Российская академия наук
Уральское отделение
Коми научный центр
Институт биологии

XIX Всероссийская молодежная научная конференция

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Материалы докладов

2–6 апреля 2012 г.

Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар 2012

УДК 574/577 (063) 055(02)7

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ: Материалы докладов XIX Всероссийской молодежной научной конференции (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 2–6 апреля 2012 г.). Сыктывкар, 2012. 268 с. (Коми научный центр УрО РАН).

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

Редколлегия

Директор Института биологии д.б.н. С.В. Дёгтева (отв. редактор),
к.б.н. О.Е. Валуйских (зам. отв. редактора), к.б.н. И.В. Новаковская (отв. секретарь)

При поддержке Президиума Уральского отделения РАН

ISBN 978-5-89606-479-4

© Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2012
© Коми научный центр УрО РАН, 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

XIX Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила со 2 по 6 апреля 2012 г. и была посвящена 50-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН. В стенах Института биологии собрались аспиранты, кандидаты и доктора наук, сотрудники различных организаций и студенты вузов, интересующиеся вопросами биологии и экологии и участвующие в научно-исследовательской работе. Основная цель конференции – создание условий для общения молодых ученых друг с другом, поиска новых идей и возможности представить и обсудить в кругу квалифицированных специалистов результаты своих научных исследований. Организаторами конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии при поддержке администрации Института и Президиума Уральского отделения РАН.

В работе конференции приняли участие 170 чел., из них 76 – молодые ученые Института биологии, 29 – из других организаций Сыктывкара, среди которых научные и природоохранные учреждения, высшие учебные заведения, 65 – из других городов России (включая авторов и соавторов). Среди участников – три доктора наук, более 50 кандидатов наук разных специальностей, 29 аспирантов и 29 студентов.

На конференции прозвучало 128 докладов, в том числе пять пленарных. Конференцию открыл доклад д.б.н. С.В. Дёгтевой «Институт биологии Коми НЦ УрО РАН – ведущее исследовательское учреждение естественно-научного профиля на европейском северо-востоке России». В.И. Пономарев представил вниманию слушателей доклад, посвященный развитию международных отношений Института биологии и сохранению биоразнообразия европейского Севера на примере проекта ПРООН/ГЭФ. Традиционно основная часть докладов затронула проблемы изучения, охраны и рационального использования животного и растительного мира. Это фаунистические и экоморфологические исследования позвоночных животных, фауна и экология беспозвоночных животных, исследования бентоса и паразитофауны, криптогамных организмов, флоры и растительности, исследования высших растений на разных уровнях организации. Существенное внимание уделено вопросам, связанным с последствиями загрязнения окружающей среды поллютантами различной природы, изменением структурно-функциональной организации экосистем при антропогенном воздействии, исследованию почв. Рассмотрены биотехнологические, молекулярно-генетические и физиолого-биохимические механизмы устойчивости и продуктивности организмов.

Впервые в рамках молодежной конференции была проведена школа для молодых ученых «Моделирование динамики углерода в лесных экосистемах», ее форма проведения включала два этапа: 1) обзорная лекция, посвященная общим принципам моделирования, системе моделей EFIMOD и некоторые примеры ее применения; 2) практическая часть, которая заключалась в работе на компьютере, обработке климатических данных, построении моделей, обсуждении и т.д. В качестве основного докладчика был приглашен д.б.н. А.С. Комаров (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН). Школа вызвала интерес у молодых исследователей, а положительный опыт участия ведущих ученых РАН и молодых специалистов из разных научных организаций и ВУЗов будет использован и в дальнейшем.

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

БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА В ЗАБОЛОЧЕННЫХ СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А.Ф. Осипов
Институт биологии Коми научного центра УрО РАН
E-mail: osipov@ib.komisc.ru

Актуальность исследований резервуаров и потоков органического углерода в лесных экосистемах обусловлена Рамочной конвенцией ООН об изменениях климата (1992) и Киотским протоколом (1997). Принятие Россией этих соглашений обусловило необходимость инвентаризации существующих запасов, а также оценить величины секвестирования и закрепления углерода в лесных сообществах. По данным Государственного лесного реестра, в 2008 г. покрытая лесом площадь России составила $787.1 \cdot 10^6$ 787.1·106 га, из которых на долю сосняков приходится 17% (Замолодчиков и др., 2011). В фитомассе сосняков сосредоточено $5539.9 \cdot 10^6$ т углерода, а в почве – $13314.5 \cdot 10^6$ (Уткин и др., 2004), в крупных древесных остатках – $775.8 \cdot 10^6$ т углерода (Швиденко и др., 2009). Сосновые экосистемы концентрируют $19630.2 \cdot 10^6$ т (19.6 гигатонн) углерода. Исследователями приводятся довольно близкие оценки пула углерода фитомассы лесных экосистем. Однако, опубликованные в последние годы модельные оценки бюджета углерода как для страны в целом, так и ее отдельных крупных регионов варьируют в широких пределах (Леса..., 2005; Замолодчиков и др., 2007; Усольцев, 2007; Shvidenko et al., 2010 и др.). Академиком С.Э. Вомперским (2011) подчеркивается необходимость изучения углеродного обмена в элементарных экосистемах – биогеоценозах, с последующим объединением этих исследований для снижения неопределенностей, возникающих при модельной оценке баланса углерода.

Сосновые леса на территории Республики Коми занимают 7.2 млн. га, большая часть которых подвержена рубкам главного пользования и пожарам. В настоящее время около половины площади сосняков данного региона представлено молодняками и средневозрастными насаждениями (Лесной план..., 2010). Исследованиям отдельных компонентов бюджета углерода в сосняках европейского Северо-Востока посвящено небольшое количество работ. Так, К.С. Бобковой (1993; 2005) определена биологическая продуктивность, поступление и разложение опада в сосняках средней и северной тайги. Ею в соавторстве с В.В. Тужилкиной (2000) приведено содержание углерода в основных фракциях фитомассы и опада. В.В. Тужилкиной, К.С. Бобковой и З.П. Мартынюком (1998) оценен хлорофилльный индекс и ежегодный фотосинтетический сток углерода в хвойные сообщества. С.В. Загировой (1999) проведены исследования фотосинтеза и дыхания нелистовых органов деревьев сосны, а также зависимость этих процессов от экологических факторов. В коллективной монографии «Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера» (2001) обобщены результаты исследований по биологической продуктивности некоторых типов хвойных экосистем, проанализировано значение экологических факторов на накопление органического вещества, раскрыты некоторые физиологические основы продукционных процессов. Данные по запасам углерода в почвах еловых лесов представлены в работах Г.Г. Мажитовой с соавторами (2003) и А.В. Машики (2006). Единичны работы по изучению потоков CO_2 с поверхности почв (Фролова, 1961). Однако исследованиями компонентов углеродного цикла охвачены главным образом сосняки, произрастающие на автоморфных почвах. Заболоченные типы сообществ, занимая примерно половину площади сосновых лесов, исследованы слабо.

Цель данной работы – охарактеризовать бюджет углерода в заболоченных сосновых экосистемах средней тайги Республики Коми.

Работа выполнена в Республике Коми на территории Ляльского (62°17′ с.ш., 50°40′ в.д.) и Чернамского (62°00′ с.ш., 50°20′ в.д.) лесных стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН в течение 2007-2010 гг. Объекты исследования – чернично-сфагновые сосняки разного возраста послепожарного происхождения, IV и V классов бонитета. Краткая таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 1. В составе древесного яруса сосняков при господстве сосны отмечается незначительное участие березы, ели и редко осины. В подлеске единично ива и рябина. Подрост густотой 2.2-5.5 тыс.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев чернично-сфагновых сосняков

№ ПП	Состав	Средний возраст, лет	Густота деревьев, экз./га$^{-1}$		Сумма площадей сечения, м^2 га$^{-1}$	Запас древесины, м^3 га$^{-1}$		Средняя высота, м	Средний диаметр, см
			растущих	сухих		растущих	сухих		
40	9С1Б+Е	42±2	2153	27	15,0	95	1	8.8	9.3
4 (перечет 1981 г.)	10С+Б ед.Е	60±4	2040	100	15,7	109	4	10.0	10.0
4 (перечет 2008 г.)	10С ед.Е	80±2	2266	327	24,0	141	8	11.0	12.0
26	10С+Е,Б,Ос	118±4	1210	30	20,2	169	2	12.9	16.3

экз./га$^{-1}$ состоит из сосны, березы и ели при доминировании сосны. Травяно-кустарничковый ярус в исследованных сосняках с общим проективным покрытием 50-60% довольно сходен по составу и состоит из черники, голубики, брусники, багульника, водяники, кассандры, подбела, марьянника и осоки. Почти сплошной моховой покров представлен в основном сфагновыми мхами при незначительном участии зеленых мхов. На кочках встречаются лишайники из родов *Cladonia* и *Cladina*. Почвы торфянисто-подзолисто-глееватые иллювиально-железистые и торфянисто-подзолисто-глееватые гумусовые.

Начальным этапом изучения бюджета углерода в лесных экосистемах является оценка его запасов. Выделяются три крупных депо углерода: живая фитомасса, почва и крупные древесные остатки (КДО). В сосняках чернично-сфагновых, развитых на болотно-подзолистых почвах, в зависимости от возраста сосредоточено 130-175 тСга$^{-1}$ (рис. 1). Большую часть (51-73%) аккумулирует верхний метровый (включая подстилку) слой почвы. Доля фитомассы, включающей древостой, подрост и растения напочвенного покрова, увеличивается с возрастом от 27 до 47% органического углерода экосистемы. Участие КДО незначительно с наибольшими запасами (до 5 тСга$^{-1}$) в экосистеме 80-летнего сосняка чернично-сфагнового.

Связывание углерода в процессе фотосинтеза – «приходная» часть бюджета углерода в экосистеме. Сосняки чернично-сфагновые разного возраста накапливают 1.9-3.0 тСга$^{-1}$год$^{-1}$ (рис. 2), где на долю древостоя приходится 49-71%, растения напочвенного покрова – 28-47, подроста – 1-9%. Ранее было отмечено (Бобкова, 1993), что в сосняках по мере увеличения влажности изменяется долевое участие компонентов фитомассы в продукции углерода. Увеличивается роль растений напочвенного покрова в нетто-продукции (NPP), что в свою очередь обеспечивает интенсивный возврат углерода в атмосферу и почву в процессе минерализации опада. У древесных растений значительная продукция наблюдается в древесине ствола (0.43-0.62 тСга$^{-1}$год$^{-1}$) и ассимиляционном аппарате (0.31-0.57). Среди растений напочвенного покрова более интенсивно формируется органическая масса в подземных (0.40-0.79 тСга$^{-1}$год$^{-1}$) и надземных органах кустарничков (0.11-0.34).

Часть органического углерода экосистемы ежегодно отмирает и в результате опада поступает на поверхность почвы, где претерпевает физические и химические превращения. Установлено, что в 45- и 118-летних насаждениях сосняков чернично-сфагновых ежегодно опадает 1.3-1.8 тСга$^{-1}$, что составляет около 3% от запасов углерода или 60-68% от NPP (табл. 2). Доля древесных растений в массе опада снижается с возрастом от 55 до 37%. Значительную роль играют хвоя сосны (0.29-0.42 тСга$^{-1}$год$^{-1}$) и корни (0.13-0.15), а у растений напочвенного покрова – надземные (0.12-0.29 тСга$^{-1}$год$^{-1}$) и подземные органы (0.59-1.14) кустарничков.

Важным показателем, отражающим возврат органического углерода экосистемой в атмосферу и почву, является разложение опада и растительных остатков подстилки. Выделяются активная (ассимиляционный аппарат, растения напочвенного покрова) и неактивная (ветви, кора, древесина, шишки) фракции. Как показывают данные табл. 3, наиболее интенсивно разлагается активная фракция опада: листья березы за год теряют 36, хвоя сосны – 32, черни-

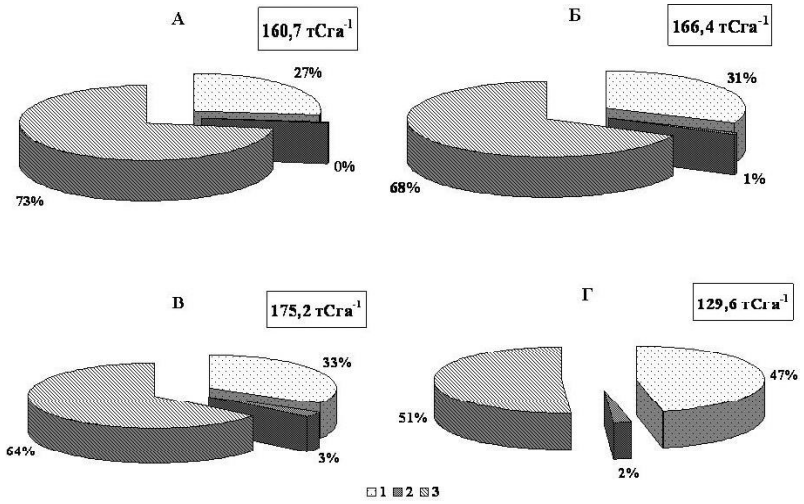


Рис. 1. Запасы углерода в экосистемах сосняков чернично-сфагновых 45 лет (А), 60 лет (Б), 80 лет (В) и 118 лет (Г): 1 – фитомасса, 2 – крупные древесные остатки, 3 – почва; в рамке общее количество углерода, т га$^{-1}$.

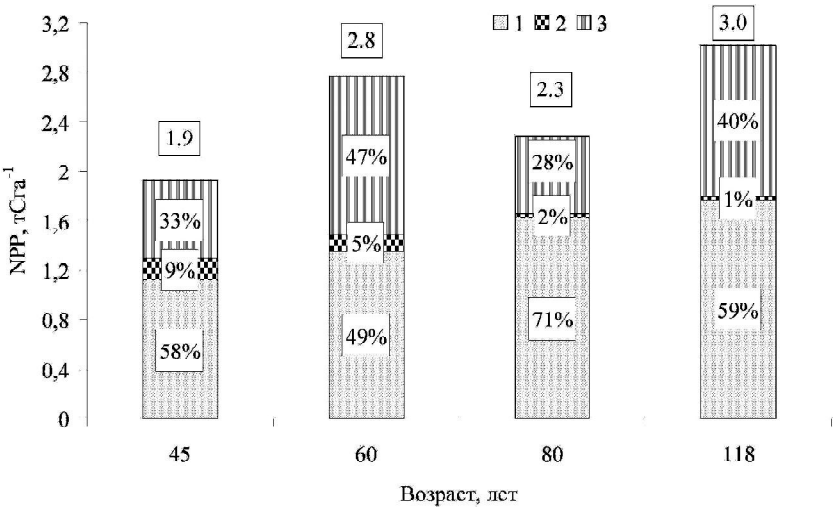


Рис. 2. Продукция углерода и распределение его по компонентам фитомассы в сосняках чернично-сфагновых средней тайги: 1 – древостой, 2 – подрост, 3 – растения напочвенного покрова; в рамке – общая продукция, тСга$^{-1}$год$^{-1}$.

ка – 59, травы – 51% веса. Деструкция неактивной фракции растительных остатков слабая. Скорость разложения ветвей сосны составляет 13, коры стволов – 5% в год. У мхов ежегодное поступление органического вещества в подстилку происходит за счет отмирающих нижних частей надземных органов и ризоидов. У доминирующих в фитоценозах сфагновых мхов ежегодная потеря массы составляет 20%, зеленых – 25. Следовательно, ежегодное разложение растительных остатков в сосняках на болотно-подзолистых почвах составляет около 30% от поступившего опада. При деструкции опада освобождается 0.40 тСга$^{-1}$год$^{-1}$ в 45-летних насаждениях, 0.56 – в 60- и 118-летних. В процессе разложения лесной подстилки теряется около 1.2 тСга$^{-1}$год$^{-1}$.

Таблица 2

Масса опада (числитель) и содержание углерода (знаменатель) в сосняках чернично-сфагновых, т га$^{-1}$

Компоненты опада	Возраст, лет		
	45	60*	118
Древесные растения	1.97±0.50 / 0.99±0.26	1.81±0.30 / 0.91±0.16	1.48±0.16 / 0.74±0.08
Напочвенный покров	1.25±0.18 / 0.59±0.09	1.93±0.23 / 0.91±0.11	2.38±0.33 / 1.14±0.16
Всего	3.22±0.34 / 1.58±0.17	3.74±0.27 / 1.82±0.13	3.86±0.20 / 1.91±0.12

* По данным К.С. Бобковой (1993).

Таблица 3

Разложение основных компонентов опада

Компонент опада	Потеря массы, %
Хвоя сосны	32
Кора сосны	5
Ветви сосны	13
Листья березы	36
Травянистые растения	51
Черника	59
Сфагновые мхи	20
Зеленые мхи	25
Подстилка	
A_0'	3
A_0''	8

Интенсивность выделения CO_2 с поверхности почвы служит важным показателем углеродного обмена между лесными экосистемами и атмосферой. Исследования эмиссии углекислоты с поверхности почвы проведены в 118-летнем насаждении сосняка чернично-сфагнового. Оценку общего потока CO_2 из почв в течение вегетации проводили:

1. по экспериментальным данным, используя формулу

$$E=\sum_{i=1}^{i}(R_i \times N_i),$$

где E – эмиссия C-CO_2 за сезон, мгСм$^{-2}$; R – среднемесячная эмиссия CO_2, мгСм^{2}сут$^{-1}$; N – число дней в месяце.

2. расчетным путем с помощью линейных регрессионных уравнений:

А) описывающих скорость эмиссии CO_2 из почв только от температуры почвы $E = 0.05T\text{-}0.04$ (r = 0.71; б = 0.05), где E – эмиссия, мгСм$^{-2}$сут$^{-1}$, T – температура почвы, °С.

Б) описывающих скорость эмиссии CO_2 из почв от температуры и влажности почвы $E = 44T\downarrow 172\cdot B+84$ (r = 0.57; б = 0.05), где E – эмиссия, мгСм$^{-2}$сут$^{-1}$; T – температура почвы на глубине 10 см, °С; B – объемная влажность почвы на границе органогенного и минерального горизонтов, м^{3}м$^{-3}$.

