glomerata* и *Tetraspora sp.* и красные *Batrachospermum moliniforme*. Наибольшим количеством отличаются *Draparnaldia glomerata*, число общих липидов в них превышает 38%. Два других вида также содержат более 30% общих липидов. Довольно высокое содержание ОЛ найдено и в золотистой водоросли *Hydrurus foetidus*. Группа цианобактерий – синезеленые водоросли – аккумулировала наименьшее количество липидов, содержание в них варьировало от 1.94 до 3.72%.

Жирнокислотный состав общих липидов представлен шестью кислотами с длиной цепи C<sub>14</sub>-C<sub>18</sub> и четным числом углеродных атомов (табл. 3). Доминирующей во всех образцах является насыщенная пальмитиновая кислота C16:0, ее содержание в большинстве



Таблица 3  
Содержание основных высших жирных кислот в общих липидах водорослей, %

Номер образца	Основные жирные кислоты						1*	2*
	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3		
1	10.41±0.52	73.18±2.93	3.57±0.14	9.54±0.38	2.29±0.07	1.01±0.03	87.16	12.84
2	12.99±0.52	68.96±3.45	11.48±0.57	4.09±0.16	2.36±0.07	-	93.43	6.45
3	5.77±0.17	73.12±3.65	2.86±0.14	4.55±0.18	5.19±0.26	8.52±0.34	81.75	18.26
4	6.00±0.24	48.64±1.95	9.12±0.45	11.39±0.34	11.34±0.56	13.52±0.63	63.76	36.25
5	2.40±0.07	45.70±2.29	4.81±0.15	3.79±0.19	6.00±0.18	37.31±2.24	52.91	47.10
6	10.69±0.53	62.78±3.77	17.87±0.71	3.37±0.13	3.51±0.17	1.82±0.09	91.34	8.70
7	10.19±0.30	70.09±3.50	18.14±0.72	0.60±0.01	1.01±0.05	-	98.42	1.61
8	5.90±0.18	65.30±3.26	7.19±0.29	0.91±0.04	4.16±0.21	16.50±0.82	78.39	21.57
9	82.27±3.29	12.21±0.61	4.09±0.12	0.89±0.04	0.57±0.28	-	98.57	1.46

Примечание: название кислот: C14:0 – миристиновая; C16:0 – пальмитиновая; C18:0 – стеариновая; C18:1 – олеиновая; C18:2 – линолевая; C18:3 – линоленовая.

±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при  $p = 0.95$ .

1\* суммарное содержание насыщенных жирных кислот.

2\* суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот.

видов варьирует в пределах 62-73%. Исключение составляет золотистая водоросль *Hydrurus foetidus*, в которой преобладает насыщенная миристиновая кислота с 14 углеродными атомами, ее содержание превышает 82%.

Одной из целей наших исследований был поиск видов микроводорослей, перспективных для использования их в будущем для получения биодизеля и других биотехнологических целей. Согласно европейским стандартам (EN 4214, EN 14213), существуют определенные требования к биоматериалам по содержанию жирных кислот для этих целей (Феофилова, 2010). Для производства биодизеля, например, существуют строгие ограничения по содержанию ненасыщенных жирных кислот (Biodiesel production..., 2009; Kargo, 2010). Наиболее подходящим сырьем для получения биодизеля можно считать водоросли с высоким содержанием общих липидов и насыщенных жирных кислот. Этим требованиям из исследованных нами видов отвечают *Draparnaldia glomerata* (38.33% общих липидов, содержащих 98.42% насыщенных жирных кислот), *Batrachospermum moliniforme* (35.2 и 93.43%), *Tetraspora sp* (33.57 и 91.34%) и *Hydrurus foetidus* (27.9% общих липидов и 98.57% насыщенных жирных кислот).

Вид *Nostoc commune* можно рассматривать как источник ненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 рядов.

Таким образом, комплексное изучение липидного состава восьми видов микроводорослей показало, что виды водорослей из водоемов горных и тундровых местообитаний европейского Северо-Востока России представляют интерес как сырьевой ресурс, который может быть использован в биотехнологических целях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке интеграционного проекта (Рег. номер 12-И-4-2007) «Биоресурсный потенциал и биохимическая оценка микроводорослей европейского Северо-Востока России в качестве объектов биотехнологии».

#### ЛИТЕРАТУРА

А.с. 542932 СССР, G 01 N 1/28. Способ приготовления проб липидов / К.М. Синяк, И.И. Даниленко, З.П. Васюренко и др. Киевский НИИ эпидемиологии, микробиологии и паразитологии; № 2138675; заявл. 26.05.75; опубл. 15.01.77. Бюл. № 2.

Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М.: Просвещение, 1987. 815 с.

Дьяков Ю.Т. Введение в альгологию и микологию: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2000. 192 с.

Минюк Г.С., Дробецкая И.В., Чубчикова И.Н., Терентьева Н.В. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс: обзор // Морський екологічний журнал. 2008. № 2. С. 5-23.

*Патова Е.Н.* Водоросли // Биологическое разнообразие Республики Коми. Сыктывкар, 2012. С. 107-115.

*Феофилова Е.П.* Биотопливо // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46. № 4. С. 405-415.

**Biodiesel production by in situ transesterification of municipal primary and secondary sludge / A. Mondala [et al.] // Bioresour technology. 2009. Vol. 100. P. 1203-1210.**

*Kargo D.M.* Biodiesel Production from municipal sewage sludges // Energy fuels. 2010. Vol. 24. P. 2791-2794.

## ЦИТОТОКСИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХЛОРОФИЛЛА А

**Я.И. Пылина<sup>1,2</sup>, И.О. Вележанинов<sup>1</sup>, Д.М. Шадрин<sup>1,2</sup>, И.С. Тарабукина<sup>3</sup>,  
Д.В. Белых<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет

<sup>3</sup>Институт химии Коми НЦ УрО РАН

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

Вопросы разработки эффективных методов лечения онкологических заболеваний тесно связаны не только с научными, но и экономическими и социальными аспектами этой проблемы. Химиотерапия входит в число самых распространенных методов лечения онкологических заболеваний. В то же время большинство химиотерапевтических противоопухолевых препаратов являются высокотоксичными соединениями, имеющими значительные негативные побочные эффекты. Хлорофилл *a* и получаемые из него макроциклические соединения представляют собой низкотоксичные вещества, многие из которых имеют значительную тропность к злокачественным новообразованиям. Использование хлоринов *a*-ряда как фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии онкологических заболеваний общеизвестно. В то же время темновая цитостатическая активность этих соединений по отношению к клеткам злокачественных новообразований изучена относительно слабо. В литературе имеются сведения о темновой цитотоксичности цинковых комплексов производных хлорофилла *a* по отношению к клеткам злокачественных новообразований (Wongsinkongman et al., 2002). В этой же работе имеются сведения о том, что некоторые безметалльные производные хлорофилла *a* могут вызывать двунитевые разрывы ДНК, что позволяет рассматривать эти соединения как потенциальные цитостатики. В настоящей работе изучена темновая цитотоксическая активность ряда новых порфи-



ровали 72 ч при 37 °С, 100% -ной влажности в атмосфере, содержащей 5% CO<sub>2</sub>. Затем удаляли питательную среду, промывали монослойную культуру 200 мкл фосфатно-солевого буферного раствора (PBS). Добавляли 100 мкл раствора диацетата флуоресцеина в лунки и инкубировали при 37 °С/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.

Статистические данные были обработаны при помощи t-критерия Стьюдента в программе Statistica 6.0.

Для оценки темновой токсичности производных хлорофилла *a* (1-3) и порфиринов Cu, Pd, Ni, Zn и Co на их основе (рис. 1) получены зависимости индекса выживаемости клеток линии HeLa от концентрации (в диапазоне от 0.01 до 100 мкмоль/л) испытуемых соединений. Индекс выживаемости рассчитывали, как отношение флуоресценции клеток в лунке с веществом к флуоресценции клеток в контрольной лунке (содержащей чистый ДМСО), выраженное в процентах. Установлено, что из трех производных хлорофилла *a* наиболее токсичным оказалось соединение 1, которое в своей структуре не содержит экзоцикла (100 мкмоль/л  $p < 0.05$ ; 10 мкмоль/л  $p < 0.00001$ ), индекс выживаемости клеток HeLa при концентрации 100 мкмоль/л составил  $0.25 \pm 0.05\%$ , и только при концентрации от 1 мкмоль/л и ниже – более 50% (рис. 2 А). Для соединений 2 и 3, имеющих экзоцикл, индекс выживаемости составил более 50%, уже начиная с концентрации 10 мкмоль/л ( $80.88 \pm 3.06$  и  $64.98 \pm 3.20\%$  соответственно). Причем введение амидной группы в положение 13 (2) экзоцикла приводит к небольшому увеличению токсичности соединения 3 по сравнению с соединением 2, где эта группировка отсутствует (10 мкмоль/л  $p < 0.05$ ). Внедрение катиона металла в координационную сферу хлорина во многих случаях оказывает значительное влияние на цитотоксичность соединений.

Наименьшей цитотоксической активностью среди металлокомплексов (при максимальной концентрации индекс выживаемости составляет более 50%) обладали следующие соединения: Cu-2 (при концентрации 100 мкмоль/л  $54.98 \pm 5.03\%$ ) и Cu-3 (при концентрации 100 мкмоль/л  $79.00 \pm 2.48\%$ ); Pd-3 (100 мкмоль/л  $61.07 \pm 5.03\%$ ); Ni-2 (при концентрации 100 мкмоль/л  $63.47 \pm 4.00\%$ ) и Ni-3 (при концентрации 100 мкмоль/л  $69.02 \pm 3.82\%$ ). Можно отметить, что эти комплексы менее токсичны по сравнению с производными 2 и 3, из которых они синтезированы ( $p < 0.05$ ).