Выявлено, что в зависимости от способа оценки потери углерода с поверхности почвы различается по годам (табл. 4). Так, в 2008 г. суммарная эмиссия C-CO_2 варьировала от 52 до 90 гСм$^{-2}$. Следует отметить, что непрерывная регистрация температуры и влажности почвы началась только с 3 июля 2008 г., тогда как в расчет по формуле были включены июньские данные. Поток углекислого газа с поверхности почвы в 2009 г. составил 68-74, а в 2010 г. – 70-100 гСм$^{-2}$. В 2010 г. наблюдались более высокие величины эмиссии C-CO_2 с поверхности почвы, которые были обусловлены рано наступившей весной и жаркой погодой в течение лета. Следует отметить, что в год с максимальным выпадением осадков в течение вегетационного периода (в 2009 г.) отмечалась наименьшая экспериментально определенная величина потока углерода с поверхности почвы в атмосферу. Это подтверждает полученное ранее заключение о незначительном влиянии переувлажнения почвы на выделение углекислого газа с поверхности почвы в условиях средней тайги.

Таким образом, определив основные компоненты бюджета углерода в экосистеме, мы можем рассчитать величину чистой экосистемной продукции (NEP), соответствующей разности между фотосинтетическим связыванием углерода (NPP) и его возвратом в атмосферу с дыханием. В качестве примера приведем расчет NEP для 118-летнего сосняка чернично-сфагнового. Вынос углерода в атмосферу, осуществляемый при разложении опада и подстилки, эмиссии углекислого газа с поверхности почвы, с дыханием стволов и ветвей, составляет 2.49 тСга$^{-1}$год$^{-1}$, а его ассимиляция в процессе фотосинтеза – 3.02. Следовательно, в экосистеме спелого сосняка чернично-сфагнового NEP равен 0.53 тСга$^{-1}$год$^{-1}$. Это свидетельствует о том, что спелые заболоченные сообщества являются стоком для углекислого газа атмосферы. Полученная нами величина противоречит мнениям, имеющим место в литературе. Согласно им, спелые сообщества не могут являться стоком, так как процесс активного накопления органического вещества в них закончен и начинается активный распад древостоя. Однако об обратном свидетельствуют таблицы хода роста, показывающие, что в средней тайге древостои на болотно-подзолистых почвах накапливают древесину ствола до 130-140 лет, а процессы распада древостоя, в отличие от сообществ на автоморфных почвах, заторможены и сдвинуты по времени в сторону увеличения возраста. Таким образом, спелые сосняки на переувлажненных почвах могут служить стоком углерода по отношению к атмосфере.

Таблица 4

Суммарное расчетное количество потерь углерода в форме CO_2 с поверхности почвы в течение вегетации, гСм$^{-2}$

Способ оценки	Год		
	2008	2009	2010
Эксперимент	90	68	100
Температура почвы	52	69	70
Температура и влажность почвы	58	74	90

Литература

Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб., 2001. 278 с.

Бобкова К.С. Продуктивность сосновых фитоценозов // Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. С. 12-33.

Бобкова К.С. Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в молодняках сосны // Лесоведение, 2005. № 6. С. 30-37.

Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Мартынюк З.П. Хлорофилльный индекс и ежегодный фитосинтетический сток углерода в хвойные фитоценозы на европейском севере России // Физиология растений, 1998. Т. 45. № 4. С. 594-600.

Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология, 2001. № 1. С. 69-71.

Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода / *Е.А. Ваганов, Э.Ф. Ведрова, С.В. Верховец* и др. // Сибирский экологический журнал, 2005. № 4. С. 631-649.

Вомперский С.Э. О неопределенностях углеродного цикла экосистем // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах: Тез. докл. Междунар. науч. конф. Сыктывкар, 2010. С. 25-27.

Загирова С.В. Структура ассимиляционного аппарата и CO_2-газообмен у хвойных. Екатеринбург, 1999. 108 с.

Киотский протокол к рамочной конвенции Организации объединенных наций об изменении климата. Официальный русский перевод. ООН, 1997. 27 с.

Лесной план Республики Коми. Сыктывкар, 2010.

Мажитова Г.Г., Казаков В.Г., Лопатин Е.В., Виртанен Т. Геоинформационная система для бассейна р. Усы (Республика Коми) и расчет запасов почвенного углерода // Почвоведение, 2003. № 2. С. 133-144.

Машика А.В. Запасы органического углерода в почвах коренных ельников // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. С. 253-264.

Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение, 2007. № 6. С. 23-34.

Рамочная конвенция ООН об изменениях климата. Официальный русский перевод. ООН, 1992. 30 с.

Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 637 с.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В. Пулы углерода фитомассы и почв сосновых лесов России // Хвойные бореальной зоны, 2004. № 2. С. 13-21.

Фролова Л.Н. Интенсивность выделения углекислоты с поверхности почвы сосновых и еловых лесов / Тр. Коми филиала АН СССР, 1961. С. 123-129.

Швиденко А.З, Щепащенко Д.Г., Нильссон С. Оценка запасов древесного детрита в лесах России // Лесная таксация и лесоустройство, 2009. № 1. С. 133-147.

Shvidenko A., Schepaschenko D., Maksyutov S. Impact of terrestrial ecosystems of Russia on the global carbon cycle from 2003-2008: An attempt of synthesis // Proceedings of International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information Systems ENVIROMIS-2010. Tomsk, 2010. P. 48-52.

Секция 1.
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

МАТЕРИАЛЫ К АДВЕНТИВНОЙ ФЛОРЕ ШАРКАНСКОГО РАЙОНА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ю.Н. Батаногова
Удмуртский государственный университет
E-mail: Bat_julia@mail.ru

Цель исследований – изучение адвентивной флоры Шарканского р-на Удмуртской республики (УР). Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: 1) выявить и всесторонне проанализировать видовой состав адвентивной флоры; 2) определить степень адвентизации флоры Шарканского р-на; 3) провести сравнительный анализ адвентивных флор Шарканского, Воткинского и ряда других административных районов Удмуртской республики; 4) выявить инвазионные виды адвентивных растений Шарканского р-на, определить степень их воздействия на местные экосистемы.

Шарканский р-н расположен в восточной части УР. Он граничит с четырьмя административными районами Удмуртии и Пермским краем. Административным центром района является с. Шаркан, численность населения которого составляет около 7.5 тыс. чел. Леса (в основном пихтово-еловые, осиново-березовые) занимают здесь около 40% территории (Шумилов, 2008).

В первый год исследований (летом 2011 г.) нами была изучена только небольшая часть Шарканского р-на, общая площадь которой составила около 20 км^2. Изученная территория включает в себя с. Шаркан и его ближайшие окрестности, в том числе дер. Кипун, центральную свалку мусора, кладбище, садоогородный массив. На этой территории флористическому изучению подлежали следующие типы антропогенных местообитаний: обочины автомобильных дорог, свалки мусора, поля, залежи, огороды, цветники, пустыри и др. Изучались также небольшие участки лесов, лугов и других типов естественных местообитаний.

В результате проведенных исследований на данной территории обнаружено произрастание 221 адвентивного вида растений, входящего в состав 168 родов и 48 семейств. Это составляет 86% от всей адвентивной флоры Шарканского р-на, 28.6% от всей флоры района. Впервые для данного района отмечено 79 адвентивных видов растений. Из них три вида (*Trigonella foenum-graecum* L., *Syringa villosa* Vahl, *Spiraea media* Fr. Schmidt) являются новыми для УР.

По числу адвентивных видов доминирующими семействами являются *Asteraceae* (32 вида), *Poaceae* (21), *Fabaceae* (18), *Brassicaceae* (17), *Rosaceae* (14), *Chenopodiaceae* (9), *Solanaceae* (9), *Lamiaceae* (8), *Caryophyllaceae* (7), *Cucurbitaceae* (7).

Половину адвентивных видов растений составляют малолетники (132 вида; 59.7%), многолетники – 61 вид (27.6%), кустарники – 18 (8.3), деревья – 10 (4.6). Результаты систематического и биоморфологического анализов совпадают с данными для адвентивной флоры Удмуртии в целом (Пузырев, 2006).

Основным местом концентрации адвентивных видов растений является центральная свалка мусора. На ней найдено 126 адвентивных видов, что составляет более половины (57%) всех обнаруженных заносных видов на исследованной территории. На кладбище обнаружен 41 адвентивный вид (18.5%), на территории садоогородного массива – 39 (17.6), в населенных пунктах – 76 (34.4).

Из всех изученных типов антропогенных местообитаний наибольшее число адвентивных видов выявлено на свалках мусора (141 вид; 63.8%). На обочинах автомобильных дорог найдено 74 вида (33.4%), полях – 26 (11.7), залежах – 14 (6.3), пустырях – 21 (9.5), цветниках – 39 (17.6).

Наибольшее количество редких для УР адвентивных видов растений обнаружено на центральной свалке мусора. Здесь были найдены, например, такие виды, как *Cucumis melo* L., *Zinnia elegans* Jacq., *Arachis hypogaea* L., *Clarckia amoena* (Lehm.) Nelson et Macbr., *Ricinus communis* L., *Trigonella foenum-graecum* L., *Syringa villosa* Vahl.

Особый набор адвентивных видов растений обнаружен на кладбище с. Шаркан. Преимущественное развитие здесь имеют высокорослые многолетние травы и кустарники, многие из них

развивают густые заросли. Например, заросли размером от 3 до 5 м^2 образуют *Brunnera sibirica* Stev., *Rudbeckia laciniata* L., *Spiraea media* Fr. Schmidt, *Vinca minor* L.; от 8 до 15 м^2 – *Cerasus vulgaris* Mill., *Solidago serotinoides* A. et D. Lxve, *Spiraea chamaedrifolia* L., *S. pseudosalicifolia* Silverside, *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch.; от 35 до 60 м^2 – *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.; от 200 до 300 м^2 – *Heracleum sosnowskyi* Manden.

По способу иммиграции адвентивные виды разбиты на две группы: эргазиофигофиты (растения, дичающие из культуры) и ксенофиты (случайно занесенные). По числу видов первые (142 вида; 64%) доминируют над вторыми (79; 36). Та же самая закономерность наблюдается для свалок мусора (эргазиофигофитов – 92 вида, 65.3%; ксенофитов – 49 видов, 34.7%) и кладбища (32/78; 9/22). Обратная закономерность, т.е. преобладание ксенофитов над эргазиофигофитами наблюдается для обочин дорог (ксенофитов – 39 видов/52.7%; эргазиофигофитов – 35 видов/47.3), цветников (22/56.4; 17/43.6), залежей (13/92.8; 1/7.2), полей (26/100; 0/0), пустырей (11/52.4; 10/47.6) и садоогородов (24/61.5; 15/38.5).

По степени натурализации выделены три группы адвентивных растений: эфемерофиты (ненатурализовавшиеся растения), эпекофиты (растения, натурализовавшиеся в сегетальных и рудеральных фитоценозах) и агриофиты (растения, натурализовавшиеся в естественных фитоценозах). По числу видов эфемерофиты (143 вида; 64.7%) преобладают над эпекофитами (69; 31.2) и агриофитами (9; 4.1). Особенно высокий процент эфемерофитов наблюдается на свалках мусора.

Некоторые из встреченных нами адвентивных видов растений внедрились в естественные растительные сообщества. Это, например, *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Elodea canadensis* Michx., *Acer negundo* L.

Особенно агрессивно на территории Шарканского р-на ведет себя *Heracleum sosnowskyi* Manden. Этот вид был встречен в большом количестве на кладбище с. Шаркан, на пустыре за территорией Шарканской средней школы и у обочины автомобильной дороги Шаркан–Воткинск. На территории района это быстрорасселяющееся растение, с которым местное население ведет активную борьбу.

В дальнейшем планируется более подробное изучение адвентивной флоры Шарканского р-на, особенно крупных населенных пунктов, автомобильных дорог, свалок мусора.

Литература

Шумилов Е.Ф. Шарканский район // Удмуртская республика: энциклопедия. Изд. 2-е, испр. и доп. Ижевск, 2008.

Пузырев А.Н. Изучение адвентивной флоры в Удмуртской республике// Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья: состояние и перспективы: Матер. III Междунар. науч. конф. Ижевск, 2006. С. 83-84.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ В ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД БЕЛОГО МОРЯ

М.О. Березина
Полярный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича,
Северный филиал ФГУП ПИНРО
E-mail: berezina@pinro.ru

В современных условиях усиливающегося влияния антропогенного фактора на водные экосистемы существенно возрастает роль гидробиологического мониторинга, который позволяет получать информацию о состоянии водной среды с помощью гидробиологических показателей.

В системе гидробиологического мониторинга поверхностных вод используются различные виды животных и растений, в том числе и макроводоросли. В настоящее время при оценке состояния вод Белого моря макроводоросли используют в основном в качестве организмов-мониторов при количественной оценке загрязнения морских вод. Для этого применяют некоторые виды бурых водорослей (отдел *Ochrophyta*) из семейств фукусовые (*Fucus vesiculosus*) и ламинариевые (*Laminaria saccharina*). Проведенные исследования показали, что у ламинариевых водорослей, в частности *Laminaria saccharina*, выявлена высокая способность к накоплению в слоевищах бенз(а)пирена и пестицидов (Пронина, Белоруков, 1999; Муравьева, 2008). Фукусовые водоросли в большей степени способны накапливать тяжелые металлы, такие как железо, марганец, цинк, медь, никель и хром, причем в более значительных количествах, чем ламинариевые водоросли (Пронина, Белоруков, 1999; Оберюхтина, 2003).

В то же время макроводоросли могут служить в качестве организмов-индикаторов, которые используются для идентификации изменений в окружающей среде, обусловленной действием смеси загрязнителей (Биологический..., 2011). К примеру, зеленые макроводоросли считаются хорошими показателями загрязнения морских вод коммунально-бытовыми стоками. Еще в 50-х гг. прошлого века при обследовании донных флор чистых и загрязненных бухт

на побережьях Баренцева, Балтийского, Черного и Каспийского морей сотрудниками военно-медицинской академии им. С.М. Кирова была выявлена общая закономерность изменения флор водорослей при воздействии загрязнения. Во всех морях в незагрязненных районах обнаружилось очень мало видов зеленых водорослей, тогда как загрязненные участки побережья содержали во флоре преимущественно виды *Chlorophyta*, и лишь на Черном море помимо зеленых встречались и красные водоросли (Алфимов, 1962). В 2008, 2010 и 2011 гг. в Белом море также проведено изучение водорослевой растительности литорали в условиях загрязнения морских вод коммунально-бытовыми стоками.

Объектом исследований являлись литоральные альгоценозы водорослей. Одна из основных целей исследования – определить возможность применения зеленых макроводорослей в качестве биоиндикаторов загрязнения. Для этого в районе о-ва Большой Соловецкий было выбрано два участка: первый располагался в кутовой части бухты Благополучия, где осуществляется сброс коммунально-бытовых стоков поселка. Второй участок, взятый как условно-чистый, находился в 1.5 км от бухты на участке литорали в районе Филлиповских садков, представляющих собой одну из дамб, отделяющую часть залива. Исследование бухты Благополучия показало, что основной фон литоральной подводной растительности создают зеленые макроводоросли. Водоросли пышно развивались в летний период и занимали значительную часть дна рядом с выходами сточных вод, образуя существенную биомассу. Проективное покрытие дна водорослями в июле месяце достигало 90%. Величина биомассы в скоплениях составляла от 1 до 4 кг/м^2 (в зависимости от гидрометеоусловий года). Изучение видового состава водорослей бухты показало, что он представлен 16 видами, принадлежащими к шести порядкам, восьми семействам и 13 родам. Структурными компонентами подводной растительности в бухте являлись два фитоценоза зеленых водорослей (*Enteromorpha prolifera* + *E. flexuosa* – *Rhizoclonium riparium* + *Percursaria percursa*; *Ulothrix implexa*), которые располагались в непосредственной близости от источников загрязнения и альгоценоз бурых водорослей (*Fucus vesiculosus*), не контактирующий со сточными водами. Ведущим компонентом подводной растительности являлся фитоценоз энтероморф.

Сравнительный анализ альгофлор бухты и условно-чистого участка показал существенные различия в их составе и структуре. На условно-чистом участке скопления зеленых водорослей занимали значительно меньшую площадь дна, общее проективное покрытие их составило менее 20%. Видовой состав участка включал 22 вида макроводорослей, принадлежащих к 12 порядкам, 15 семействам и 17 родам. Здесь преобладал фитоценоз *Fucus vesiculosus*, а второстепенным являлся фитоценоз *Cladophora sericea* + *E. prolifera* + *E. flexuosa* – *Stictyosiphon tortilis*.

Сравнение видового состава водорослей бухты с фоновым участком по соотношению «цветных» групп водорослей показало, что в альгофлоре бухты по числу видов преобладали зеленые водоросли (88% от общего числа видов), бурые составили 12%. На фоновом участке наблюдалось равное соотношение видов зеленых и бурых водорослей (по 41% от общего числа видов), доля видов красных составила 18%. Соответственно таксономические структуры водорослей двух участков также различались. Среди представленных в бухте семейств 75% относились к *Chlorophyta* и только 25% – к отделу *Ochrophyta*. На фоновом участке 47% семейств относились к бурым водорослям, зеленые и красные составили 27 и 26% соответственно.

Таким образом, было выявлено, что в Белом море в условиях загрязнения коммунально-бытовыми стоками наблюдается та же закономерность к преобладанию в альгофлоре зеленых макроводорослей, отмеченная в других морях.