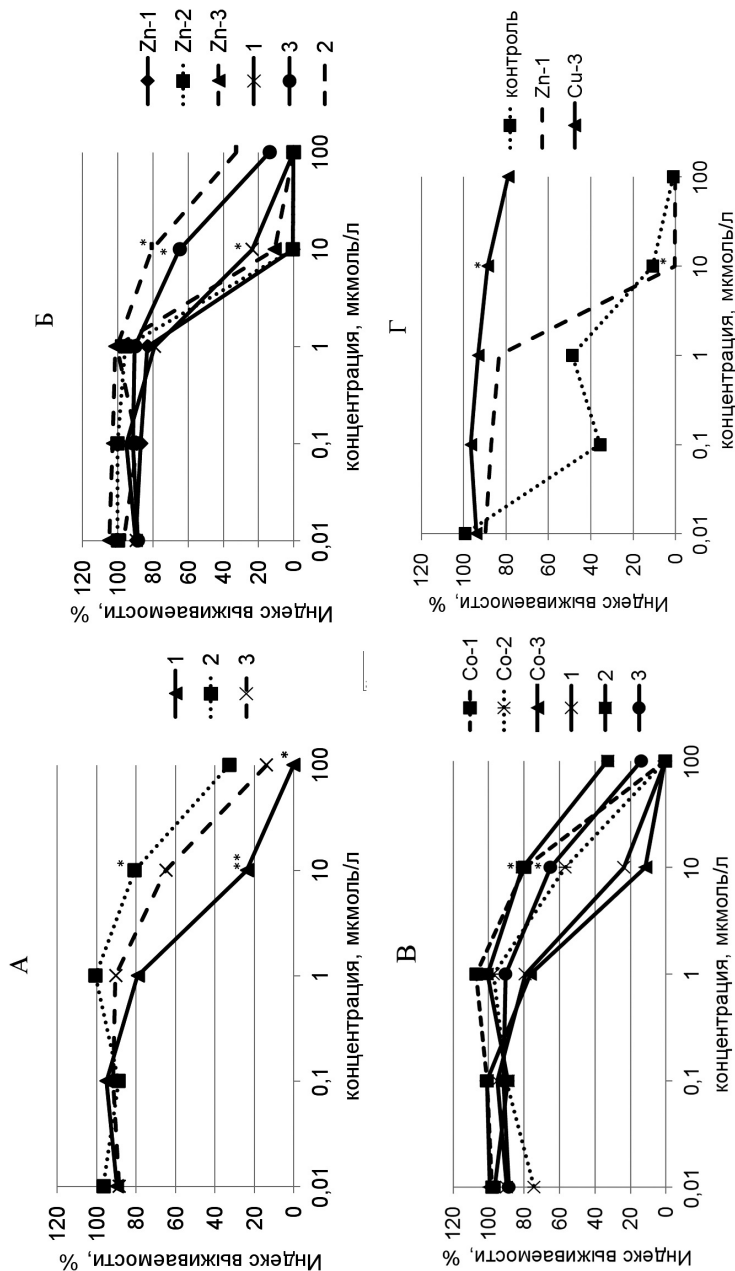


Рис. 2. Зависимость индекса выживаемости клеток линии Нела от концентрации испытуемых веществ. Обозначения: А: ▲ \* для 1 и 2, 3 (100 мкмоль/л:  $p < 0.05$ ); ▲ \*\* для 1 и 2, 3 (10 мкмоль/л:  $p < 0.00001$ ); ■ \* для 2 и 3 (10 мкмоль/л:  $p < 0.05$ ). Б: \* для 1 и Zn-1, 2 и Zn-2, 3 и Zn-3 (10 мкмоль/л:  $p < 0.00001$ ). В: \* для 2 и Co-2, 3 и Co-3 (10 мкмоль/л:  $p < 0.001$ ). Г: \* для Zn-1 и Cu-3 (10 мкмоль/л:  $p = 0.000000$ ).

Высокой темновой цитотоксичностью обладают все металло-комплексы с Zn: Zn-1 (при концентрации 10 мкмоль/л  $0.36 \pm 0.10\%$ ), Zn-2 (10 мкмоль/л  $0.55 \pm 0.13\%$ ) и Zn-3 (при концентрации 10 мкмоль/л  $10.88 \pm 3.10\%$ ) (рис. 2 Б), что, вероятнее связано с природой самого металла. В литературе также имеются сведения о высокой токсичности именно цинковых комплексов (Wongsinkongman et al., 2002). Можно отметить, что цинковые комплексы на порядок токсичнее своих лигандов (соединений 1, 2 и 3) (10 мкмоль/л  $p < 0.0001$ ).

Комплексные соединения с Co также дали интересные результаты: соединение Co-1 становится низкотоксичным уже при концентрации 10 мкмоль/л  $79.59 \pm 3.89\%$  в отличие от Co-2 и Co-3 ( $p < 0.05$ ). По сравнению с соединением 1 (при концентрации 10 мкмоль/л выживаемость менее 50%) Co-1 также менее токсичен ( $p = 0.000000$ ). Комплексы Co-2 и Co-3 – более токсичны по сравнению со своими предшественниками – соединениями 2 и 3 ( $p < 0.001$ ) (рис. 2 В).

При сравнении цитотоксического действия высокотоксичного вещества Zn-1 и низко токсичного Cu-3 с положительным контролем (этопозидом – веществом с известной цитотоксичностью) можно отметить, что при концентрации 10 мкмоль/л контроль в 30 раз менее токсичен ( $p = 0.000000$ ), чем соединение Zn-1 и в семь раз токсичнее Cu-3 ( $p = 0.000000$ ) (рис. 2 Г).

Таким образом, нами показано влияние природы центрального атома и строения лиганда на темновую токсичность порфиринов на основе производных хлорофилла *a*. Среди исследованных соединений выявлены потенциальные противоопухолевые темновые цитостатики. Эти соединения могут рассматриваться как потенциальные действующие вещества для создания препаратов классической химиотерапии, так как известно, что многие водорастворимые производные порфирина обладают способностью накапливаться предпочтительно в опухолевых тканях (Senge, 2012), а нерастворимые могут успешно доставляться с помощью наночастиц (Lim et al., 2013). Кроме того, были выявлены соединения с наименьшей цитотоксичностью, которые в дальнейшем планируются протестировать на фотосенсибилизирующую активность.

#### ЛИТЕРАТУРА

Lindhagen L., Nygren P., Larsson R. The fluorometric microculture cytotoxicity assay // Nature protocols. 2008. Vol. 3. № 8. P. 1364-1369.

Lim C.K., Heo J., Shin S. et al. Nanophotosensitizers toward advanced photodynamic therapy of Cancer // Cancer Lett. 2013. Vol. 334. P. 176-187.

Senge M.O. mTHPC – A drug on its way from second to third generation



photosensitizer? // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. 2012. Vol. 9. P. 170-179.

Wongsinkongman P., Brossi A., Wang H-K. et al. Antitumor agents. Part 209: Pheophorbide-a derivatives as photo-independent cytotoxic agents // Bioorganic & Medicinal Chemistry. 2002. Vol. 10. P. 583-591.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ С ПОДАВЛЕННОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ ГЕНА АНИОННОЙ ПЕРОКСИДАЗЫ

А.В. Сорокань, Г.Ф. Бурханова, Б.Р. Кулуев  
Институт биохимии и генетики Уфимского НЦ РАН  
E-mail: fortyanns@googlemail.com

Неоднократно показано участие пероксидаз в устойчивости растений к различным стрессовым факторам. Пероксидазы представлены множеством изоформ, кодируемых мультигенным семейством, и связь гена и его белкового продукта устанавливается с трудом из-за значительных пост-транскрипционных модификаций данного класса белков. Тем не менее, это необходимо для выяснения роли отдельных изоформ и использования в генетическом скрининге устойчивости растений либо в селекционной работе. Нами установлено, что ген *M21334* картофеля (*Solanum tuberosum* L.) активируется при иммунном ответе растений на внедрение возбудителя фитофтороза и регулируется жасмоновой кислотой (ЖК) (Roberts et al., 1988).