Сравнительный анализ видовых составов по комплексу зеленых водорослей на участках показал, что практически все виды *Chlorophyta* условно-чистого участка встречались в бухте, за исключением *Cladophora rupestis*. Способность зеленых водорослей обитать как в чистых, так и загрязненных местообитаниях неоднократно отмечалась исследователями, особенно это характерно для представителей семейства ульвовых (Виноградова, 1974). Наряду с этим установлено, что виды кладофоровых и улотриксовых также способны обитать в разных условиях. Следовательно, подавляющая часть обнаруженных нами видов зеленых водорослей проявляет толерантность к загрязнению, что собственно и обуславливает их доминирование в условиях антропогенного эвтрофирования вод. Анализ экологических характеристик водорослей показал, что большинство выявленных видов зеленых водорослей в отличие от бурых и красных являются эврибионтными организмами, это в свою очередь позволяет оценить сопряженность видов с загрязнением без учета влияния естественных факторов среды. Преимуществом зеленых водорослей по сравнению с другими представителями альгофлоры является также то, что они относятся к короткоживущим формам, у которых «отклик» на загрязнение происходит быстрее, чем у многолетних видов. Стоит отметить, что зеленые водоросли, несмотря на свою толерантность, неодинаково реагируют на загрязнение. Это связано с их разной потребностью в питательных веществах, обуславливающим и стимулирующим рост водорослей (Виноградова, 1974). Отношение видов к загрязнению определялось с помощью показателя обилия, для которого была использована семибалльная шкала Кнеппе. На основе данного метода

Видовой состав, обилие и экологическая характеристика зеленых макроводорослей на обследованных участках о-ва Большой Соловецкий

Вид водоросли	Экологическая характеристика вида	Обилие (по шкале Г. Кнеппе)	
		Условно чистый участок (20 проб)	Загрязненный участок (24 пробы)
Cladophora sericea (Huds.) Kutz.	э, одн	Много	Мало
Cladophora rupestris (L.) Kutz.	мор, одн	+	–
Rhizoclonium implexum (Dillw.) Kutz.	э, одн	Единично	Единично
R. riparum (Roth) Harv.	э, одн,	Единично	Средне
Chaetomorpha tortuosa (Dillw.) Kleen	мор, одн	Единично	Единично
Acrosiphonia centralis (Lyngb.) Kjellman	мор, одн	–	Единично
Acrosiphonia flagellata Kjellm.	мор, одн	–	Единично
Ulothrix implexa (Kutz.)	э, одн	Единично	От мало до средне
U. flacca (Dillw.) Thur.	э, одн	–	Единично
Blidingia minima (Nag. Ex Kutz.) Kylin.	э, одн	Единично	Мало
Capsosiphon fulvescens (Ag.) S. et G.	э, одн	–	Единично
Percursaria percursa (Ag.) Bory	сол, одн	Единично	Средне
Enteromorpha intestinalis (L.) Link	сол, одн	–	Единично
E. prolifera (O.F. Mull.) J.Ag.	э, одн	Много	Массово
E. flexuosa (Wulf. ex Roth) J.Ag.	э, одн	Много	Массово
Итого		10	14

Примечание. Мор – морской, э – эвригалинный, сол – солоновато-водный, одн – однолетний.

установлено, что самым высоким обилием в бухте обладали только два вида энтероморф (см. таблицу).

На фоновом участке эти виды также преобладали среди других водорослей, но при этом являлись содоминантами *C. sericea*, которая имела в бухте низкий показатель обилия (см. таблицу). Кроме энтероморф в бухте относительно обильными являлись еще два вида: *R. riparium* и *P. percursa*. На фоновом участке эти водоросли относились к группе малообильных видов. Остальные виды характеризовались низкими показателями обилия. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в данном случае загрязнение оказывает стимулирующее воздействие, по крайней мере, на четыре вида зеленых водорослей и подавляющее – на один вид.

На основании полученных результатов исследования можно говорить о том, что зеленые макроводоросли являются перспективной группой макроводорослей для целей биоиндикации загрязнения сточными водами. Основными биоиндикационными показателями являются проективное покрытие дна зелеными водорослями, общая биомасса и обилие видов (или другая количественная характеристика). Дальнейшие наблюдения за состоянием водорослевой растительности в комплексе с мониторингом качества вод позволят установить сапробиологический статус макроводорослей, который также может быть использован в качестве показателя уровня загрязнения морских вод. Среди зеленых макроводорослей наиболее выраженная «реакция» на загрязнение отмечена у пяти видов: *Enteromorpha prolifera*, *E. flexuosa*, *Cladophora sericea*, *Rhizoclonium riparium* и *Percursaria percursa*, следовательно, они проявляют высокие биоиндикаторные свойства.

Литература

Алфимов Н.Н. Влияние загрязнений на распределение водорослей // Тр. Всес. совещ. работников водорослевой пром-ти СССР. Архангельск, 1962. Т. 1. С. 124-130.

Биологический мониторинг природно-техногенных систем / Под общ. ред. Т.Я. Ашихминой, Н.М. Алалыкиной. Сыктывкар, 2011. 387 с.

Виноградова К.Л. Ульвовые водоросли (Chlorophyta) морей СССР. Л.: Наука, 1974. 164 с.

Муравьева Е.А. Некоторые данные о загрязнении беломорских водорослей бенз(а)пиреном // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: Тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. Владивосток, 2008. С. 199.

Оберюхтина И.А. Эколого-токсикологическое состояние прибрежной зоны Соловецкого архипелага по содержанию тяжелых металлов в водорослях-макрофитах (1998-2001 годы): материалы временных коллективов // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера: Тез. докл. XXVI Междунар. конф. Сыктывкар, 2003. С. 64.

Пронина О.А., Белоруков А.М. Изучение сорбционных возможностей беломорских водорослей-макрофитов // Альгология, 1999. № 2. С. 120-121.

ОСОБЕННОСТИ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ АЛАТЫРЬ (РЕСПУБЛИКА МОРДОВИЯ)

О.Г. Гришуткин
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
E -mal: grishutkinog@rambler.ru

Река Алатырь – левый приток р. Сура и приток второго порядка р. Волга, расположена на отрогах Приволжской возвышенности. Исследуемый район протягивается нешироким (до 16 км) лесным массивом длиной около 90 км (в пределах Мордовии).

Район исследования включает террасы Алатыря и примыкающий к ним участок водно-ледниковой равнины. Представлены песками с прослоями глин, подстилаемые верхнеюрскими и нижнемеловыми отложениями (преимущественно глины с линзами песков). Климат умеренно континентальный со средними температурами летом +18 °С, зимой –11 °С. Среднегодовое количество осадков 500 мм, коэффициент увлажнения близок к единице.

Таким образом, исследуемый район обладает двойственным характером. С одной стороны, он находится в зоне лесостепи с характерными для нее климатическими показателями, с другой – обладает литогенной основой и ландшафтами, сходными с зоной смешанных и широколиственных лесов. Все это не могло не отразиться на характере существующих здесь болот.

Наиболее хорошо болота изучены на территории национального парка «Смольный», который располагается в западной части района исследования (Силаева, Чугунов, 1998; Гришуткин, 2011). По остальной территории работы практически не проводились, лишь некоторые материалы можно найти в общих флористических работах по Мордовии (Красная книга..., 2003; Силаева, 2010).

Говоря об общих особенностях, нужно отметить, что представленные здесь болота невелики по площади (редко превышают 100 га), но крайне многочисленны. И если в долю общей площади наиболее весомый вклад вносят низинные болота, то по количественным показателям преобладают переходные. Рассмотрим типы и подтипы болот, особенности их размещения в рельефе и по территории.

Низинные болота. Располагаются преимущественно в пойме р. Алатырь, наиболее крупные массивы сосредоточены в притеррасных понижениях. Болота здесь обычно черноольховые и березовые, с глубокой торфяной залежью (до 6 м). Площадь в редких случаях превышает 100 га (Клюквенно-Кендиское, 147 га). В древостое доминирует ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), содоминант – береза белая (*Betula alba* L). По краям образуются кустарниковые заросли из различных видов ив, единичных кустов или зарослей смородины черной (*Ribes nigrum* L). Деревья и кустарники обычно оплетает хмель вьющийся (*Humulus lupulus* L). В травянистом ярусе часто доминируют тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), осока береговая (*Carex riparia* L.), осока пузырчатая (*C. vesicaria* L.), осока ложносытевидная (*C. pseudocyperus* L). Для болот такого типа характерны таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), подмаренник болотный (*Galium palustre* L.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), паслен сладко-горький (*Solanum dulcamara* L).

Центральная часть поймы была во-многих местах осушена в 1980-е гг., в настоящее время болота здесь немногочисленны, преимущественно осоковые и тростниковые. Реже встречаются ивняки и сравнительно недавно заросшие старицы, где преобладают сплавины из осок, сабельника, телореза, вахты, омежника, частухи.

На остальной территории (участки надпойменных террас и водно-ледниковой равнины) низинные болота встречаются гораздо реже, обычно приурочены к долинам малых рек, лощинам и тальвегам, единично встречаются по суффозионным и эоловым западинам. Иногда располагаются на пониженных террасах, обладая немалой площадью (Раушка, 127 га). Болота преимущественно черноольховые, реже березовые с преобладанием в травянистом ярусе осок, тростника, таволги. По замкнутым формам рельефа распространены осоковые, осоково-вейниковые болотца. Иногда по неглубоким ложбинам встречаются ивняки.

Переходные болота, как уже отмечалось выше, являются преобладающими в количественном плане, однако невелики по площади. Крайне разнообразны по встречающимся на них растительным ассоциациям. Распространены на террасах Алатыря и участках водно-ледниковой равнины по суффозионным и эоловым западинам. По преобладающей растительности можно выделить следующие основные подтипы переходных болот.

Вейниково-осоковые и осоково-вейниковые болота с малым участием сфагнума либо вовсе без него, занимают неглубокие суффозионные западины, сильно пересыхающие уже к началу лета, чем и отличаются от сходных по растительности низинных болот. Древесной растительности, как правило, крайне мало. Встречается береза белая, по окраинам – виды ив, крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill). В травянистом ярусе доминируют вейник седеющий (*Calamagrostis canescens* (Web.) Roth.), осока волосистоплодная (*Carex lasiocarpa* Ehrh.), осока

вздутая (*C. rostrata* Stokes). Присутствуют осока острая (*Carex acuta* L.), подмаренник болотный, трехраздельный (*Galium trifidum* L.), реже – сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), тиселинум болотный (*Thyselinum palustre* (L.) Rafin.), кизляк кистецветный (*Naumburgia thyrsiflora* (L.) Reichenb.). Между кочками нередко отмечаются пузырчатка малая (*Utricularia minor* L.) и обыкновенная (*U. vulgaris* L.).

Сфагново-осоковые болота многочисленны, занимают замкнутые котловины суффозионного и эолового происхождения. Древесный ярус представлен березой белой, редко – сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). По краям обыкновенны виды ив и крушина. Травянистый ярус может включать сфагнумы, осоку вздутую, острую, волосистоплодную, сабельник, вахту трехлистную (*Menyanthes trifoliata* L.), вейник седеющий, кизляк. Реже встречается белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.). По краям нередко произрастает тростник.

Сфагново-пушицевые болота по положению в рельефе схожи с предыдущим подтипом, но чаще образуются в эоловых котловинах. Флористическое богатство низкое. Здесь доминируют береза, сосна, сфагновые мхи, пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.). На пушицевых кочках и приствольных коблах встречаются черника (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника (*V. vitis-idaea* L). Редко присутствуют багульник (*Ledum palustre* L.), болотный мирт (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.). По окраинам некоторых болот произрастают тростник, вахта, белокрыльник, кизляк, вейник. Растительный покров болот этого типа схож с таковым верховых, но отличается незначительным участием кустарничков и доминированием березы в древесном ярусе.

Пушицевые болота отличаются от сфагново-пушицевых абсолютным доминированием пушицы влагалищной. Сфагнум произрастает лишь на окраинах и находится в угнетенном состоянии. Единичны береза и по краям – кусты ивы пепельной (*Salix cinerea* L.). Встречаются вейник, подмаренник болотный, черника, брусника.

Верховые болота имеют малое распространение и встречаются единично или небольшими группами по участкам террас и водно-ледниковой равнины в ландшафтах, переработанных дефляционными процессами. В древесном ярусе преобладает сосна, нередко вместе с березой, в кустарничковом обычны багульник, болотный мирт, голубика. На разных болотах тот или иной вид может доминировать либо выпадать из растительного покрова. Нередко на кочках встречаются черника и брусника. В травянистом ярусе доминируют сфагнумы и пушица влагалищная. По окраинам на некоторых болотах встречаются вахта, сабельник, вейник, белокрыльник, тростник, ива. Верховые болота являются местом обитания редких в Мордовии бореальных видов. Из кустарничков здесь изредка произрастают клюква болотная и подбел обыкновенный (*Andromeda polifolia* L.). Из травянистых растений встречается росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), осока топяная (*Carex limosa* L.), шейхцерия болотная (*Scheuchzeria palustris* L.), гаммарбия болотная (*Hammarbia paludosa* (L.) O. Kuntze).

Одним из важнейших факторов, влияющих на болота региона, являются лесные пожары. Наиболее сильное воздействие оказывается на переходные и реже верховые болота, расположенные меж сухих песчаных древних дюн, покрытых сосняками-беломошниками. Болота могут проходиться либо поверхностными пожарами, когда сгорает лишь растительность, практически не затрагивая торфяной залежи, либо полностью до минерального дна. В первом случае видовой набор растений в первые годы сохраняется, включая редкие для Мордовии виды – клюква, подбел, однако в результате минерализации зольными элементами преимущество получает пушица влагалищная, которая со временем может вытеснять все прочие виды, включая сфагнум, который остается лишь фрагментарно. В древесном ярусе доминирующим видом становится береза белая, которая восстанавливается в первые же годы после пожара. Результатом подобных замещений и обеднения растительности является тот факт, что здесь крайне редко встречаются верховые болота. Казалось бы, пригодные для них котловины очень часто занимают березово-пушицевые болота без кустарничкового яруса и с очень бедным видовым составом.

Полностью выгорают обычно неглубокие переходные болота. На их месте образовываются небольшие озерца. По краям идет заселение ивой, осоками, тростником, шлемником, по сохранившимся участкам торфа встречается сфагнум. У наиболее мелких болот по суффозионным котловинам озерца не образовываются, вода отмечается только весной, однако идет активное повторное заболачивание с поселением, как правило, осоки острой, дернистой, вздутой. По кочкам также встречаются подмаренник болотный и трехраздельный. По небольшим лужам между кочек может произрастать кизляк, пузырчатка средняя и малая.

В исследуемом районе довольно много разработанных болот. Всего их насчитывается более 25. Наибольшее число сосредоточено в западной части (Ичалковский р-н). Большая их часть использовалась в 1940-1960 гг. 14 болот являются низинными, 10 – переходными, два – верховыми. На низинных болотах довольно быстро восстанавливается практически вся растительность с изменением структуры распространения по территории болота, при этом очень медленно идет зарастание карьеров и образовавшихся на их месте крупных озер.

Переходные и верховые схожи по этапам и чертам зарастания, причем настолько, что у некоторых болот довольно сложно выделить тип. На них могут соседствовать сфагнум магелланский, росянка, клюква, багульник, мирт, голубика по оставшимся грядам и осоки, рогоз, тростник по зарастающим карьерам, причем отмечается активное заселение сфагновых сплавин на месте карьеров росянкой и клюквой.

Подводя итог, отметим, что район исследования, обладая нетипичными для окружающей местности условиями, сосредоточил болотные экосистемы значительно отличающиеся по своей морфологии от болот соседствующих ландшафтов. Болота левобережья Алатыря, находясь в целом на небольшой территории, отличаются значительным разнообразием типов и подтипов, включают множество растительных ассоциаций, в том числе и крайне редких для Республики Мордовия в частности и для Приволжской возвышенности в целом.

Литература

Гришуткин О.Г. Растительность болот национального парка «Смольный» // Известия Самарского научного центра РАН, 2011. Т. 13. № 5. С. 122-124.

Красная книга Республики Мордовия. В 2 т. Т. 1: Редкие виды растений, лишайников и грибов / Сост. Т.Б. Силаева. Саранск: Мордовское кн. изд-во, 2003. 288 с.

Силаева Т.Б., Кирюхин И.В., Чугунов Г.Г. Сосудистые растения Республики Мордовия (конспект флоры) / Под ред. Т.Б. Силаевой. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2010. 352 с.

Силаева Т.Б., Чугунов Г.Г. Флора и растительность болот национального парка «Смольный» // Водные и наземные экосистемы и охрана природы левобережного Присурья. Саранск, 1998. С. 52-57.

ОЦЕНКА БИОМАССЫ МИКРОГРУППИРОВОК ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПИХТО-ЕЛЬНИКОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

И.С. Грозовская
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
E-mail: *irinagrozovskaya@gmail.com*

В современном мире остро встает проблема сохранения биологического разнообразия лесных экосистем при одновременно эффективном использовании лесных ресурсов (Карпачевский и др., 2009). Для оптимизации хозяйства при сохранении экологических функций лесного фитоценоза необходимо знать продуктивность всех его элементов. В том числе важен учет продуктивности живого напочвенного покрова (травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов), поскольку его органическое вещество вносит большой вклад в общий круговорот углерода и азота в лесной экосистеме (Ремезов и др., 1959).

В качестве объектов исследования были выбраны лесные экосистемы южной тайги европейской части России. Цель работы – проведение сравнительной оценки разнообразия и биомассы живого напочвенного покрова ельников и пихто-ельников северо-востока Костромской области. Исследования проводили в июле 2011 г. в Октябрьском р-не Костромской области (Октябрьское лесничество). По лесорастительному районированию А.В. Письмерова (Письмеров, 1977), исследованные участки относят к району пихтово-еловых лесов южных отрогов Северных Увалов. Характерной особенностью таких лесов является примесь в еловых древостоях *Abies sibirica* и *Tilia cordata* (Письмеров, 1977). Отличительной особенностью рассматриваемых пихто-ельников является также практически равное участие в напочвенном покрове видов бореальной и неморальной эколого-ценотических групп (ЭЦГ) (Смирнова и др., 2006).

Сбор материала проведен в трех типах лесных сообществ. Пихто-ельник бореально-мелкотравно-чернично-крупнопапоротниковый (ПЕБ) (45 квартал) описан на водоразделе на относительно выровненном участке поверхности. Пихто-ельник разнотравный (ПЕР) (49 кв.) расположен на правом высоком берегу р. Ветлуга на первой надпойменной террасе (в пределах водоохранной зоны). Ельник черничный (ЕЧ) (45 кв.) описан на водораздельном участке с небольшим уклоном.