Основываясь на имеющихся данных о возможности изучения роли того или иного гена в морфолого-физиологических процессах в растении с помощью антисмысловых РНК, мы получили линию растений картофеля сорта Невский с подавленной экспрессией гена *M21334* (линия 4р). Нами было установлено, что данный ген кодирует анионную пероксидазу с *rI*-3.5. В работе рассматриваются морфологические и физиологические особенности растений картофеля с подавленной экспрессией гена *M21334* пероксидазы с *rI*-3.5 под воздействием ЖК и при инфицировании возбудителем фитофтороза *Phytophthora infestans* Mont. De Bary.

В экспериментах использовались стерильные пробирочные растения картофеля, устойчивого к фитофторозу сорта Невский и полученной на его основе линии 4р с подавленной экспрессией гена анионной пероксидазы. Растения выращивали на модифицированной среде Мурасиге-Скуга при температуре +20-22 °С в климатической камере КС-200 СПУ (Россия) с 16-часовым светопериодом, освещенностью 12-16 тыс. люкс (лампы ЛД-4, ЛБ-40). Для измерения ростовых параметров использовали не менее 20 расте-

ний в каждом варианте. Культура оомицета *P. infestans* (штамм 1.2) была любезно предоставлена проф. Ю.Т. Дьяковым (биологический факультет МГУ).

В опытах растения 30 сут. культивировали на средах с добавлением ЖК в концентрации 0.1  $\mu\text{M}$ , а затем контрольные и обработанные ЖК растения заражали нанесением на каждый лист по 5 мкл суспензии зооспор патогена *P. infestans* ( $10^5$  спор/мл). Визуальные симптомы болезни наблюдали в течение 7 сут., и степень их развития оценивали по проценту площади поражения к площади листовой пластинки. Листья фотографировали, изображения анализировали в программе ImageJ.

Навеску пробирочных растений растирали в 0.025 М фосфатном буфере(ФБ) pH 6.2 в соотношении 1:5, экстрагировали 30 мин. при 4 °С, затем центрифугировали 10 мин. при 8000 g на микроцентрифуге Eppendorf 5415R(США). Активность пероксидазы измеряли микрометодом с применением орто-фенилендиамина в качестве субстрата. Концентрацию  $\text{H}_2\text{O}_2$  измеряли с использованием красителя ксиленоловый оранжевый.

Анализировали биоматериал каждого из трех повторов одного варианта опыта. Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 6.0 (StatSoft, США).

На первом этапе работы с растениями линии 4p с подавленной экспрессией гена анионной пероксидазы мы исследовали их ростовые параметры. Было выявлено, что длина междоузлий на растениях линии 4p сокращается по направлению к верхушечной меристеме. Так, длина третьего сверху междоузлия в растениях дикого типа составляет  $4.75 \pm 0.52$  мм, а в растениях линии 4p –  $2.12 \pm 0.43$ . Длина четвертого от верхушечной меристемы междоузлия в растениях 4p была почти вдвое короче, чем в растениях дикого типа. Однако растения линии 4p не имели существенных ростовых отличий от растений дикого типа и не обнаруживали снижения длины стебля под воздействием жасмоната, наблюдаемого в случае нетрансформированных растений (рис. 1).

Из рис. 2. видно, что растения линии 4p характеризовались высокой степенью восприимчивости к фитофторозу. При этом ясно, что если в растениях дикого типа воздействие жасмоната увеличивало устойчивость к возбудителю этого заболевания, то в трансформированных растениях этот эффект ЖК практически отсутствовал.

Таким образом, вероятно, анионная изопероксидаза, кодируемая геном *M21334*, принимает участие в регуляции образования листьев и пазушных меристем, а также в формировании устойчивости к патогенам. Вероятно, эффект ЖК на растения во многом

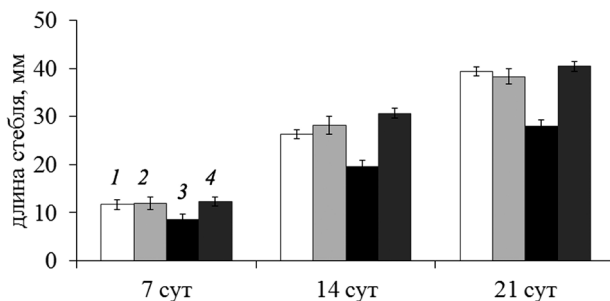


Рис. 1. Влияние ЖК (2, 4) на длину стеблей растений дикого типа (1, 2) и растений линии 4r (3, 4). 1, 3 – необработанные растения.

зависит от активности этой изоформы. Интересно, что общая пероксидазная активность в растениях картофеля линии 4r была несколько выше, чем в растениях дикого типа (рис. 3(I)). Следует отметить, что в инфицированных растениях дикого типа активность свободно-растворимых пероксидаз увеличивалась на первые и вторые сутки после инфицирования возбудителем фитофтороза, а под воздействием ЖК этот эффект сохранялся и в дальнейшем. Интересно, что в инфицированных растениях линии 4r ЖК в большей степени стимулировала общую активность пероксидаз, чем в растениях дикого типа на первые сутки. Вероятно, в этом случае приходят в действие компенсаторные механизмы, однако подобное увеличение активности других изоформ, помимо изопероксидазы с  $rI \sim 3.5$ , не восстанавливало защитный потенциал растения. Возможно, это объясняется снижением содержания перекиси водорода в трансформированных растениях (рис. 3 (II)). Видно, что на вторые сутки после инфицирования в растениях дикого типа наблюдалось накопление перекиси водорода, так называемый окислительный взрыв. В обработанных ЖК нетрансформированных растениях содер-

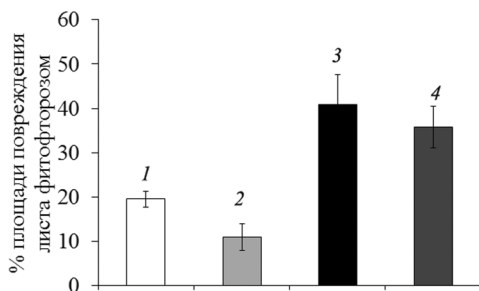


Рис. 2. Влияние ЖК (2, 4) на площадь пораженности листьев картофеля дикого типа (1, 2) и линии 4r (3, 4) фитофторозом. 1, 3 – необработанные растения.