В каждом из фитоценозов выполнены геоботанические описания растительности. Для сбора материала по биомассе напочвенного покрова во всех изученных сообществах заложены учетные площади размером 40×40 м. Сбор данных по биомассе напочвенного покрова производили с учетом неоднородного распределения видов сосудистых растений в сообществе. В пределах учетных площадей были выделены микрогруппировки по доминирующей в живом напочвенном покрове ЭЦГ. В пределах микрогруппировок с помощью рамки закладывали площадки 25×25 см. Учет биомассы напочвенного покрова производили методом монолитов (Родин и др., 1968). Для каждой из заложенных площадок составлен список видов сосудистых растений и мохообразных с учетом их обилия. Растения срезали на уровне почвы и разделяли по видам. Мхи снимали с поверхности почвы без разделения на виды. Далее выкапывали почвенный монолит со сторонами 25 см и разбирали подземные части растений с разделением их по видовой принадлежности. Всего было заложено

Таблица 1

Виды растений высокого класса константности (III, IV,V) в микрогруппировках живого напочвенного покрова трех исследованных типов сообществ

Микрогруппировка	Виды сосудистых растений
Черничная	*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Linnaea borealis*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella, Trientalis europaea*
Крупнопапоротниковая	*Dryopteris dilatata, Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*
Бореально-мелкотравная	*Oxalis acetosella, Gymnocarpium dryopteris, Stellaria holostea, Maianthemum bifolium, Trientalis europaea*
Неморальная	*Pulmonaria obscura, Oxalis acetosella, Equisetum sylvaticum, Rubus saxatilis, Viola mirabilis*
Бореально-неморальная	*Equisetum sylvaticum, Fragaria vesca, Luzula pilosa, Phegopteris connectilis, Viola mirabilis, Maianthemum bifolium, Oxalis acetosella*
Высокотравная	*Aconitum septentrionale, Equisetum sylvaticum, Oxalis acetosella, Phegopteris connectilis, Pulmonaria obscura, Stellaria holostea, Viola mirabilis*

60 пробных площадок: по 20 в каждом типе сообщества. На всех 20 площадках отбирали образцы для учета надземной биомассы, а на 10 из них дополнительно брали образцы для оценки подземной биомассы.

Латинские названия видов сосудистых растений приведены по сводке С.К. Черепанова (Черепанов, 1995).

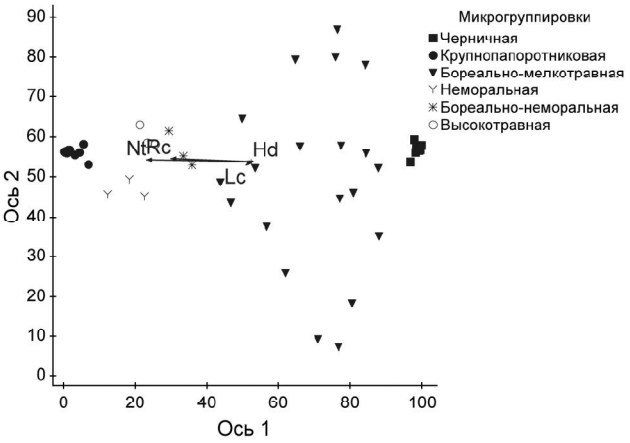
В ПЕБ и ЕЧ были выделены черничная, крупнопапоротниковая и бореально-мелкотравная микрогруппировки. В черничной микрогруппировке максимальное обилие и V класс константности имела *Vaccinium myrtillus*, в крупнопапоротниковой – *Dryopteris dilatata*, в бореально-мелкотравной – *Oxalis acetosella*. В ПЕР также были выделены неморальная, бореально-неморальная и высокотравная микрогруппировки. В неморальной высокое обилие и V класс константности имела *Pulmonaria obscura*, в бореально-неморальной – *Maianthemum bifolium, Oxalis acetosella*, в высокотравной – *Aconitum septentrionale* (табл. 1).

Средние значения надземной и подземной биомассы микрогруппировок живого напочвенного покрова пихто-ельников представлены в табл. 2. Наименьшая биомасса растений отмечена в бореально-мелкотравных микрогруппировках. Во всех исследуемых фитоценозах они имеют сходные значения надземной биомассы. Подземная биомасса бореально-мелкотравных микрогруппировок значительно выше в ельнике черничном, чем в других сообществах. Такой результат объясняется тем, что при подсчете подземной биомассы микрогруппировки была учтена биомасса корневищ черники, присутствующих на площадке. Неморальная микрогруппировка в ПЕР отличается более высокими продукционными показателями в сравнении с бореально-мелкотравной. Среди черничных микрогруппировок, которые были выделены в напочвенном покрове двух типов сообществ, наибольшую надземную биомассу имеет микрогруппировка в ельнике черничном, а наибольшую подземную – ПЕБ. Высоким варьированием отличаются показатели биомассы крупнопапоротниковых микрогруппировок. Самое большое значение надземной биомассы имеют микрогруппировки в ПЕР. Наиболее вариабельной оказалась подземная биомасса крупнопапоротниковых микрогруппировок. В ПЕР она почти в два раза превышает подземную биомассу этих группировок в ПЕБ.

Таблица 2

Биомасса микрогруппировок живого напочвенного покрова трех исследованных типов сообществ (сухой вес, г/м^2)

Микрогруппировка	Биомасса	Тип сообщества		
		ПЕБ	ПЕР	ЕЧ
Черничная	Надземная	189.4±85.7	–	252.1±126.9
	Подземная	435.8±244.5	–	256.4±69.7
Крупнопапоротниковая	Надземная	222.1±129.8	308.7±135.8	154.9±16.5
	Подземная	1253.2±634.5	2268.4±1445.1	–
Бореально-мелкотравная	Надземная	31.5±22.9	32.2±3.9	34.1±13.0
	Подземная	77.3±20.6	46.5±10.0	218.0±47.5
Неморальная	Надземная	–	70.5±11.3	–
	Подземная	–	112.3±18.2	–
Бореально-неморальная	Надземная	–	56.5±28.5	–
	Подземная	–	–	–
Высокотравная	Надземная	–	145.8±20.8	–
	Подземная	–	–	–



Ординация навесок по надземной биомассе живого напочвенного покрова в трех типах исследованных растительных сообществ (DCA).

Обозначения векторов экологических шкал Д.Н. Цыганова (1983): Hd – шкала увлажнения почв, Nt – шкала богатства почв азотом, Rc – шкала кислотности почв, Lc – шкала освещенности-затенения.

Проведен сравнительный анализ значений надземной биомассы однотипных микрогруппировок в исследуемых типах сообществ методом непрямой ординации (DCA, Detrended Correspondense Analysis). Расчеты производили в системе PC-ORD for Windows версии 5. Всего проанализировано 60 навесок надземной биомассы. Ординация навесок надземной биомассы показала, что черничная и крупнопапоротниковая микрогруппировки занимают крайние позиции в ординационном пространстве и образуют обособленные группы.

Третья обособленная группа образована неморальной и высокотравной группировками. Бореально-неморальная и бореально-мелкотравная микрогруппировки занимают центральное положение (см. рисунок). Таким образом, результаты ординации подтверждают наличие неоднородности напочвенного покрова (мозаичности), которая отражается не только в видовом составе микрогруппировок, но и в их продукционных характеристиках. Одинаковые микрогруппировки в разных типах сообществ имеют сходные значения по надземной биомассе, наибольшее варьирование значений биомассы отмечено для бореально-мелкотравной микрогруппировки. Дальнейшее исследование функциональной значимости биомассы растений живого напочвенного покрова может лечь в основу выделения функциональных типов растений (ФТР) по биомассе.

Выражаю глубокую благодарность всем, кто помогал в организации экспедиции и сборе полевого материала. Исследования частично поддержаны программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограмма «Динамика лесных экосистем», проект «Экосистемные функции живого напочвенного покрова бореальных лесов европейской России».

Литература

Карпачевский М.Л., Тепляков В.К., Яницкая Т.О., Ярошенко А.Ю. Основы устойчивого лесоуправления: Учеб. пособие для вузов // Всемирный фонд дикой природы (WWF). М., 2009. 143 с.

Письмеров А.В. Методические указания по лесорастительному районированию Костромской области (с применением математических методов). М.: ВНИИЛМ, 1977.

Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.Н. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1959. 284 с.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 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.

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.

ЛЕСА С ПИХТОЙ СИБИРСКОЙ НА ЗАПАДНОЙ ГРАНИЦЕ ЕЕ АРЕАЛА (НА ПРИМЕРЕ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

С.А. Грозовский
Костромской государственный университет им. Н.А. Некрасова
E-mail: sergeygrozovskiy@rambler.ru

Растительность Костромской области в настоящее время в достаточной мере исследована лишь в юго-западных районах, в несколько меньшей степени – в центральных, для восточных районов имеются лишь разрозненные данные. Вместе с тем, уже первые исследователи региона отмечали наличие здесь границ ареалов целого ряда видов, массовых в более восточных и северо-восточных областях страны. Такие пограничные виды в Костромской области есть не только среди трав, но и среди деревьев. Изучение древесных видов на границе ареала перспективно, например, для разработки лесозаготовительных методик, поскольку Россия в настоящее время ориентирована на рынок экспорта древесины. Кроме того, определенный интерес представляет выявление зависимости произрастания уязвимых травянистых видов от

доминантов древесного полога (Браславская, Тихонова, 2006; Немчинова, 2010). Данная статья посвящена изучению лесов с доминированием пограничного древесного вида – пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) – в одном из центральных районов Костромской области – Кологривском.

Из общего массива стандартных геоботанических описаний лесной растительности, выполненных на учетных площадках в 100 м^2 (по методу Браун-Бланке; данные экспедиций 2004-2007 гг.; всего обследовано 309 древостоев), вычленены все описания с *A. sibirica* в качестве доминанта (73) и все описания с елью (*Picea abies* (L.) Karst.) в качестве доминанта (185). Обычно пихта не образует чистых древостоев и сосгосподствует с елью (Заугольнова, Морозова, 2006), что подтверждается и в данном случае: лишь три из 73 сообществ были полностью лишены ели. Поэтому сделано допущение, согласно которому в пихтовых сообществах ель может присутствовать, а пихта в еловых – нет.

Эколого-флористическая классификация древостоев с пихтой проведена классическим методом Браун-Бланке, который позволяет вручную контролировать все этапы компактизации информации (van der Maarel, 2006). На синтетическом этапе выделено пять фитоценонов – безранговых единиц классификации (табл. 1). В силу недостатка данных не представляется возможным интерпретировать их принадлежность к тем или иным синтаксонам. Так, например, лишь один фитоценон (пятый) представлен хотя бы пятью древостоями. Это видно из табл. 1, в которой показано постоянство диагностических видов. Римскими и арабскими цифрами обозначены классы постоянства видов и число геоботанических описаний с каждым видом (в случае, если оно в фитоценоне менее пяти) соответственно. Надстрочные знаки – баллы обилия по шкале проективного покрытия Браун-Бланке и диапазоны видов по обилию. Учитываются классы постоянства начиная со второго (I – до 20%; II – 21-40; III – 41-60; IV – 61-80; V – от 81%).

Также проведена ординация пихтовых сообществ методом DCA (McCune, Mefford, 1999). Экологическая характеристика древостоев и интерпретация осей ординации проведены по оптимумным экологическим шкалам Х. Элленберга. Использованы такие шкалы: L, K, R, N (Ellenberg, 1974; McCune, Mefford, 1999).

Из табл. 2 следует, что наилучшим образом дисперсию объясняет пара осей Axis 1 и Axis 2. Результаты ординации схематически показаны на рис. 1, где отражены лишь те древостои, для которых метод Браун-Бланке выявил принадлежность к одному из выделенных фитоценонов (обозначены разными значками) (McCune, Mefford, 1999).

Для интерпретации осей ординации рассчитаны коэффициенты линейной корреляции r

Таблица 1

Синоптическая таблица классификации пихтовых сообществ табличным методом Ж. Браун-Бланке

Диагностические виды / фитоценоны	1	2	3	4	5
Crepis paludosa (L.) Moench.	2				
Filipendula ulmaria (L.) Maxim	3^{1-3}	2^{2-3}			
Paris quadrifolia L.	3^{+-1}	2^{+-1}			
Cirsium oleraceum (L.) Scop.	2^{2}	2^{+-2}			
Valeriana officinalis L.	2	2^{r-2}			
Chrysosplenium alternifolium L.	2^{+-1}	2			
Pyrola rotundifolia L.	2^{1-2}		2		
Ranunculus repens L.	2			1	
Urtica dioica L.	1	3^{r-1}			
Impatiens noli-tangere L.	1	2^{+-r}			
Melampyrum sylvaticum L.			2^{+-2}		
Melampyrum pratense L.			2^{+-2}		
Orthilia secunda (L.) House				2^{r-1}	II^{+-1}
Carex digitata L.					III^{+-1}
Viola mirabilis L.					III^{+-1}

Таблица 2

Пост-ординационная оценка отношения объяснимой дисперсии к общей (коэффициент детерминации R^2)

Оси	Приращение	Накопление
Axis 1	0.318	0.318
Axis 2	0.115	0.434
Axis 3	0.067	0.5

между координатами описаний и их экологическими характеристиками. В результате выявлена положительная корреляция средней силы шкал R и N с осью Axis 1 (r = 0.554 и r = 0.524 соответственно) и сильная положительная корреляция между самими этими шкалами (r =

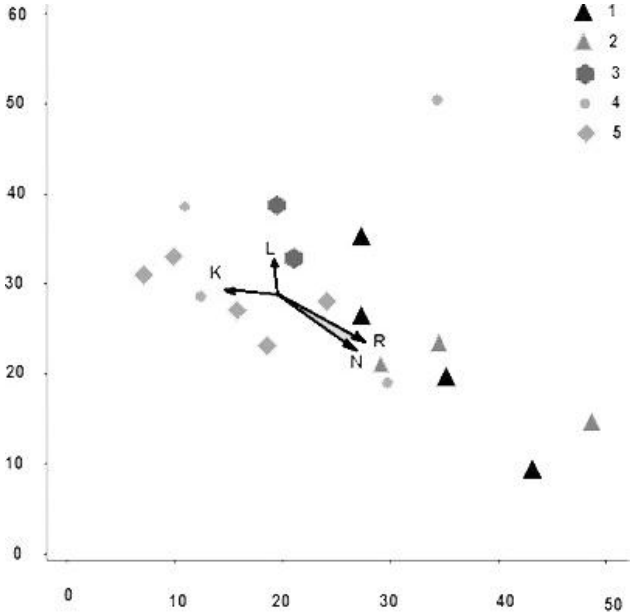


Рис. 1. График DCA ординации пихтовых древостоев выделенных фитоценонов.

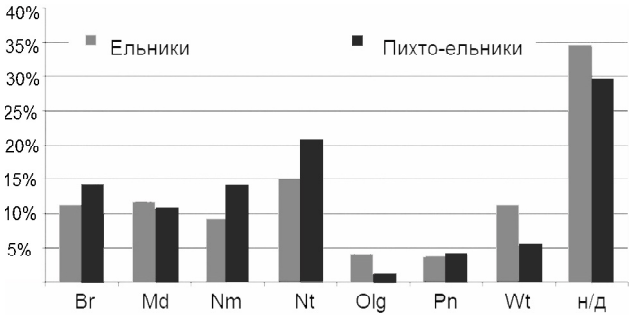


Рис. 2. Спектр эколого-ценотических групп.

0.856). По-видимому, это может быть связано с известным явлением повышения доступности N при небольшом смещении в щелочную сторону (до pH = 8) (Sparks, 2003).

Пихтовые сообщества также сравнили с еловыми по видовому богатству и средней видовой насыщенности. Видовая насыщенность изученных пихтовых древостоев составила 23.7, еловых – 21.1. Видовое богатство в пихтовых сообществах ожидаемо выше (264 против 169). Общих видов оказалось 52.6%.

Эколого-ценотическая структура пихтовых сообществ в сравнении с сообществами без пихты выявлена на основе того объема базовых эколого-ценотических групп, которые разрабатываются в Пущинском научном центре РАН: бореальной (Br), опушечной (Md), неморальной (Nm), нитрофильной (Nt), олиготрофной (Olg), боровой (Pn), водно-болотной (Wt) (Смирнов, Ханина, Бобровский, 2006). Результаты приведены на рис. 2.

Выводы свидетельствуют об увеличении роли Nm и Nt.

Автор благодарит своих коллег и организаторов экспедиций за предоставленные материалы.

Литература

1. *Браславская Т.Ю., Тихонова Е.В.* Оценка биоразнообразия южнотаежных лесов на северо-востоке Костромской области // Лесоведение, 2006. № 2. С. 34-50.

2. *Заугольнова Л.Б., Морозова О.В.* Типология и классификация лесов европейской России: методические подходы и возможности их реализации // Лесоведение, 2006. № 1. С. 34-48.

3. *Немчинова А.В.* Разработка методов относительной комплексной оценки лесных участков в границах арендных территорий предприятий с использованием ГИС // Регионы в условиях неустойчивого развития: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Кострома, 2010. Т. 2. С. 232-237.

4. *Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В.* Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюл. МОИП. Сер. Биологическая, 2006. № 111 (1). С. 27-49.

5. *Ellenberg H.* Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas // Scripta geobotanica. Gottingen, 1974. Vol. 9. 197 p.

6. *Maarel E.* van der. Vegetation ecology // Blackwell Science Ltd., 2005. 399 p.

7. *McCune B., Mefford M.J.* PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.0. // MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon, 1999. 237 p.

8. *Sparks D.L.* Environmental soil chemistry // Academic Press. London, 2003. P. 64-67.

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ РОДСТВО ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА CARYOPHYLLACEAE НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ITS1, ITS2 И ГЕНА 5.8SPPHK

Ю.И. Друзь, Д.М. Шадрин, Я.И. Пылина
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: druz_yulia@ib.komisc.ru

Семейство *Caryophyllaceae* Juss. (Гвоздичные) является довольно обширным и включает около 86 родов и 2200 видов (Smissen et al., 2002). Его представители распространены по всему миру, но главным образом встречаются в умеренной области Северного полушария (Тахтаджян, 1987). К настоящему времени изучены различные аспекты, касающиеся вопросов экологии, физиологии и биохимии его представителей. Система сем. *Caryophyllaceae* до сих пор является предметом оживленных дискуссий из-за нечеткого определения морфологических признаков для разделения родов (The families and genera..., 1993). Возможная морфологическая гомоплазия и сложность в определении морфологических синапоморфий делает решающим использование молекулярно-филогенетических данных для понимания взаимоотношений внутри сем. *Caryophyllaceae* (Smissen et al., 2002; Fior et al., 2006; Harbaugh et al., 2010).