жание  $H_2O_2$  было выше, чем в контроле на 25-30%, а инфицирование обработанных ЖК растений дикого типа приводило к почти двукратному увеличению этого параметра. В инфицированных обработанных ЖК растениях линии 4р содержание перекиси водорода приближалось к контрольным значениям в растениях дикого типа.

Обращает на себя внимание то, что полученная нами линия трансгенного картофеля, с подавленным синтезом крайней анионной пероксидазы с  $rI \sim 3.5$ , фенотипически значительно и не отличалась от контрольных, но проявляла высокую восприимчивость к возбудителю фитофтороза. Подобная восприимчивость к *P. capsici* при сохранении фенотипа наблюдалась у растений перца, трансформированных фрагментом гена *CanPOD* в антисмысловой ориентации (Wang et al., 2013). Кроме того, ранее нами было выявлено, что эта изоформа может взаимодействовать со специфическими полисахаридами, содержащимися на поверхности мицелия патогенов без потери каталитической активности (Maksimov et al., 2012). В соответствии с этими данными можно с уверенно-

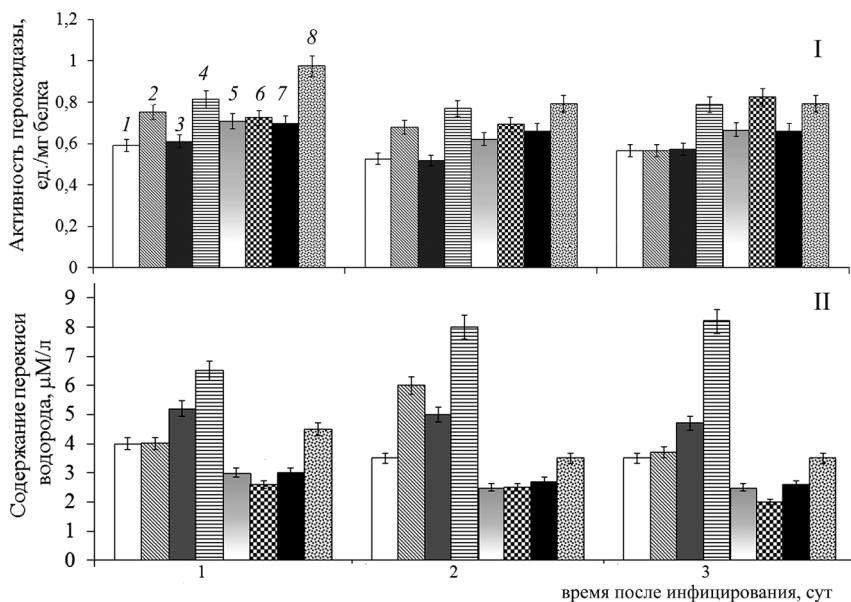


Рис. 3. Влияние ЖК на активность пероксидаз в свободно-растворимой фракции белков (I) и содержание перекиси водорода (II) в растениях картофеля дикого типа и линии 4р в норме и при инфицировании *P. infestans*. 1 – дикий тип; 2 – дикий тип + *P. infestans*; 3 – дикий тип + ЖК; 4 – дикий тип + ЖК + *P. infestans*; 5 – 4р; 6 – 4р + *P. infestans*; 7 – 4р + ЖК; 8 – 4р + ЖК + *P. infestans*.

стью сказать, что анионная изопероксидаза с  $pI \sim 3.5$  вовлечена в процессы защиты растений от фитотрофа, вызываемого оомицетом *P. infestans*.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» Министерства образования и науки Российской Федерации (Госконтракт П-339) и РФФИ-Поволжье 14-04-00903 на оборудовании ЦКП «Биомика» (Отделение биохимических методов исследований и нанобиотехнологии РЦКП «Агидель») и УНУ «КОДИНК».

#### ЛИТЕРАТУРА

*Maksimov I.V., Cherepanova E.A., Sorokan' A.V.* Polysaccharide-specific isoperoxidases as an important component of the Plant Defence System / Products and applications of biopolymers. JanezaTrdine, Rijeka, Croatia. Intech., 2012. P. 201-220.

*Roberts E., Kutchan T., Kolattukudy P.E.* Cloning and sequencing of cDNA for a highly anionic peroxidase from potato and the induction of its mRNA in suberizing potato tubers and tomato fruits // Plant Mol. Biol. 1988. Vol. 11. P. 15-26.

*Wang J.-E., Liu K.-E., Li D.-W. et al.* A novel peroxidase CanPOD gene of pepper is involved in defense responses to *Phytophthora capsici* infection as well as abiotic stress tolerance // Int. J. Mol. Sci. 2013. Vol. 14. P. 3158-3177.

### ДЫХАНИЕ И СООТНОШЕНИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ *RUBUS CHAMAEMORUS* L. ПРИ РАЗНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

**М.А. Шелякин**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: [shelyakin@ib.komisc.ru](mailto:shelyakin@ib.komisc.ru)

Свет – ведущий фактор внешней среды, является источником энергии для осуществления фотосинтеза, запускает процесс фотоморфогенеза, взаимодействует с сигнальными системами, участвует в регуляции метаболизма растительных клеток. Довольно долго проблема влияния света на дыхание рассматривалась через «призму» фотосинтеза. Представления о темновом дыхании в фотосинтезирующей клетке менялись от отрицания самой возможности дыхания на свету или частичном ингибировании до активации светом (Мамушина и др., 1997). Позже преобладающим стало мнение, что процессы фотосинтеза и дыхания у фототрофных тканей на свету тесно скоординированы (Семихатова, 2000). На му-

тантных растениях и зеленеющих проростках показано вовлечение энергетически малоэффективного альтернативного пути дыхания (АП) на свету (Ribas-Carbo et al., 2000; Zhang et al., 2010). Полагают, что АП участвует в окислении избытка восстановителей, поступающих из хлоропластов, и защите фотосинтетического аппарата от фотодеструкции (Noguchi, 2008).

Остается не ясным, в какой мере эффекты света на дыхание проявляются у растений в природе при длительной адаптации к световым условиям обитания.

Цель настоящей работы – выявить закономерности изменения дыхания и соотношения дыхательных путей в листьях *Rubus chamaemorus* в условиях естественного освещения и при длительном затенении.