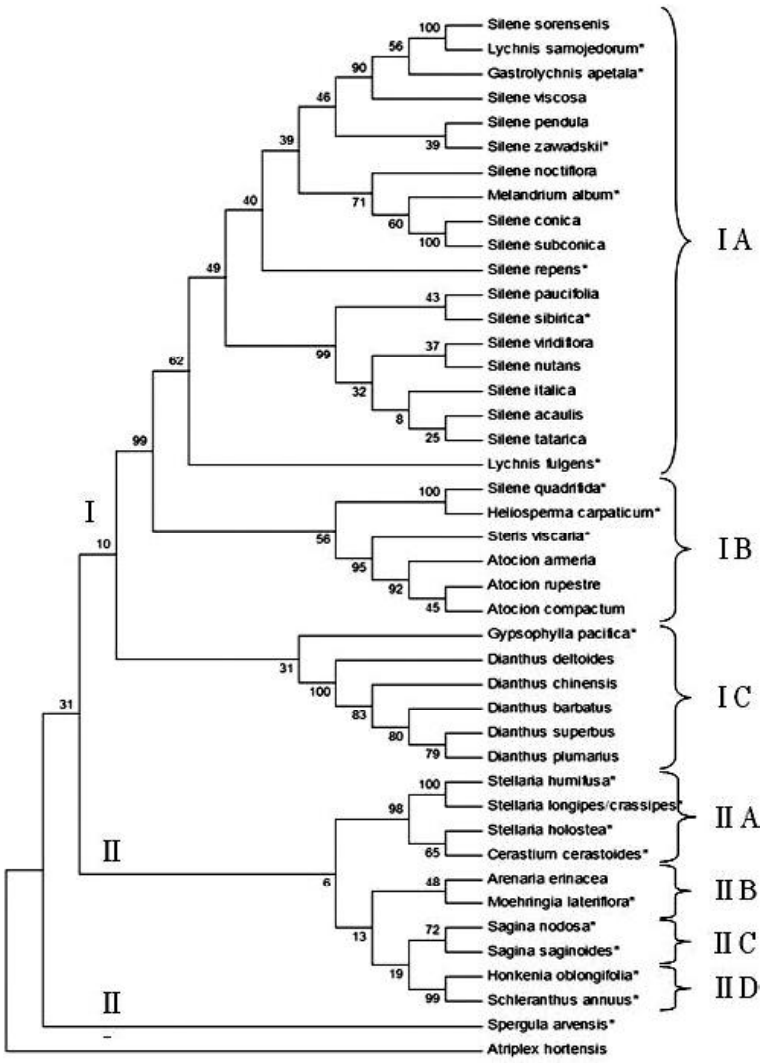
В данной работе рассматривается возможность использования молекулярных данных для определения филогенетического родства между представителями сем. *Caryophyllaceae*.

Образцы 21 вида анализируемых растений были собраны в ходе экспедиций на территории европейского северо-востока России в 1997-2011 гг., а также предоставлены Ботаническим садом БИН РАН (г. Санкт-Петербург) и гербарием Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Для сравнительного анализа в исследовании также использованы нуклеотидные последовательности из базы данных Национального центра биотехнологической информации США

(GenBank). Тотальная ДНК была выделена из высушенных измельченных образцов растений с помощью набора для выделения ДНК из растительного материала согласно инструкциям производителя, а также CTAB-методом с небольшими модификациями. Затем проводили амплификацию интересующего участка с помощью праймеров ITS_1P и ITS_4. После чего продукты реакции амплификации разделяли методом электрофореза в агарозном геле. Определение нуклеотидной последовательности выполнялось методом секвенирования по Сенгеру на приборе ABI PRISM 310 Genetic Analyzer в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН.

В результате секвенирования были получены полные последовательности внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS1, ITS2), а также гена 5.8S малой субъединицы рРНК для 21 вида сем. *Caryophyllaceae*. Дополнительно из базы данных GenBank были взяты последовательности аналогичных участков 21 вида семейства и одного вида сем. *Chenopodiaceae* в качестве внешней группы. Длина данного региона варьировалась от 597 до 634 п.н. (см. таблицу). Выравнивание последовательностей проводилось с помощью программы Muscle, входящей в пакет программ 5.0 и затем корректировалось вручную. Характеристики длины, нуклеотидного состава и выравнивания изучаемых последовательностей представлены в таблице. Последовательность 5.8S гена рРНК является относительно консервативной, хотя уровень нуклеотидного полиморфизма варьирует на протяжении всей последовательности. На основе выполненного выравнивания с помощью модели Кимуры было рассчитано среднее генетическое расстояние, составившее 0.132.

С использованием методов объединения ближайших соседей и максимальной парсимонии были построены вероятные дендрограммы, отражающие связи между исследуемыми видами. Принципиальных различий в топологии деревьев не наблюдалось. В качестве оценки статистической достоверности устойчивости деревьев использовался бутстрэп-индекс с 1 тыс. репликаций.



Консенсусное филогенетическое древо, построенное методом максимальной парсимонии по последовательностям участка ITS-5.8SITS ядерной ДНК (1 тыс. репликаций);

* образцы растений, для которых нуклеотидные последовательности получены в данном исследовании.

На рисунке представлено консенсусное филогенетическое древо, построенное методом максимальной парсимонии. На дереве выделяется ряд клад, которые соответствуют разделению на подсемейства и трибы по наиболее распространенной классификации семейства, включающей три подсемейства: *Alsinoideae* Burnett, *Caryophylloideae* Arn. и *Paronychioideae* A. St. Hil. ex Fenzl. (Тахтаджян, 1987; The families and gene-

Характеристики длины, нуклеотидного состава и выравнивания изучаемых последовательностей

Участок генома	Число таксонов в выравнивании	Размер участка, п.н.	Длина выравнивания, п.н.	Нуклеотидный состав, %				Число позиций		
									Вариабельных	
				A	C	G	T	Постоянных	Неинформативных	Информативных
ITS 1-5.8S-ITS2	43	597-634	676	21.0	28.7	29.1	21.2	302	90	284

ra..., 1993). Подсемейство *Paronychioideae* или его часть иногда выделяют в отдельное семейство *Illecebraceae* (Флора..., 2004). Но в последнее время такое разделение не поддерживается.

Клада I представляет подсемейство *Caryophylloideae*, куда согласно филогенетической классификации А. Л. Тахтаджяна входят две трибы *Diantheae* и *Lychnideae*, а согласно систематике В. Битриха (The families and genera..., 1993) подсемейство делится на три трибы *Caryophylleae* Lam. et DC., *Drypideae* Fenzl и *Silenea* DC. В данном исследовании подсемейство представлено достаточно широко. Клада I делится на три субклады: IA, IB, IC. Первые две вместе представляют трибу *Lychnideae* по Тахтаджяну, по Битриху – трибу *Sileneae*, субклада IC – трибу *Diantheae* согласно Тахтаджяна, согласно Битриха и Харбау с соавторами (Harbaugh et al., 2010) – трибу *Caryophylleae*. В трибе *Silenea* (*Lychnideae*) разделение по родам полностью соответствует генетической классификации трибы, предложенной шведским исследователем Б. Оксельманом (Oxelman et al., 2001). На основе анализа участков геномной и хлоропластной ДНК он предлагает выделять восемь родов, составляющих данную трибу. В представленном нами дереве присутствует пять родов. Из них роды *Silene* и *Lychnis* представлены в субкладе IA. Субклада IB состоит из видов родов *Heliosperma* (= *Ixoca*), *Viscaria* и *Atocion*. Что касается видов *Lychnis samojedorum* и *Gastrolychnis apetala*, а также *Melandrium album*, то все они являются синонимами видов рода *Silene*, что и объясняет их расположение внутри субклады IA. В субкладе IB представляет интерес вид *Silene quadrifida*, который близок виду рода *Heliosperma*. В данном случае это также объясняется тем, что название является синонимом вида *Heliosperma quadrifida*.

В подсемействе *Alsinoideae,* согласно системе А.Л. Тахтаджяна, роды группируются в четыре трибы *Alsineae*, *Pycnophylleae*, *Scleranthеae*, *Geocarpeae*. По системе Битриха (The families and genera..., 1993) количество триб составляет пять, добавляется триба *Habrosieae* Endl. В нашем исследовании задействованы лишь две трибы *Alsineae* (субклада IIA) и *Scleranthеae* (субклада IIB). Первая представлена девятью видами из шести родов, вторая же – лишь видом *Schleranthus annuus*. Из рисунка видно, что виды рода *Stellaria* близки виду рода *Cerastium*, а род *Arenaria* родственен роду *Moehringia*. Такое близкое соседство также встречается в работах Р.Д. Смиссена с соавторами (2002), С. Фиора с соавторами (2006) и Д. Харбау с соавторами (2010), основанных на анализе молекулярных данных по другим участкам ядерного и цитоплазматического геномов.

К сожалению, в данном исследовании подсемейство *Paronychioideae* было представлено лишь одним видом *Spergula arvensis*, обозначенным на рисунке кладой III. По классификации А.Л. Тахтаджяна он относится к трибе *Sperguleae*, согласно Битриху – к трибе *Polycarpeae*. По систематике Н.Н. Цвелева (Флора..., 2004) данный род принадлежит трибе *Sperguleae* сем. *Illecebraceae*.

Предыдущие исследования, где была реконструирована молекулярная филогения сем. *Caryophyllaceae*, опровергли его традиционное деление на подсемейства. Американский коллектив авторов во главе с Д. Харбау (2010) в своей работе поставил задачу изучить монофилию и взаимоотношения трех подсемейств в сем. *Caryophyllaceae*. В результате авторы предложили отказаться от традиционной систематики и разделить семейство как минимум на 11 триб, основываясь на высокой статистической поддержке монофилетичных групп. В нашем исследовании распределение видов по кладам дендрограммы на уровне подсемейств согласуется с представлениями об их филогенетическом родстве. Такое несоответствие полученных нами результатов можно объяснить малой выборкой таксонов. На уровне же родов и видов сведения сопоставимы с литературными источниками. Показано, что последовательность участка ITS1-5.8S-ITS2 может успешно использоваться для изучения филогенетических отношений на уровне семейств, родов и видов растений.

Литература

Тахтаджян А.Л. Система магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. 438 с.

Флора Восточной Европы / Под ред. Н.Н. Цвелева. М.-СПб., 2004. Т. XI. С. 124-298.

Fior S., Karis P.O., Casazza G. et al. Molecular phylogeny of the Caryophyllaceae (Caryophyllales) inferred from chloroplast matK and nuclear rDNA ITS sequences // American Journal of Botany, 2006. Vol. 93 (3). P. 399-411.

Harbaugh D.T., Nepokroeff M., Rabeler R.K. et al. A new lineage-based tribal classification of the family Caryophyllaceae // Int. J. Plant Sci., 2010. Vol. 171(2). P. 185-198.

Oxelman B., Liden M., Rabeler R.K., Popp M. A Revised generic classifcation of the tribe Sileneae (Caryophyllaceae) // Nordic Journal of Botany, 2001. Vol. 20. P. 743-748.

Smissen R.D., Clement J.C., Garnock-Jones P.J., Chambers G.K. Subfamilial relationships within Caryophyllaceae as inferred from5'ndhF sequences // American Journal of Botany, 2002. Vol. 89 (8). P. 1336-1341.

The families and genera of vascular plants. Springer Verlag Berlin, 1993.Vol. 2. P. 206-230.

ПИХТОВЫЕ ЛЕСА СЕВЕРНОГО И ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Ю.А. Дубровский, А.Б. Новаковский
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: dubrovsky@ib.komisc.ru

Пихта сибирская (*Abies sibirica*) – одна из основных лесообразующих пород европейского Северо-Востока. В связи с тем, что на севере таежной зоны проходит северная граница ареала этого вида, формация пихтовых лесов (Abieteta) не является широко распространенной на территории Республики Коми. Значительная часть пихтарников сосредоточена в предгорьях и горах северной и приполярной частях Урала (Производительные..., 1954; Леса..., 1999). В силу достаточно узкого распространения на данный момент видовое и ценотическое разнообразие пихтарников выявлено не в полной мере, а система классификации этой лесной формации требует дальнейшей доработки.

С 1989 г. сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН было начато комплексное изучение растительного покрова западного макросклона Уральского хребта. Эти исследования к настоящему времени охватили бассейн р. Унья, территорию Печоро-Илычского биосферного заповедника (Северный Урал), южную и среднюю части национального парка «Югыд-ва» (Северный и Приполярный Урал) и позволили получить дополнительные сведения о структуре, динамике и видовом составе фитоценозов различных типов растительности региона, в том числе и пихтовых лесов, обобщение информации по которым и стало целью данной работы.

Обследование растительного покрова проводили маршрутным методом и методом экологических профилей с закладкой пробных площадей. Их описание выполнено с использованием стандартных методов, принятых в геоботанике и лесной типологии (Ипатов, 1998). В пихтовых лесах авторами заложено 79 пробных площадей. Для анализа привлечено 31 описание из фитоценария Института биологии Коми НЦ УрО РАН, выполненное Ю.П. Юдиным, А.Н. Лащенковой, Н.И. Непомилуевой и др. Помимо этого для уточнения схемы классификации пихтовых лесов использовали сводки А.А. Корчагина (1940), Ю.П. Юдина (Производительные..., 1954), В.А. Мартыненко (Леса..., 1999). Для оценки уровня разнообразия сосудистых растений в синтаксонах рассчитывали среднее число видов на пробной площади. Отношение видов к экологическим факторам определяли с использованием экологических шкал Л.Г. Раменского и Г. Элленберга (Дегтева, Новаковский, 2011). Обработку данных проводили при помощи статистического пакета SPSS и специализированной программы PC-ORD, предназначенной для построения ординационных диаграмм (McCune et al., 2002). Классификация сообществ проведена с позиций эколого-фитоценотического подхода.

Формация пихтовых лесов характеризуется относительно невысоким видовым и ценотическим разнообразием. Это связано с тем, что область экологического пространства, занимаемая сообществами с доминированием *Abies sibirica*, у́же, чем у других темнохвойных формаций бореальной зоны. Данный вид более требователен к содержанию в почвах элементов минерального питания и отрицательно реагирует на повышенное увлажнение застойного характера (Леса..., 1999).

Флористический список пихтарников предгорной и горной ландшафтной зон западного макросклона Северного и Приполярного Урала насчитывает 169 видов сосудистых растений, принадлежащих к 102 родам и 43 семействам. Для примера, в еловых лесах одного только Печоро-Илычского заповедника отмечено 223 вида сосудистых растений (Дубровский, 2009). Список ведущих семейств пихтарников возглавляют *Asteraceae* и *Poaceae*. Преобладающие по числу семейства объединяют 105 видов, или 62% от общего списка. Позиции первых семейств закономерны, поскольку они лидируют во всех бореальных флорах Евразии, а значительное разнообразие семейства *Rosaceae* характерно для всех лесных сообществ европейской России. В то же время ценофлора пихтарников имеет свою специфику, которая проявляется, прежде всего, в снижении позиций семейства *Cyperaceae*. Это обусловлено узкой экологической амплитудой *Abies sibirica* по фактору увлажнения.

С фитогеографической точки зрения изученную ценофлору можно охарактеризовать как бореальную, видов с таким типом ареала зарегистрировано 126 (77.8%). Из долготных групп наибольшие доли во флористическом списке составляют евразиатские (41.4%) и циркумполярные (27.8) виды. Анализ отношения видов, произрастающих в лесах, к фактору общего богатства почв показывает, что наибольшее их число (71 вид, или 44.1%) является мезотрофами. По отношению к фактору увлажнения преобладающую долю (59%) в списке составляют мезофиты, характерные для экотопов с нормально увлажненными хорошо дренированными почвами. Анализ соотношения ЭЦГ видов исследованной ценофлоры показал, что среди выделенных групп видов наибольшим разнообразием отличаются ЭЦГ, характерные для экотопов долин крупных и малых водотоков, которые наиболее благоприятны для растений с точки зрения факторов увлажнения и богатства почвы. Общий вклад таких видов составляет 47.1%. На таежно-лесные виды приходится 29.7%.

Леса с доминированием *Abies sibirica* в древостое являются местообитаниями восьми видов сосудистых растений, внесенных в список охраняемых видов Республики Коми (Красная книга..., 2009). Четыре из них попадают в категорию 2: *Anemonastrum biarmiense*, *Cypripedium guttatum*, *Paeonia anomala*, *Pinus sibirica*. Три вида (*Dryopteris filix-mas*, *Poa remota*, *Viola selkirkii*) отнесены к категории охраны 3, один (*Chrysosplenium tetrandrum*) – к категории 4. Один вид (*Dactylorhiza fucsii*) нуждается в биологическом надзоре.

Состав и структура древесного яруса пихтарников разных групп типов сходны и в основном зависят от такого фактора, как высота расположения сообщества над уровнем моря. Насаждения сложные по составу (отмечено шесть видов деревьев), с относительно небольшой общей сомкнутостью крон (0.4–0.7), VIII-IX классов возраста. В I пологе наряду с *Abies sibirica* значительно участие *Picea obovata*, которая в отдельных случаях преобладает (до семи единиц по составу). В нижних пологах насаждений, как правило, господствует пихта (до восьми единиц по составу). При этом сохраняется заметная примесь ели (чаще всего до двух-четырех единиц). Третий полог нередко разреженный, образован пихтой, елью, березой с примесью кедра и лиственницы. На склонах увалов и горных хребтов таксационные параметры насаждений меняются по градиенту высоты. Высота деревьев верхнего полога в долинных экотопах варьирует от 22 до 26 м. На отметках порядка 400 м над ур. м. высота деревьев верхнего полога насаждений редко составляет более 16 м, в подгольцовом поясе (выше 600 м над ур. м.) снижается до 4-8 м. Подрост ели и пихты достаточно многочисленный, остальные виды деревьев возобновляются слабо. В составе подлеска, сомкнутость которого не превышает 0.3, зарегистрировано 16 видов. Наиболее постоянны и обильны *Sorbus sibirica, Rosa acicularis* и др. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьирует в широких пределах. В составе конкретных сообществ отмечали от семи до 41 вида сосудистых трав и кустарничков. В среднем на 400 м^2 приходится 19 видов. Напочвенные мхи и лишайники в зависимости от группы типов могут быть угнетены (в травяных лесах) или покрывать поверхность почвы сплошным ковром, что характерно для зеленомошных сообществ.

В результате классификации леса с преобладанием в древостоях пихты могут быть отнесены к двум группам типов – зеленомошной и травяной. Диагностическим признаком для выделения данной группы типов стало наличие хорошо развитого мохово-лишайникового яруса (ОПП более 50%). В зеленомошной группе типов нами выделено четыре растительных ассоциации, из которых наиболее распространенной является ассоциация **Abietetum myrtilloso-hylocomiosum**. На склонах увалов и надпойменных террасах описаны сообщества с доминированием кислицы (**A. oxalidoso-hylocomiosum**). В границах Печоро-Илычского заповедника в отдельную ассоциацию выделены костянично-зеленомошные пихтовые леса (**A. saxatili ruboso-hylocomiosum**), приуроченные к приилычским чуграм. Последней ассоциацией пихтарников исследуемой части региона является **A. myrtilloso-gymnocarpioso-hylocomiosum**.