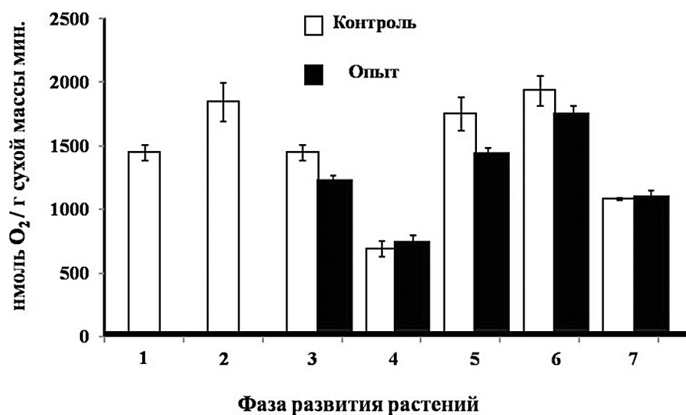
В качестве объектов для исследований использовали листья морошки приземистой. Растения произрастали на хорошо освещенном участке мезоолиготрофного болота в 120 км от г. Сыктывкара. Часть растений получала полный солнечный свет (контроль), другие затеняли экраном, снижающим освещенность на 50% (опыт).

Интенсивность дыхания листьев определяли по поглощению  $O_2$  при температуре 20 °С полярнографически с использованием электрода Кларка. Скорость дыхания выражали в наномолях (нмоль)  $O_2$ /(г сухой массы мин.).

Соотношение дыхательных путей изучали с помощью специфических ингибиторов. В качестве ингибитора альтернативной оксидазы использовали раствор бензгидроксамовой кислоты (БГК). Активность цитохромоксидазы подавляли KCN. Оптимальные концентрации ингибиторов были подобраны в предварительных экспериментах.

Содержание растворимых углеводов и их состав находили методом нормально фазовой ВЭЖХ. Хлорофиллы (Хл) и каротиноиды определяли на спектрофотометре UV-1700 (Shimadzu, Япония) в ацетоновой вытяжке. Все образцы отбирали в трех-пяти биологических повторностях.

Выявляли возрастные и онтогенетические закономерности и реакцию дыхания листьев на затенение растений. Динамика дыхания листьев имела сложный характер: максимумы дыхательной активности были отмечены в начале цветения и в период плодоношения растений (см. рисунок). Способность ЦП изменялась синхронно динамике общего дыхания листьев. В период от фазы вегетативного роста до конца цветения скорость АП и ЦП снижалась примерно вдвое. В фазу плодоношения повышение скорости ЦП было выражено сильнее, чем АП. К концу вегетации цитохромное



Динамика общего дыхания в листьях контрольных и опытных растений моршки приземистой: 1 – вегетативный рост; 2 – начало цветения; 3 – массовое цветение; 4 – конец цветения; 5 – плодоношение; 6 – конец плодоношения; 7 – старение.

дыхание отмирающих листьев падало более значительно, чем АП. Вклад АП варьировал в пределах 30-45% в зависимости от фазы роста и развития растений. В стареющих листьях резко возрастала доля остаточного (немитохондриального) дыхания, до 50-60%.

Феноменологии онтогенетического изменения дыхания листьев посвящено немало работ (Головко, 1999), изменения в соотношении дыхательных путей до сих пор освещены неполно. Особенно это касается завершающих этапов, связанных со старением.

Мы связываем временное падение дыхательной способности листьев в середине вегетации (конец цветения) с необходимостью накопления углеводов для реализации генеративной функции рамет (плодообразования) и запасаания углерода в подземных побегах.

Процесс старения листьев моршки сопровождался снижением активности ЦП, активность АП изменялась в меньшей степени. Полученные результаты согласуются с представлениями о том, что дыхание молодых органов и тканей связано с ростовыми процессами. Цитохромное дыхание является функцией дыхания роста, тогда как АП относят в основном к функциональной компоненте дыхания поддержания (Гармаш и др., 2011). Повышение вклада  $V_{res.}$  в листьях моршки в конце вегетации, по нашему мнению, связано с процессами гидролиза и окисления, которые происходят при деструкции компонентов клетки и, возможно, с усилением синтеза антоцианов и других фенольных соединений, ко-



торые накапливаются в стареющих листьях морошки в значительных количествах. В литературе приводятся данные, подтверждающие связь между увеличением активности  $V_{res}$  и накоплением фенольных соединений в листьях *Salvinia minima* (Prado et al., 2013).

Затенение не оказало влияния на сезонную динамику дыхательной способности листьев, однако снижало поглощение  $O_2$  в среднем на 25-30% (см. рисунок). Уровень освещенности не повлиял существенно на соотношение дыхательных путей, вклад компонентов дыхания у затененных и контрольных растений был примерно одинаковым. В конце вегетации доля остаточного дыхания в листьях опытных растений оказалась столь же высокой, как и у контрольных.

Можно полагать, что характер изменения дыхания и соотношения дыхательных путей в большей мере контролировались онтогенетическими факторами внутренней природы, чем условиями внешней среды.

Содержание растворимых углеводов в листьях морошки в фазу вегетативного роста было минимальным, 15 мг/г. По мере развития растений отмечали увеличение содержания растворимых углеводов в листьях, максимум накопления сахаров (80 мг/г) отмечен в конце фазы цветения. В стареющих листьях содержалось 70% сахаров от максимального значения. Растворимые углеводы представлены моно- и дисахарами. Доля дисахаридов варьировала от 50 до 70%. Условия освещения оказали влияние на содержание растворимых углеводов, их концентрация в листьях затененных растений в среднем на 30% ниже. Эта разница практически нивелировалась в стареющих листьях.

Изменения общего дыхания и способности дыхательных путей не были прямо связаны с динамикой содержания растворимых сахаров в листьях морошки приземистой. Снижение общего дыхания и активности ЦП в конце вегетации совпадало с уменьшением количества сахаров в листьях, что, скорее всего, обусловлено их оттоком, чем использованием в качестве дыхательного субстрата.