Среди пихтовых лесов травяной группы типов наиболее распространены сообщества, в которых господствуют папоротники (**Abietetum gymnocarpiosum, A. phegopteridoso-dryopteridosum, A. sibirici diplaziosum, A. distentifoli athyriosum**). В отдельные синтаксоны выделены сообщества с доминированием таежного высокотравья – **A. aconitosum** и **A. aconitoso-equisetosum**.

Для сравнения двух исследованных групп типов пихтовых лесов использовали метод фитоиндикации и шкалы Элленберга. Отмечены достаточно узкие диапазоны экологического пространства описанных сообществ (рис. 1). Было выявлено, что указанные группы типов значимо различаются по отношению к двум факторам – содержание минерального азота в почве и ее кислотность. Почвы в травяных лесах более богаты и имеют большую кислотность.

Проведенный анализ данных при помощи ординационных диаграмм дал сходные результаты (рис. 2). Ведущими факторами среды, объясняющими вариабельность растительности, являются богатство почв минеральным азотом и кислотность. Факторы увлажнения и освещенно-

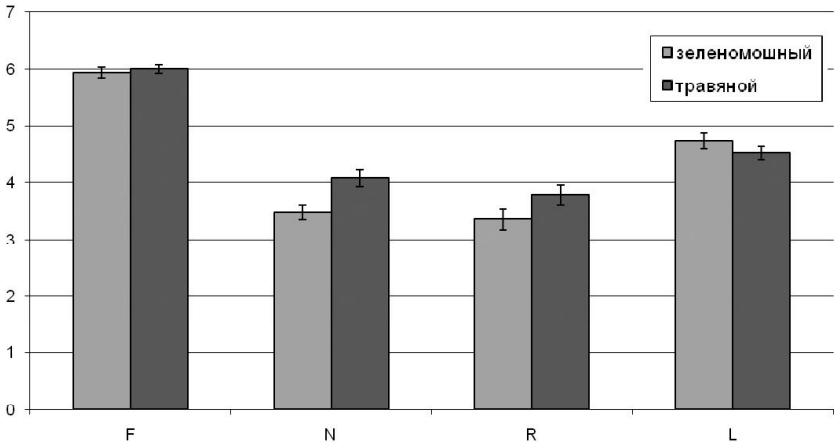


Рис. 1. Соотношение экологических характеристик (среднее арифметическое и его статистическая ошибка). Между зеленомошным и травяным группами типов пихтарников. *Здесь и на рис. 2*: F – увлажнение, N – богатство почв азотом, R – кислотность почв, L – освещенность.

сти не показали существенной корреляции ни с одной из осей построенной ординации. Несмотря на то, что в нашем распоряжении имеется репрезентативная выборка описаний сообществ лесной формации пихтовых лесов, необходимо отметить, что для более мелких классификационных единиц, а в первую очередь нас интересует уровень ассоциации, используемые статистические методы не дают четких и хорошо интерпретируемых результатов.

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 и гранта РФФИ «Почвы заповедных территорий западного макросклона Северного, Приполярного и Полярного Урала: генезис, классификационная диагностика, экологические функции и биосферное значение», № 11-04-00885.

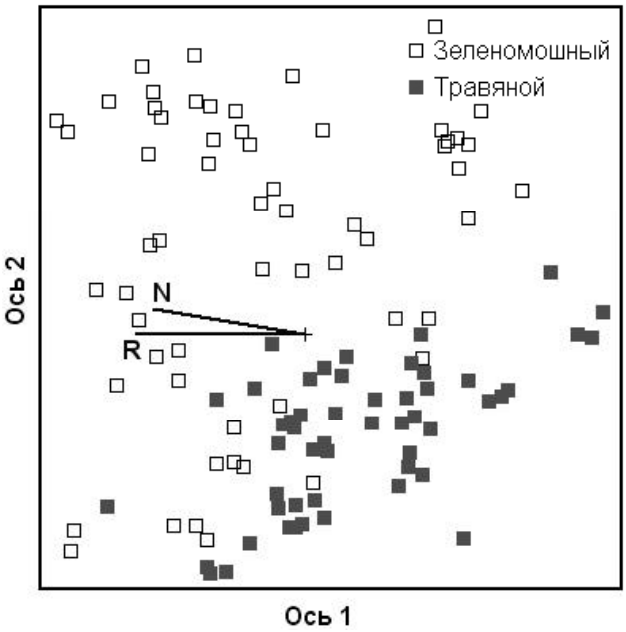


Рис. 2. Результаты непрямой ординации методом DCA с наложением экологических факторов (см. рис. 1).

Литература

Дегтева С.В., Новаковский А.Б. Эколого-ценотические группы сосудистых растений в фитоценозах ландшафтов бассейна верхней и средней Печоры. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 182 с.

Дубровский Ю.А. Лесная растительность бассейна р. Илыч в верхнем и среднем течении (в границах Печоро-Илычского заповедника): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2009. 18 с.

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

Корчагин А.А. Растительность северной половины Печоро-Илычского заповедника // Труды Печоро-Илычского государственного заповедника. Сыктывкар, 1940. Вып. 2. 416 с.

Красная книга Республики Коми. Сыктывкар, 2009.

Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова и А.И. Таскаева. М., 1999. 322 с.

Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. 3. Ч. 1. 375 с.

McCune B., Grace J.B., Urban D.L. Analysis of ecological communities. Oregon, 2002. 285 pp.

ПЕЧЕНОЧНИКИ СКАЛЬНЫХ ВЫХОДОВ БАССЕЙНА РЕКИ ИЛЫЧ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

М.В. Дулин
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: dulin@ib.komisc.ru

Илыч – река в Республике Коми, правый приток р. Печора. Длина 411 км, площадь бассейна 16 000 км^2. Берет начало в западных отрогах Северного Урала. В верховьях имеет спокойное течение в низких болотистых берегах. В среднем течении протекает в узкой долине с высокими, местами скалистыми берегами, в низовье – в широкой пойме, занятой заливными лугами. Бассейн почти полностью расположен на склонах Урала, поэтому река отличается горным режимом и относительно высокой водностью. Вдоль левого берега р. Илыч расположен Печоро-Илычский заповедник (Словарь современных..., 2006). В среднем течении реки обнажены различные типы палеозойских пород, часто образующих живописные скалы, которые сложены известняками, черными углистыми доломитами, а также известковистыми и углисто-известковистыми сланцами (Лавренко и др., 1995).

Исследования флоры печеночников этого региона проводились ранее разными исследователями (Железнова, Шубина, 1997; Бакалин и др., 2001; Безгодов и др., 2003). Тем не менее, несмотря на определенные успехи, степень изученности флоры оставляет желать лучшего, в связи с чем проведенные нами исследования весьма актуальны.

Нами были обследованы выходы карбонатных пород в среднем течении р. Илыч, в частности, в сферу нашего внимания попали такие геологические объекты, как скалы Лек-Из, Татарская Кырта, Шантым-Прилук, Амбар-Кырта (рис. 1). Основная часть работ была выполнена в июне 2003 г. в районе кордона Усть-Ляга. Кроме того, была изучена небольшая коллек-

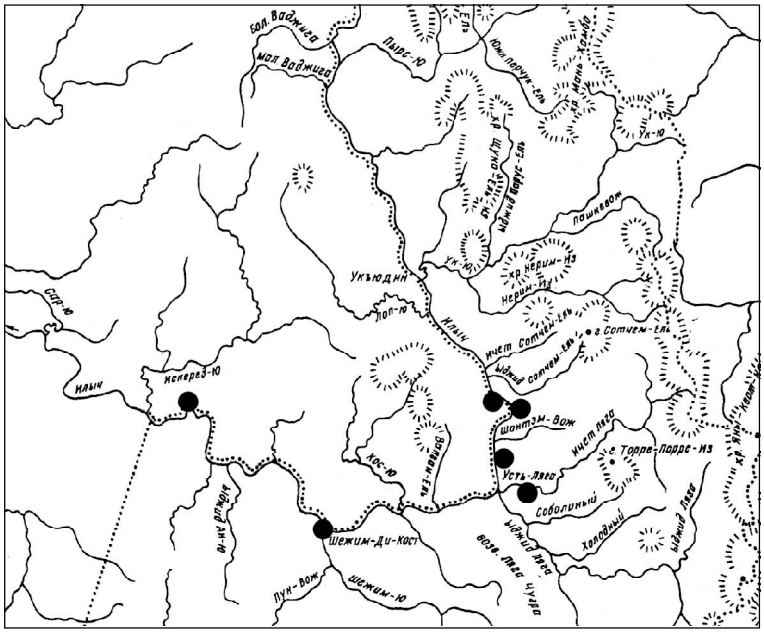


Рис. 1. Карта-схема района исследования.

ция печеночников, собранная в 2004 г. сотрудником отдела флоры и растительности Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН А.А. Кустышевой в окрестностях кордона Шежим-дикост, расположенного в устье р. Шежимъю (Дулин, 2008). Всего было изучено 176 образцов печеночников из 28 бриофлористических описаний, выполненных на скальных массивах и каменистых осыпях. В настоящее время коллекции хранятся в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO).

Изучение коллекций позволило составить список печеночников, который включает 39 видов и две разновидности, относящихся к 25 родам и 14 семействам из двух подклассов – Marchantiidae и Jungermanniidae. Номенклатура таксонов соответствует «Списку печеночников России» (Konstantinova, Bakalin et al., 2009).

Список печеночников скальных выходов среднего течения р. Илыч

Aneura pinguis (L.) Dumort.
Arnellia fennica (Gottsche) Lindb.
Athalamia hyalina (Sommerf.) S.Hatt.
Barbilophozia barbata (Schmidel ex Shreb.) Loeske
B. lycopodioides (Wallr.) Loeske
Blasia pusilla L.
Blepharostoma trichophyllum (L.) Dumort.
B. trichophyllum var. *brevirete* Bryhn & Kaal.
Cephalozia lunulifolia (Dumort.) Dumort.
C. pleniceps (Austin) Lindb.
Chiloscyphus polyanthos (L.) Corda var. polyanthos
Conocephalum salebrosum Szweyk., Buczk. & Odrzyk.
Jungermannia pumila With.
Leiocolea badensis (Gottsche) Jorg.
L. collaris (Nees) Schljakov
L. gillmanii (Austin) A.Evans
L. heterocolpos (Thed. ex Hartm.) H.Buch
Lophocolea minor Nees
Lophozia ventricosa (Dicks.) Dumort.
L. ventricosa var. *longiflora* (Nees) Macoun
Lophoziopsis excisa (Dicks.) Konstant. & Vilnet
L. longidens (Lindb.) Konstant. & Vilnet
L. perssonii (H.Buch & S.W.Arnell) Konstant. & Vilnet
Mannia pilosa (Hornem.) Frye & L.Clark
M. triandra (Scop.) Grolle
Pellia endiviifolia (Dicks.) Dumort.
Preissia quadrata (Scop.) Nees
Ptilidium ciliare (L.) Hampe
P. pulcherrimum (Weber) Vain.
Reboulia hemisphaerica (L.) Raddi
Scapania curta (Mart.) Dumort.
S. cuspiduligera (Nees) Mull.Frib.
S. gymnostomophila Kaal.
S. irrigua (Nees) Nees
S. subalpina (Nees ex Lindenb.) Dumort.
Schistochilopsis incisa (Schrad.) Konstant.
Schljakovia kunzeana (Huebener) Konstant. & Vilnet
Schljakovianthus quadrilobus (Lindb.) Konstant. & Vilnet
Sphenolobus minutus (Schreb.) Berggr.
Tritomaria quinquedentata (Huds.) H.Buch
T. scitula (Taylor) Jorg.

Большая часть выявленных видов – это широко распространенные на севере Голарктики печеночники. Интерес представляют находки нескольких таксонов, например, редких, включенных в Красную книгу Республики Коми (2009) печеночников – *Arnellia fennica* и *Lophoziopsis perssonii*. Таксоны *Mannia triandra* и *B. trichophyllum* var. *brevirete* приводятся для территории заповедника впервые, а в республике ранее отмечались лишь однажды на Южном Тимане и Приполярном Урале (Андреева, 2009; Дулин, 2011). Новые местонахождения редких кальцефильных видов – *Athalamia hyalina*, *Mannia pilosa*, *Reboulia hemisphaerica*, *Scapania cuspiduligera*, *Schljakovianthus quadrilobus* – расширяют наше представление о распространении последних в регионе.

Сравнение видового состава скального флористического комплекса печеночников р. Илыч при помощи коэффициента общности видового состава Съеренсена-Чекановского (K_{sc}) выявило его сходство с таковыми других регионов Республики Коми (рис. 2). Для сравнения были взяты флористические комплексы печеночников кальцийсодержащих выходов Тиманского кряжа (Дулин, 2007а) и р. Печора (на основа-

нии данных, полученных в результате обработки коллекции А.Г. Безгодова и И.Б. Кучерова, собранной в 2000 г. в окрестностях кордона Шежым-Печорский). Как видно из дендрограммы, наибольшее сходство отмечается между скальными флористическими комплексами рек Печора и Илыч, а также комплексами Северного и Южного Тимана. Скальный комплекс печеночников Среднего Тимана характеризуется некоторой обособленностью. Причиной этого, скорее всего, является то, что флористический список для этого региона был подготовлен по литературным данным и в результате в него попали не характерные для скальных местообитаний виды.

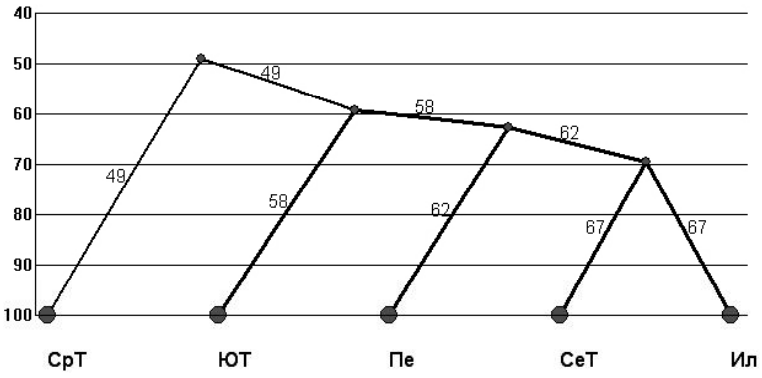


Рис. 2. Дендрограмма, отражающая сходство скальных флористических комплексов печеночников Республики Коми. СеТ – Северный Тиман; СрТ – Средний Тиман; ЮТ – Южный Тиман; Пе – р. Печора; Ил – р. Илыч.

Краткий анализ скального флористического комплекса печеночников р. Илыч показал, что его основу формируют арктобореальномонтанные (22 вида, или 56.4% всех видов) и арктомонтанные (8, или 20.5%) виды, характеризующиеся преимущественно циркумполярным и почти циркумполярным распространением (всего 32, или 97%). Ведущими по числу видов являются семейства *Scapaniaceae* (17, или 43.6% всех видов) и *Jungermanniaceae*(5, или 12.8%). По отношению к влажности субстрата преобладают виды, тяготеющие к местообитаниям с умеренными условиями увлажнения, – это мезофиты (18, или 46.2%) и гигро-мезофиты (8, или 20.5%), что соответствует тенденциям, отмечающимся для всей флоры печеночников региона (Дулин, 2007б). Аналогичная картина характерна и для других изученных нами скальных флористических комплексов печеночников Республики Коми.

В заключение можно отметить, что скальные флористические комплексы печеночников республики, формируясь в интразональных местообитаниях, характеризуются высоким сходством видового состава и соответственно таксономической, географической и эколого-ценотической структуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-04-01476) и программы Президиума РАН (№ 12-П-4-1018).

Литература

Андреева Е.Н. Новые находки редких видов печеночников из регионов России. М., 2009. № 18. С. 281-286.

Бакалин В.А., Константинова Н.А., Железнова Г.В. К флоре печеночников Северного Урала (Республика Коми) // Ботанические исследования на охраняемых природных территориях европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 2001. С. 208-216. (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 165).

Безгодов А.Г., Гольдберг И.Л., Дулин М.В. и др. Дополнения к бриофлоре Печоро-Илычского биосферного заповедника (Северный Урал) // Arctoa, 2003. Т. 12. С. 169-178.

Дулин М.В. Находки новых и редких для Республики Коми видов печеночников // Бюл. МОИП. Отд. биол., 2011. Т. 116. Вып. 3. С. 81.

Дулин М.В. Заметки по флоре печеночников Печоро-Илычского государственного природного заповедника // Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения: Матер. докл. Междунар. научн. конф., посвящ. 135-летию со дня рождения И.И. Спрыгина. Пенза, 2008. Ч. 1. С. 194-197.

Дулин М.В. Материалы к познанию флоры печеночников известняков Тиманского кряжа (европейский северо-восток России) // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. I (XIV) Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2007а. С. 74-77.

Дулин М.В. Печеночники среднетаежной зоны европейского северо-востока России. Екатеринбург: УрО РАН, 2007б. 195 с.

Железнова Г.В., Шубина Т.П. Бриофлора Печоро-Илычского биосферного заповедника // Флора и растительность Печоро-Илычского биосферного заповедника. Екатеринбург, 1997. С. 177-210.

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

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

Словарь современных географических названий / Под общ. ред. акад. В.М. Котлякова. Екатеринбург: У-Фактория, 2006.

Konstantinova N.A., Bakalin V.A., Andrejeva E.N. et al. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa, 2009. Vol. 18. P. 1-64.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИКИХ РОДИЧЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

М.А. Жук
Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова
E-mail: MikZhuk@gmail.com

Важным моментом для определения стратегии сохранения (ex situ или in situ) генофонда диких родичей культурных растений (ДРКР) той или иной территории является подготовка эко-географического обзора (Maxted, 1997), что облегчает работы по нахождению таксонов, предназначенных к сохранению, и дает возможность опознать их географический ареал и экологические особенности, а также экологическую нишу и условия их произрастания.

По результатам проведенных исследований можно сказать, что на территории северо-востока европейской части России произрастает 592 вида ДРКР из 50 семейств, из которых аборигенных – 333 вида, адвентивных – 259. Количество выделенных аборигенных видов ДРКР изменилось по сравнению с предыдущими данными (Жук, 2011) после критического пересмотра таксономического ранга отдельных таксонов. Так как для удовлетворения жизненных потребностей человека первоочередное значение имеют генетические ресурсы растений пищевого, кормового и технического назначения, то на этом этапе работы в изучение были включены только родичи культурных растений данного характера использования, а именно, 223 аборигенных вида ДРКР из 22 семейств.