Максимум накопления Хл (5-6 мг/г) и каротиноидов (1.0-1.2 мг/г) отмечали в начале цветения. К фазе плодоношения их содержание уменьшилось в 1.5 раза, а к концу вегетации снижалось в два раза. Затенение не оказало заметного влияния на пигментный фонд растений.

Снижение концентрации Хл и начало разрушения хлоропластов считается одним из первых признаков начала процессов старения (Zimmermann, Zentgraf, 2005).

Отсутствие влияния длительного затенения на динамику темнового дыхания и соотношение дыхательных путей, динамику и качественный состав пула растворимых углеводов и фотосинтетических пигментов свидетельствует о широкой экологической норме реакции листьев данных растений по отношению к световому режиму.

Таким образом, выявлены возрастные изменения дыхания и дыхательных путей в листьях *Rubus chamaemorus* в условиях естественного освещения и при длительном затенении. Снижение освещенности вдвое от естественного уровня приводило к падению поглощения  $O_2$  в листьях на 25-30%, но не оказало существенного влияния на динамику дыхания и соотношение дыхательных путей. Старение листьев сопровождалось уменьшением дыхательной активности и увеличением вклада немитохондриального дыхания до 50-60%. Не выявили прямой связи между динамикой дыхания листьев и содержанием растворимых углеводов в процессе роста и развития растений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменения дыхания и вовлечение альтернативного пути контролируются внутренними факторами в большей степени, чем внешними условиями. Отсутствие существенных изменений в соотношении дыхательных путей свидетельствует о поддержании устойчивого функционирования дыхательной системы листьев при длительной адаптации растений к световым условиям произрастания.

Работа поддержана проектами УрО РАН № 12-У-4-1008, № 12-С-4-1015.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гармаш Е.В., Малышев Р.В., Головки Т.К. Соотношение дыхательных путей в молодом и зрелом листе яровой пшеницы // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2011. Т. 2. С. 52-58.

Головки Т.К. Дыхание растений (физиологические аспекты). СПб.: Наука, 1999. 204 с.

Мамушина Н.С., Зубкова Е.К., Войцеховская О.В. Взаимодействие фотосинтеза и дыхания у одноклеточных водорослей и  $C_3$ -растений // Физиология растений. 1997. Т. 44. С. 449-461.

Семихатова О.А. Эколого-физиологические исследования темнового дыхания растений: прошлое, настоящее, будущее // Ботанический журнал. 2000. № 4. С. 15-32.

Noguchi K., Yoshida K. Interaction between photosynthesis and respiration in illuminated leaves // Mitochondrion. 2008. Vol. 8. P. 87-99.

Prado C., Rosa M., Pagano E., Prado F. Metabolic interconnectivity among alternative respiration, residual respiration, carbohydrates and phe-

nolics in leaves of *Salvinia minima* exposed to Cr(VI) // *Environmental and Experimental Botany*. 2013. Vol. 87. P. 32-38.

*Ribas-Carbo M., Robinson S.A., González-Meler M.A.* et al. Effects of Light on Respiration and Oxygen Isotope Fractionation in Soybean Cotyledons // *Plant Cell Environ.* 2000. Vol. 23. P. 983-989.

*Zhang D-W., Xu F., Zhang Z-W.* et al. Effects of light on cyanide-resistant respiration and alternative oxidase function in *Arabidopsis* seedlings // *Plant Cell Environ.* 2010. Vol. 33. P. 2121-2131.

*Zimmermann P., Zentgraf P.* The correlation between oxidative stress and leaf senescence during plant development // *Cellular & Molecular Biology Letters*. 2005. Vol. 10. P. 515-534.

## РЕЗОЛЮЦИЯ

### XXI Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (посвященная 70-летию А.И. Таскаева)

XXI Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 7 по 11 апреля 2014 г. и была посвящена 70-летию А.И. Таскаева. Конференция собрала широкую аудиторию участников: аспиранты, кандидаты и доктора наук, сотрудники различных организаций и студенты высших учебных заведений, интересующиеся вопросами биологии и экологии и участвующие в научно-исследовательской работе.

Основная цель конференции – создание условий для общения молодых исследователей друг с другом, обмена опытом, поиска новых идей, возможности представить и обсудить в кругу квалифицированных специалистов результаты своих научных исследований. Организаторами конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института и Президиума Уральского отделения РАН.

В работе конференции приняло участие 146 человек, из них 63 – молодые ученые Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 23 – из других организаций Сыктывкара (Сыктывкарский государственный университет, Коми республиканский агропромышленный техникум), а также из других городов России (включая авторов и соавторов) – 60 (Апатиты, Архангельск, Барнаул, Вологда, Екатеринбург, Красноярск, Киров, Москва, Петрозаводск, Пущино, Самара, Уфа, Ярославль, пос. Борок). Они представляли Алтайский государственный университет (г. Барнаул), Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы (г. Уфа), Вологодский государственный университет (г. Вологда), Вологодский государственный педагогический университет (г. Вологда), Вятский государственный гуманитарный университет (г. Киров), Государственный центр агрохимической службы «Кировский» (г. Киров), Зональный научно-исследовательский

институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (г. Киров), Институт биологии Карельского НЦ РАН (г. Петрозаводск), Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (пос. Борок), Институт биохимии и генетики Уфимского НЦ РАН (г. Уфа), Институт леса Карельского НЦ РАН (г. Петрозаводск), Институт математических проблем биологии РАН (г. Пушино), Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пушино), Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН (г. Апатиты), Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (г. Москва), Институт экологии растений и животных УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт экологических проблем Севера УрО РАН (г. Архангельск), Коми республиканский агропромышленный техникум (с. Выльгорт), Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, Северный филиал (г. Архангельск), Самарский государственный университет (г. Самара), Сибирский федеральный университет (г. Красноярск), Сыктывкарский государственный университет (г. Сыктывкар), Ярославская государственная сельскохозяйственная академия (г. Ярославль).

Среди участников – два доктора наук, более 50 кандидатов наук разных специальностей, 31 аспирант и 24 студента.