Для экологической характеристики диких родичей культурных растений северо-востока европейской части России был проведен анализ распределения видов по отношению к фактору влажности, по типам местообитания, а также классификация видов по типам жизненных форм Раункиера.

Влага в своем количественном выражении, а также в неравномерном распределении в течение года представляет собой фактор наиболее дифференцирующего значения (Культиасов, 1963), поэтому экологический анализ ДРКР по отношению к фактору увлажнения среды обитания дает исследователю важную информацию.

Виды диких родичей культурных растений были разделены на семь экологических групп по отношению к фактору влажности. Они распределились следующим образом.

Мезофиты – растения, произрастающие в условиях достаточного, но не избыточного увлажнения – 57.8% (129 видов): *Agrostis canina* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L., *Poa pratensis* L., *Fragaria vesca* L., *Padus avium* Mill., *Rubus idaeus* L., *Lathyrus pratensis* L., *Trifolium pratense* L., *Hypericum perforatum* L. и др.

Ксеромезофиты – растения, произрастающие в местообитаниях с периодическим или постоянным (но небольшим) недостатком влаги, обладающие теми или иными ксероморфными признаками или повышенной физиологической устойчивостью к засухе – 12.1% (27 видов): *Agrostis vinealis* Schreb., *Elytrigia reflexiaristata* (Nevski) Nevski, *Poa angustifolia* L., *Artemisia campestris* L., *Astragalus arenarius* L., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., *Medicago falcata* L., *Trifolium montanum* L. и др.

Гигромезофиты – растения, предпочитающие влажные или временно заливаемые участки – 9.8% (22 вида): *Agrostis gigantea* Roth, *Alopecurus arundinaceus* Poir., *A. pratensis* L., *Poa remota* Forselles, *Ribes hispidulum* (Jancz.) Pojark. и др.

Мезоксерофиты – растения сухих и умеренно сухих местообитаний, способные переносить периодический недостаток влаги – 5.3% (12 видов): *Thymus serpyllum* L., *T. talijevii* Klokov et Shost., *Festuca uralensis* (Tzvel.) E.Alexeev, *Artemisia absinthium* L., *Astragalus gorczakovskii* L. Vassil., *Elymus transbaicalensis* (Nevski) Tzvel. и др.

Гигрофиты – растения избыточно увлажненных местообитаний с высокой влажностью воздуха и почвы – 7.6% (17 видов): *Agrostis stolonifera* L., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Poa palustris* L., *Rumex aquaticus* L., *R. hydrolapathum* Huds. и др.

Криофиты – растения холодных и сухих местообитаний – 2.6% (6 видов): *Festuca vivipara* (L.) Smith, *Artemisia borealis* Pall., *A. norvegica* Fries, *Astragalus umbellatus* Bunge., *Papaver lapponicum* subsp. *jugoricum* (Tolm.) Tolm., *P. polare* (Tolm.) Perfil.

Психрофиты – холодостойкие растения влажных почв – 4.5% (10 видов): *Oxycoccus palustris* Pers., *Vaccinium vitis-idaea* L., *V. uliginosum* L., *Poa alpigena* (Blytt) Lindm., *Astragalus frigidus* (L.) A.Gray и др.

Результаты проведенного анализа демонстрируют закономерное преобладание мезофитов в составе ДРКР.

Жизненная форма – это исторически сложившаяся структура растения, приспособленная к окружающим условиям, способная поэтому размножаться и существовать в данных условиях. Жизненная форма отражает приспособительные признаки растений к перенесению неблагоприятного сезона. Виды ДРКР флоры северо-востока европейской части России могут быть отнесены к шести типам жизненных форм по системе Раункиера: терофиты, криптофиты, гемикриптофиты, хамефиты, нанофанерофиты, микрофанерофиты (Дубенская, Панкратова, 2006).

Наиболее многочисленной является группа травянистых многолетников, у которых надземные органы в конце вегетации отмирают, а поч-

ки возобновления находятся на уровне почвы и защищены собственными отмершими листьями, лиственной подстилкой и снегом – гемикриптофиты – 140 видов (*Poa pratensis*, *Astragalus subpolaris* Boriss. et Schischk., *Hypericum perforatum*, *Fragaria vesca* и др.). Также одну из лидирующих позиций занимает группа однолетних растений – терофитов, перезимовывающих в виде семян, – 33 вида (*Raphanus raphanistrum* L., *Alopecurus aequalis* Sobol., *Poa annua* L. и др.). Преобладание среди видов ДРКР гемикриптофитов и терофитов, которые хорошо приспособлены к перенесению неблагоприятного холодного периода, закономерно для флоры северо-востока европейской части России, отличающейся суровыми климатическими условиями.

На территории северо-востока европейской части России в основном представлены две зоны растительности: тундровая и таежная. Во флоре таежной зоны В.А. Мартыненко (1989) выделяет виды, относящиеся к следующим эколого-ценотическим группам: лесная, луговая, болотная, прибрежно-водная, водная, сорная и группа «разных мест обитания». Для анализа ДРКР исследуемой территории мы использовали данную схему деления с небольшими дополнениями и выделили следующие эколого-ценотические группы: лесная, луговая, болотная, прибрежная, скальная, тундровая, сорно-рудеральная. Проведенный анализ показал, что подавляющее большинство видов ДРКР охватывает широкий спектр местообитаний, и только 41 вид (13%) можно преимущественно отнести к одной из эколого-ценотических групп, например, луговые – *Agrostis korczaginii* Senjan.-Korcz., *Allium angulosum* L.; лесные – *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Schedonorus giganteus* (L.) Soreng et Terrell, *Poa nemoralis* L., *Elymus caninus* (L.) L.; прибрежные (приморские, речные, озерные пески или галечники) – *Lathyrus maritimus* Bigel., *Anthyllis maritima* Schweigg. ex Hagen, *Festuca arenaria* Osbeck, *F. sabulosa* (Anderss.) Lindb. fil., *Agrostis straminea* Hartm.; скальные – *Allium strictum* Schrad., *Festuca pohleana* E. Alexeev, *F. uralensis*, *Poa transbaicalica* Roshev.; сорно-рудеральные – *Chenopodium album* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Brassica campestris* L., *Urtica dioica* L. и т.д.

В результате проведенных исследований было выявлено, что среди диких родичей культурных растений преобладают гемикриптофиты и терофиты, большинство из них относятся к группе мезофитов и произрастает в широком спектре местообитаний. Многие виды, встречающиеся в ограниченном числе местообитаний и обладающие узкой экологической амплитудой, могут быть включены в число приоритетных для сохранения in situ. Это *Festuca vivipara*, *Astragalus umbellatus*, *Artemisia borealis*, *A. norvegica*, *Papaver lapponicum* subsp. *jugoricum*, *Papaver polare,* которые являются криофитами и обитают в основном в Арктике, т.е. имеют ограниченное распространение на территории северо-востока европейской части России. Кроме того, последние четыре включены в Красную книгу Республики Коми (2009), а значит являются приоритетными к сохранению. Генофонд *Artemisia norvegica* надежно сохраняется в Печоро-Илычском государственном заповеднике.

Литература

Вавилов Н.И. Мировые центры сортовых богатств (генов) культурных растений // Изв. Гос. ин-та опыт. агр., 1927. Т. 5. № 5. С. 339-351.

Дубенская Г.И., Панкратова И.В. Введение в экологию растений. СПб.: ТЕССА, 2006. 135 с.

Жук М.А. Распространение диких родичей культурных растений на территории северо-востока европейской части России // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 2011. № 3 (98). Вып. 14/1. С. 259-264.

Красная книга Республики Коми. Сыктывкар, 2009. 792 с.

Культиасов М.В. Экологические основы интродукции растений природной флоры // Тр. ГБС АН СССР, 1963. Т. 9. С. 3-37.

Мартыненко В.А. Флористический состав кормовых угодий европейского северо-востока СССР. Л.: Наука, 1989. 136 с.

Мартыненко В.А., Груздев Б.И. Сосудистые растения республики Коми. Сыктывкар, 2008. 136 с.

Смекалова Т.Н., Чухина И.Г. Дикие родичи культурных растений России. Каталог мировой коллекции ВИР. СПб., 2005. 54 с.

Чухина И.Г. Культурные растения и их дикие родичи (методы изучения и сохранения разнообразия). Барнаул: Изд-во «АзБука», 2007. 40 с.

Maxted N., Ford-Lloyd B.V., Hawkes J.G. Plant Genetic conservation. The in situ approach. Chaptman & Hall, 1997. CSSA Special Publication no. 27. Chapter 6. P. 75-85.

ЭКОТОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АДВЕНТИВНОЙ ФЛОРЫ ВОТКИНСКОГО РАЙОНА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Е.Н. Зянкина
Удмуртский государственный университет
E-mail: Zyankina_e@mail.ru

Воткинский р-н находится в восточной части средней Удмуртии. Он граничит с тремя другими районами Удмуртской республики (УР), а также с Пермским краем. Площадь района составляет 1860 км^2. По его территории проходят железная дорога Ижевск–Воткинск с ответвле-

нием Кварса–Волковский, крупные шоссейные дороги Ижевск–Воткинск, Воткинск–Чайковский, Ижевск–Пермь, протекает судоходная р. Кама. На границе с Пермским краем находится Воткинское водохранилище. На территории района расположены большие и малые населенные пункты, садово-огородные массивы, песчаные и гравийные карьеры. Административным центром является г. Воткинск, численность населения которого составляет 24 380 чел. Леса занимают только 28% территории района (Шумилов, 2008).

Адвентивная флора Воткинского р-на стала объектом специального изучения с 2005 г. В результате проведенных полевых исследований, а также изучения литературных и гербарных данных на этой территории к 2011 г. зарегистрировано произрастание 429 видов адвентивных растений из 64 семейств, что составляет примерно 39.3% всей флоры района. При сравнении с Камбарским р-ном УР, где доля адвентивных видов составляет 28% от всей его флоры (Пузырев, 2007), наш показатель является более высоким. Однако сравнение с соответствующими данными для г. Ижевск и Удмуртии в целом, где доля адвентивных видов растений достигает до 50% и выше, показало, что наши показатели являются более низкими. В целом для адвентивной флоры Воткинского р-на характерно преобладание эргазиофигофитов (244 вида; 56.9%) над ксенофитами (182; 42.4). Адвентивной флоре Удмуртии присуща другая тенденция – преобладание ксенофитов (Пузырев, 2006). Кроме того, было зарегистрировано произрастание трех видов (0.7%) ксеноэргазиофигофитов, обладающих смешанной формой заноса, т.е. одновременно заносимых в качестве культурных и сорных растений (*Papaver rhoeas* L., *Artemisia dracunculus* L., *Xanthoxalis stricta* (L.) Small).

Местообитания растений можно разделить на два типа: естественные и искусственные. Естественные включают в себя различные классы местообитаний: луговые, лесные, прибрежноводные и др. Здесь все экологические ниши обычно оказываются занятыми и поэтому проникнуть в них новым видам очень сложно. Нами было выявлено всего 13 адвентивных видов, встречающихся в естественных местообитаниях (*Acer negundo* L., *Elodea canadensis* Michx., *Epilobium adenocaulon* Hausskn., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray, *Heracleum sosnowskyi* Manden. и др.).

Искусственные местообитания можно разделить на следующие классы по видам антропогенного воздействия: рудеральные, возделываемые и искусственные древесные насаждения.

Класс рудеральных экотопов занимает лидирующее положение среди всех выделенных нами классов местообитаний. Он включает в себя 389 адвентивных видов, большую часть которых составляют эргазиофигофиты (211 видов; 54.2%). Ксенофиты представлены 175 видами (45%), ксеноэргазиофигофиты – тремя (0.8) (табл. 1).

Класс рудеральных местообитаний делится нами на восемь групп, семь из которых (свалочная, придорожная, железнодорожная, переуплотненная, эрозионная, щелевая, кладбищенская) выделены на основе работы М.А. Березуцкого и А.В. Панина (2007).

К свалочной группе относятся свалки ТБО крупных и мелких населенных пунктов и кучи мусора; к придорожной – шоссейные, грунтовые и полевые дороги, их обочины и насыпи; к железнодорожной – железные дороги и железнодорожные станции; к переуплотненной – дворы, стадионы, детские и спортивные площадки, тропы; к залежной – залежи различных полей, а также заброшенные огородные участки; к щелевой – щели на асфальтовых и бетонных покрытиях, бордюров, поребриков мостовых и пристенные щели; к эрозионной – антропогенные обнажения, насыпи, пустыри; к кладбищенской – могилы и межмогильные участки.

Распределение адвентивных видов по группам рудеральных местообитаний представлено в табл. 2.

Доминирующее положение среди всех групп рудеральных местообитаний занимает свалочная (230 видов), что отличает адвентивную флору Воткинского р-на от таковой Удмуртии, где лидирующую позицию занимает группа железнодорожных местообитаний (Пузырев, 2006). Несколько уступают ей в этом отношении залежная и придорожная группы. Заметно меньшее число видов включают в свой состав железнодорожная, переуплотненная и другие группы местообитаний.

Таблица 1

Распределение адвентивных видов Воткинского р-на УР по классам искусственнных местообитаний

Классы искусственных местообитаний	Число			
	видов (% от общего числа видов)	эргазиофигофитов	ксенофитов	ксеноэргазиофигофитов
Рудеральный	389 (92.1)	211	175	3
Возделываемый	116 (27)	57	56	3
Искусственные древесные насаждения	32 (7.5)	19	13	0

Преобладание эргазиофигофитов над ксенофитами свойственно для свалочной и кладбищенской групп местообитаний, в то время как в остальных рудеральных группах лидируют ксенофиты.

Класс возделываемых экотопов включает в свой состав приусадебную, сельскохозяйственную и декоративную (цветники, газоны) группы (Березуцкий, Панин, 2007). Здесь отмечается

произрастание 116 видов адвентов. Количество эргазиофигофитов (57 видов; 49.1%) и ксенофитов (56; 48.3) примерно одинаково. Также отмечается произрастание трех видов ксеноэргазиофигофитов.

К приусадебной группе относятся огородные приусадебные и садовые участки; к декоративной – различные виды цветников и газоны; к сельскохозяйственной – поля. Распределение адвентивных видов по группам возделываемых местообитаний представлено в табл. 3.

Среди групп возделываемых местообитаний по числу адвентивных видов доминирует приусадебная (81 вид). На ее долю приходится 18.9% от общего количества видов адвентивной флоры Воткинского р-на. В приусадебной и декоративной группах лидируют эргазиофигофиты, в то время как в сельскохозяйственной – ксенофиты.

К классу искусственных древесных насаждений относятся лесопосадки и территория заброшенного плодопитомника. Из 32 обнаруженных здесь адвентивных видов 19 являются эргазиофигофитами, 13 – ксенофитами.

Таким образом, на территории Воткинского р-на основными местами концентрации адвентивных видов растений являются следующие группы рудеральных местообитаний: свалочные, залежные, придорожные. В общей сложности на них зафиксировано произрастание 367 адвентивных видов, что составляет 91% от всей адвентивной флоры района.

Таблица 2

Распределение адвентивных видов Воткинского р-на УР по группам рудеральных местообитаний

Группы рудеральных местообитаний	Число			
	видов (% от общего количества видов)	эргазиофигофитов	ксенофитов	ксеноэргазиофигофитов
Свалочная	230 (53.6)	156	72	2
Залежная	208 (48.5)	36	70	1
Придорожная	202 (47.1)	80	122	0
Железнодорожная	106 (24.7)	36	69	1
Переуплотненная	85 (19.5)	36	48	1
Эрозионная	74 (17.2)	23	51	0
Щелевая	57 (13.3)	29	27	1
Кладбищенская	25 (5.8)	16	9	0

Таблица 3

Распределение адвентивных видов Воткинского р-на УР по группам возделываемых местообитаний

Группы возделываемых местообитаний	Число			
	видов (% от общего количества видов)	эргазиофигофитов	ксенофитов	ксеноэргазиофигофитов
Приусадебная	81 (18.9)	36	45	0
Декоративная	44 (10.3)	28	14	3
Сельскохозяйственная	40 (9.3)	7	33	0

Литература

Березуцкий М.А., Панин А.В. Флора городов: структура и тенденция антропогенной динамики // Бот. журн., 2007. Т. 92. № 10. С. 1481-1490.

Пузырев А.Н. Изучение адвентивной флоры в Удмуртской республике // Адвентивная и синантропная флора России и стран ближнего зарубежья: состояние и перспективы: Матер. III Междунар. науч. конф. Ижевск, 2006. С. 83-84.

Пузырев А.Н. Адвентивный элемент флоры Камбарского района Удмуртской республики // Флора Урала в пределах бывшей Пермской губернии и ее охрана. Пермь, 2007. С. 102-108.

Шумилов Е.Ф. Воткинский район // Удмуртская республика: Энциклопедия. Ижевск, 2008.

ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ЛИШАЙНИКА ЛОБАРИЯ ЛЕГОЧНАЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА ШАРЬЯ (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н.В. Иванова
Пущинский государственный естественно-научный институт
E-mail: Natalya.dryomys@gmail.com

Лесной эпифитный лишайник лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) имеет широкий ареал в мире, но в настоящее время численность его сокращается под влиянием лесозаготовительной деятельности и промышленного загрязнения воздуха (Scheidegger et al., 1998; Пыстина, Семенова, 2009). На территории Костромской области лобария распространена неравномерно, и известные к настоящему времени места ее обитания приурочены к менее хозяйственно освоенной северо-восточной части региона (Немчинова, Иванова, 2009).

В данной работе описаны популяции лобарии близ районного центра северо-востока Костромской области – г. Шарьи. Шарьинский р-н имеет высокий уровень лесистости (80%), при этом более половины лесного фонда составляют осинники. Остальная часть представлена в ос-

новном сосняками и березняками. Фрагменты старовозрастных ельников сохранились лишь в пойме р. Ветлуга и ее притоков. В лесных сообществах присутствуют широколиственные деревья – липа сердцелистная (*Tilia cordata* L.), вяз голый (*Ulmus glabra* Huds.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), а также встречаются пихта сибирская *(Abies sibirica* Ledeb.) и лиственница сибирская *(Larix sibirica* L.) (Немчинова, Хорошев, 2008).

В Шарье расположен один из крупнейших в России заводов по производству ДСП, являющийся основным загрязнителем воздуха (выбрасывает диоксид серы, оксиды азота, углекислый газ, формальдегид, метанол) в районе. Из литературных данных известно, что лобария чувствительна к загрязнению воздуха SO_2 (Scheidegger et al., 1998).