На конференции прозвучало 100 сообщений, в том числе три пленарных. Конференцию открыл доклад д.б.н. С.В. Дегтевой, в котором она рассказала об основных вехах жизни Анатолия Ивановича Таскаева. О.А. Михайлов представил вниманию слушателей результаты исследования потоков парниковых газов в болотных экосистемах с использованием современного метода микровихревых пульсаций. С.П. Масловой освещены итоги исследований подземного метамерного комплекса многолетних растений, раскрыты вопросы структурно-функциональной организации, экологии и эволюции. Д.М. Шадрин сделал доклад о программе по изучению генетического разнообразия организмов на планете на основе изучения последовательностей ДНК, которая получила название «ДНК-штрихкодирование». Традиционно основная часть докладов затронула проблемы изучения, охраны и рационального использования животного и растительного мира. Это фауна и экология беспозвоночных животных, флора и растительность, биология растений, а также компьютерные средства анализа и систематизации данных о растительном мире. Существенное внимание было уделено вопросам, связанным с исследованием почв и органического вещества в них, анализу последствий загрязнения окружающей среды поллютантами различной природы, функциониро-

вания лесных и болотных экосистем. 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 конференции 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:

Институту биологии Коми НЦ УрО РАН издать материалы докладов, представленных на XXI Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» тиражом 200 экз.;

Совету молодых ученых разместить электронную версию материалов докладов на сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН;

Провести XXII Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2015 г.

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Президиум Уральского отделения РАН за помощь и финансовую поддержку при проведении конференции.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Безбородов А.С.	101	Канцерова Л.В.	191
Белых Д.В.	353	Кириллов Д.В.	35
Белых Е.С.	286	Клоков Д.Ю.	286
Березин Г.И.	203	Ковалев М.Н.	40
Богданова А.А.	317	Ковалева В.А.	207
Боднарь И.С.	279	Коваль Е.В.	336
Бондаренко М.С.	13	Коковкина Е.В.	341
Боронина А.П.	18	Колесникова А.А.	116
Бросова К.Ю.	321	Конакова Т.Н.	116
Бурханова Г.Ф.	326, 331, 358	Корнейкова М.В.	231
Бушуева Е.А.	104	Королев А.Н.	121
Василевич М.И.	155	Костылева А.А.	124
Василевич Р.С.	150	Кубик О.С.	194
Вахрушева О.М.	283	Кудрин А.А.	127
Велегжанинов И.О.	286, 289, 353	Кулуев Б.Р.	358
Веселова С.В.	326, 331	Кутявин И.Н.	199
Власова А.А.	107	Кутявина Т.И.	203
Габов Д.Н.	161, 272	Кызьюрова Е.В.	194
Геникова Н.В.	166	Лиханова И.А.	207
Геникова Н.И.	253	Лопичева О.Г.	212
Голубкина А.В.	116	Лукашева М.В.	226
Горбачева О.В.	326, 331	Малышев Р.В.	346
Григорьев А.А.	170	Манов А.В.	217
Грозовская И.С.	172	Маркушин М.А.	45
Далькэ И.В.	341	Матистов Н.В.	348
Данилов А.А.	312	Мигловец М.Н.	5, 223
Дашкова И.О.	326, 331	Минина А.А.	226
Добровольская Е.В.	304	Михайлов О.А.	5, 223
Добрынин А.Е.	187	Моисеев П.А.	170
Дубровский Ю.А.	49	Москалев А.А.	304
Дымов А.А.	246	Москаленко С.В.	75
Едигарева Т.С.	177	Мязин В.А.	231
Ермакова О.В.	286	Никифорова О.В.	236
Журавлева И.А.	25	Новаковский А.Б.	49
Зайцева О.В.	182	Нужная Т.В.	326
Захожий И.Г.	341, 346	Огородникова С.Ю.	336
Зиновьева А.Н.	109	Осипов А.Ф.	241
Зорина И.О.	113	Паламарчук М.А.	54
Иванова Н.В.	29	Панюков А.Н.	59
Истомина Г.И.	104	Пастухов А.В.	187, 194
Каверин Д.А.	187, 194	Патова А.Д.	62
Канева А.В.	286, 289	Перминова Е.М.	236



---

Перминова Т.Н.	203	Стерлягова И.Н.	80
Песня Д.С.	294, 299	Столбецкий С.В.	59
Пестов С.В.	131, 134	Суховский А.А.	317
Пинаевская Е.А.	68	Тарабукина И.С.	353
Плюснина Е.Н.	304	Тикушева Л.Н.	85
Попова В.П.	246	Товстик Е.В.	269
Порошин Е.А.	121	Устинова К.И.	89
Потапов Г.С.	107	Филиппов Д.А.	91
Пылина Я.И.	62, 121, 286, 353	Филиппов Н.И.	131, 134
Пыстина А.В.	286	Флерова Е.А.	124, 317
Расова Е.Е.	134	Фокина Н.В.	231
Рафиков Р.Р.	140	Холопов Ю.В.	187
Романис Т.В.	250	Чермных Л.Н.	96
Романовский А.В.	294, 299	Шадрин Д.М.	62, 121, 286, 353
Рыжкова Н.И.	166, 253	Шашков М.П.	144
Семенова Н.А.	71	Шелепанова Ю.А.	89
Сизоненко Т.А.	257	Шелякин М.А.	362
Соловьев И.А.	304	Шиловская К.А.	113
Соловьева Е.С.	262	Шиятов С.Г.	170
Сорокань А.В.	331, 358	Шосталь О.А.	286, 312
Стаменов М.Н.	75	Щанов В.М.	155
Старобор Н.Н.	308	Юшкова Е.А.	279
		Яковлева Е.В.	161, 272

*Научное издание*

XXI Всероссийская молодежная научная конференция  
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»  
(посвященная 70-летию А.И. Таскаева)

Материалы докладов

*Рекомендовано к изданию Ученым советом Института биологии Коми НЦ УрО РАН*

Редактор О.А. Гросу  
Оригинал-макет Е.А. Волкова  
Художник .....

Лицензия № 0047 от 10.01.99.

Компьютерный набор. Подписано в печать 01.09.2014. Формат 60x90<sup>1/16</sup>. Печать офсетная.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 23.25. Уч.-изд. л. 23.25. Тираж 200. Заказ №

Адрес типографии