Нами исследованы популяции лобарии на двух участках, находящихся к югу от Шарьи на расстоянии около 10 км. Участок № 1 – водораздельные средневозрастные осиново-березовые с елью и липой сообщества, неоднократно подвергавшиеся рубкам. Участок № 2 – хвойно-широколиственные леса в пойме р. Ветлуга. Эта территория также подвергалась рубкам, кроме того, она испытывает сильную рекреационную нагрузку.

Встречаемость лобарии учитывали маршрутным методом. В качестве счетной единицы использовали «функциональный индивидуум» – дерево, заселенное лишайником; совокупность талломов лобарии на одном дереве принимали за субпопуляцию (Михайлова, 2004). У дерева-носителя (форофита) лишайника определяли вид, онтогенетическое состояние, выборочно – абсолютный возраст, а также описывали особенности структуры коры.

У субпопуляций лобарии учитывали количество талломов на стволе дерева и стадию развития каждого таллома. За один таллом принимали слоевище (слоевища), пространственно отделенное от других слоевищ (Михайлова, 2004). Для оценки возрастной структуры популяции лишайника использовали трехбалльную шкалу, разработанную на основе диагнозов онтогенетических состояний лобарии (Горшков, Семенова, 2008). Талломы с неразделенными лопастями считали молодыми. Взрослыми называли талломы с разделенными лопастями и неразрушенным центром. Талломы с распавшейся центральной частью определяли как старые. В водораздельном лесу описано семь субпопуляций лобарии, в пойменном – 11.

В местах обнаружения лишайника выполнены геоботанические описания по методике Браун-Бланке на площадках 100 м^2. Всего сделано 12 геоботанических описаний.

Результаты исследования показали, что места обитания лобарии приурочены к липнякам бореально-неморальным и неморально-бореальным, ельникам бореально-неморальным и березнякам бореально-неморальным.

Встречаемость лишайника (суммарно по двум участкам) составила 7 встреч/км маршрута. Согласно литературным данным, встречаемость лишайника в малонарушенных старовозрастных высокотравных пихтово-еловых лесах заповедника «Кологривский лес» составляет 35.5 встреч/км (Терентьева, Нестерова, 2011). В то же время в других лесах Кологривского р-на, образовавшихся после сплошных концентрированных рубок, встречаемость вида составляет 0.7 встреч/км маршрута (Немчинова, Иванова, 2009).

Вероятно, в исследованных нами сообществах проводились выборочные, а не сплошные рубки. Такой режим лесопользования с оставлением части деревьев, по-видимому, не препятствует расселению лишайника в сообществах, что и может объяснять полученные достаточно высокие значения встречаемости редкого вида.

На исследованной территории лобария была встречена на деревьях трех видов – липе (15 встреч), осине (*Populus tremula* L.) (2) и дубе (1). Согласно литературным данным, наиболее распространенным форофитом для лишайника на территории севера европейской части России в настоящее время являются старовозрастные осины (Пыстина, Семенова, 2009). Преобладание липы среди форофитов лишайника в полученных нами результатах объясняется доминированием *Tilia cordata* в составе древостоев большинства исследованных сообществ. Особенности форофитов лобарии представлены в таблице.

Известно, что количество пригодных для заселения лишайником форофитов – важный фактор для устойчивого состояния лобарии, которое возможно только в наименее нарушенных сообществах с разновозрастным и разновидовым древостоем (Scheidegger et al., 1998). Так, в старовозрастных малонарушенных пихтово-еловых лесах заповедника «Кологривский лес» лишайник встречается на деревьях шести видов – липе,

Характеристика обнаруженных деревьев – носителей лобарии (форофитов)

Вид	Количество учтенных форофитов	Диаметр ствола, см	Онтогенетическое состояние	Абсолютный возраст, лет	Структура коры
Tilia cordata	15	19-46	g2-s	60-80	Трещиноватая отслаивающаяся
Populus tremula	2	70	g2, s	Нет данных	Трещиноватая
Quercus robur	1	62	g2	>150	Трещиноватая

рябине (*Sorbus aucuparia* L.), иве козьей (*Salix caprea* L.), вязе шершавом (*Ulmus glabra* Huds.), клене остролистном (*Acer platanoides* L.), очень редко – на стволах ели (*Picea* sp.) (Терентьева, Нестерова, 2011).

В лесах Кологривского р-на, неоднократно подвергавшихся воздействию рубок и пожаров, широколиственные виды деревьев практически отсутствуют. По литературным данным, в этих сообществах лобария поселяется на деревьях только трех видов. Чаще всего лишайник встречается на осине, редко – на рябине и иве козьей (Иванова, Немчинова, 2008).

Набор форофитов лобарии на исследованной территории соотносим с таковым для послерубочных лесов Кологривского р-на. В местах обитания лишайника присутствовали клен остролистный и рябина обыкновенная в ярусах В и С, но лобарии на стволах этих видов не было, так как молодые деревья имели гладкую кору, а согласно литературным данным, зачатки лишайника могут закрепляться только на коре с трещиноватой структурой (Scheidegger et al., 1998), которая появляется у деревьев этих видов в более позднем возрасте. В будущем эти деревья смогут стать подходящими субстратами для лишайника.

Кроме того, на площадках в ярусе А присутствовали деревья липы, осины или дуба, на момент исследования пригодные для заселения лобарией (старые, с грубой трещиноватой корой), но не колонизированные лишайником.

Полученные данные позволяют сделать предположение о том, что исследованные сообщества обладают большим потенциалом для обитания *L. pulmonaria*.

Изучение возрастной структуры лишайника показало, что молодые талломы лобарии присутствуют в шести из 18 субпопуляций. Остальные талломы в исследованных субпопуляциях относились к взрослым и старым.

Талломов с апотециями зафиксировано не было, следовательно, расселение лишайника на соседние деревья происходит за счет вегетативных зачатков. Согласно литературным данным, такие зачатки образуются в большом количестве, но дальность их распространения невелика и ограничивается несколькими метрами (Scheidegger et al., 1998). Следовательно, расстояние между потенциальными форофитами для лишайника в данном случае – важный фактор, лимитирующий расселение лобарии легочной внутри лесного сообщества.

Таким образом, полученные в ходе работы данные о встречаемости лишайника, разнообразии его форофитов и возрастной структуре субпопуляций на исследованной территории позволяют сделать вывод о достаточно стабильном состоянии *L. pulmonaria*.

Исследование влияния выбросов завода ДСП на состояние популяций лобарии требует дальнейшего изучения. Согласно розе ветров для г. Шарья, в районе преобладают южные ветры (География..., 1995), следовательно, аэротехногенное загрязнение на исследованной территории минимально. В связи с этим необходимы дальнейшие работы по поиску и мониторингу популяций лобарии к северу от города.

Высокая рекреационная нагрузка в хвойно-широколиственном лесу в пойме р. Ветлуга, видимо, не наносит вреда популяции лишайника.

Литература

География Костромской области / Под ред. А.Ф. Драничникова. Кострома, 1995. 143 с.

Горшков В.В., Семенова Н.А. Структура популяций *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в лесах разной давности последнего нарушения в средней тайге Республики Коми // Современное состояние и пути развития популяционной биологии: Матер. X Всерос. популяционного семинара. Ижевск, 2008. С. 113-116.

Михайлова И.Н. Анализ субпопуляционных структур эпифитных лишайников (на примере *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология, 2004. № 1. С. 124-134.

Немчинова А.В., Иванова Н.В. Тенденции распространения *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в лесах Костромской области // Изучение грибов в биогеоценозах: Матер. V Междунар. конф. Пермь, 2009 (в печати).

Немчинова А.В., Хорошев А.В., Иванова Н.В., Носкова О.Н. Состояние биоразнообразия Поветлужского края // Поветлужье: проблемы, тенденции и перспективы социкультурного развития: Матер. Межрегион. науч.-практ. конф. Шарья, 2008. С. 298.

Пыстина Т.Н., Семенова Н.А. Экологические особенности лишайника *Lobaria pulmonaria* (Lobariaceae) в Республике Коми // Бот. журн., 2009. Т. 94. № 1. С. 48-58.

Терентьева Е.В., Нестерова С.А. Некоторые особенности распространения *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. на Кологривском участке заповедника «Кологривский лес» им. М.Г. Синицына // Современные проблемы популяционной экологии, геоботаники, систематики и флористики: Матер. Междунар. науч. конф. Кострома, 2011. Т. 1. С. 222-224.

Scheidegger Ch., Frey B., Walser J.-Cl. Reintroduction and augmentation of populations of the endangered lobaria pulmonaria: methods and concepts // Lobarion lichens as indicators of the primeval forests of the Eastern Carpathians (Darwin International Workshop). Kostrino, 1998. P. 33-52.

ПАПОРОТНИКИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И.П. Клабукова
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: botany@vshu.kirov.ru

Папоротники – одни из наиболее древних споровых растений на Земле. Особенно обильно они были представлены в каменноугольном периоде, а отдельные представители встречались еще в девоне. В настоящее время, спустя миллионы лет, на Земле продолжают существовать более 10 тыс. видов папоротников. Наибольшее их разнообразие приходится на влажные леса Юго-Восточной Азии (4.5 тыс. видов), тропики Америки (2250). В нашей стране папоротниками богат Дальний Восток (986 видов).

Местообитания папоротников различны: скальные, лесные, открытых пространств, водные. Такие различные условия существования привели к возникновению у них большого разнообразия внешних форм, внутреннего строения, размеров.

Вся Кировская область располагается на территории Восточно-Европейской равнины. Здесь можно встретить следующие формы рельефа: тектонические, ледниковые, эрозионные, карстовые. Климат континентальный, с продолжительной холодной малоснежной зимой и умеренно теплым летом. Выделяют три основных типа почвообразования: подзолистый, дерновый, болотный. Кировская область простирается на 570 км с севера на юг, захватывает три подзоны: средней тайги, южной тайги и хвойно-широколиственных лесов (Колчанов, 1996).

Полевые наблюдения проводили в 2008-2011 гг. Обследованы особо охраняемые природные территории (ООПТ): государственный природный заповедник (ГПЗ) «Нургуш» (Котельничский р-н), памятник природы «Великорецкое» (Юрьянский р-н), памятник природы «Дендрологический парк лесоводов Кировской области» (Нововятский р-н), а также окрестности г. Киров и Сунский р-н. Выполнены следующие анализы: систематический, ареалогический, фитоценологический, биотипический.

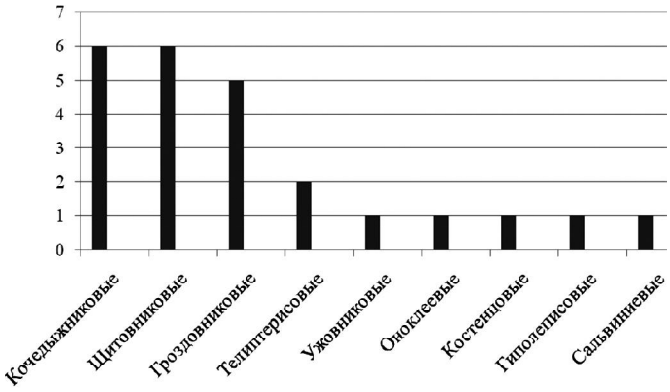


Рис. 1. Численный состав видов папоротников по семействам.

С учетом систематического анализа было выявлено 24 вида папоротников. Они относятся к 12 родам из девяти семейств (Тарасова, 2007). Самыми многочисленными являются семейства *Athyriaceae* и *Aspidiaceae*, которые включают в себя по шесть видов папоротников. На втором месте семейство *Botrychiaceae* – пять видов. Два вида содержит семейство *Thelypteridaceae*. По одному виду в семействах *Ophioglosseceae, Onocleaceae, Aspleniaceae, Hypolepidaceae, Salviniaceae* (рис. 1).

Ареалогический анализ позволил выявить распределение видов в пределах области. Большинство видов папоротников (71%) имеет ограниченное распространение (*Cystopteris dickieana* R. Sim, *Salvinia natans* (L.) All. и др.). Остальные папоротники (29%) произрастают повсеместно (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn и др.).

Больше всего видов папоротников произрастает в центральном северном и центральном южном ботанико-географических районах (66%), меньше всего – в восточном ботанико-географичеком районе (33%). Их произрастание связано с особенностями местообитания (рис. 2).

Папоротники региона относятся к трем фитоценотическим группам: лесные, болотные и водные. Самыми многочисленными являются лесные папоротники, на их долю приходится 83% от общего количества (например, *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. и т.д.), 13% – болотные (например, *Thelypteris palustris* Schott, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth), 4% – водные (*Salvinia natans* (L.) All) (рис. 3).

По экологическим группам преобладают мезофиты – 83% (например, *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs и т.д.), на долю гигрофитов приходится 17% от общего числа папоротников (*Thelypteris palustris* Schott, *Dryopteris cristata* (L.) A.Gray) (рис. 4).

Большое видовое разнообразие папоротников встречается на охраняемых территориях. Так, на территории памятника природы

Рис. 2. Распространение папоротников по ботанико-географическим районам области.

«Великорецкое» встречается семь видов папоротников (29% от общего числа папоротников Кировской области), на ООПТ «Дендрологический парк лесоводов Кировской области» – восемь (33%), а в ГПЗ «Нургуш» можно встретить 14 видов (58%) (Тарасова, 2005).

В ходе исследования были выявлены виды, находящиеся под охраной и занесенные в Красную книгу Кировской области (2001). В список редких и уязвимых видов растений этой области занесено восемь видов папоротников (33%): *Botrychium lanceolatum* (S.G.Gmel.) Angstr., *Botrychium matricariifolium* A. Br. Ex Koch, *Botrychium virginianum* (L.) Sw., *Rhizomatopteris sudetica* (A. Br. et Milde) A. Khokhr., *Cystopteris dickieana* R.Sim, *Gymnocarpium robertianum* (Hoffm.) Newm., *Asplenium ruta-muraria* L., *Salvinia natans* (L.) All. Из них только три вида находятся под охраной на ООПТ: *Botrychium matricariifolium* A. Br. Ex Koch, *Gymnocarpium robertianum* (Hoffm.) Newm., *Asplenium ruta-muraria* L.

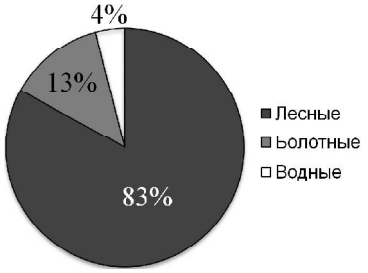


Рис. 3. Фитоценотические группы папоротников.

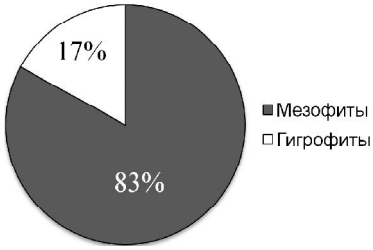


Рис. 4. Экологические группы папоротников.

Со времени каменноугольного периода папоротники изменились. Но по-прежнему это одна из наиболее уникальных, сохранившихся до наших дней групп растений. Тем ценнее, что эти древние растения произрастают у нас в Кировской области. Поэтому с целью сохранения, воспроизводства и восстановления популяций папоротников, необходимо создавать ООПТ в подходящих для этого местах.

Литература

Колчанов В.П. Природа, хозяйство, экология Кировской области. Киров, 1996. 592 с.

Красная книга Кировской области: Животные, растения, грибы / Под общ. ред. Л.Н. Добринского. Екатеринбург, 2001. 288 с.

Тарасова Е.М. Сосудистые растения Государственного природного заповедника «Нургуш». Киров, 2005. 164 с.

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

РАЗНООБРАЗИЕ АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ КОМПЛЕКСНОГО ЗАКАЗНИКА «СИНДОРСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Д.А. Косолапов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kosolapov@ib.komisc.ru

В настоящее время приоритетными направлениями в биологии являются выявление биологического разнообразия отдельных групп организмов и изучение их приуроченности к различным типам местообитания. Лесной биоценоз – это сообщество деревьев, кустарников, травянистой растительности, почвы, животных и других организмов, которые находятся в постоянной взаимосвязи. Один из важнейших компонентов лесных биоценозов – дереворазрушающие грибы, которые способствуют усилению круговорота минеральных веществ, энергии, разлагая естественный отпад, превращая органические вещества в минеральные, которые затем используются зелеными растениями.

При проведении оценки состояния лесных экосистем с точки зрения биологического разнообразия традиционно используют сосудистые растения, мохообразные, лишайники, насекомые и др. В последнее время перспективным объектом при оценке антропогенного воздействия на лесные экосистемы также считаются дереворазрушающие грибы, большинство из которых представлено афиллофороидными макромицетами. Существенный интерес представляет изучение микобиоты особо охраняемых природных территорий. На многих объектах природно-заповедного фонда сосредоточены массивы девственных или мало нарушенных таежных лесов. В таких экосистемах, развивающихся в режиме спонтанной динамики, всегда присутствует значительное количество мертвой древесины, являющейся основным субстратом для большого числа представителей царства грибов. Все вышеописанное в достаточной мере говорит о том, что дереворазрушающие грибы являются в значительной степени важным элементом биоценоза с экологической точки зрения, и на их изучение должно быть обращено особое внимание.

Материалом для настоящей работы послужила коллекция афиллофороидных грибов, собранных маршрутным методом на территории заказника «Синдорский». В результате проведенных исследовании было выявлено 74 вида афиллофороидных макромицетов, относящихся к 16 порядкам, 26 семействам и 46 родам. Таксоны приведены в соответствии со сводкой «Nordic

Macromycetes» (Hansen, Knudsen, 1997) с небольшим изменением. Средняя видовая насыщенность семейств составляет 2.8, родовая насыщенность – 1.6. Ведущие по численности порядки *Hymenochaetales* (16 видов), *Hyphodermatales* (12) и *Fomitopsidales* (11). Ведущими семействами являются *Phellinaceae* (11 видов), *Fomitopsidaceae* и *Schizophyllaceae* (по 8), *Coriolaceae* (7). Наибольшее число видов насчитывают роды *Phellinus* (11), *Phlebia* (4), *Antrodia, Postia*, *Trametes* и *Trichaptum* по три вида соответственно. Более 70% родов представлены одним видом (см. таблицу). Высокая видовая насыщенность таких типично бореальных родов, как *Antrodia, Phlebia* и *Postia* свидетельствует о бореальных чертах изученной биоты афиллофороидных грибов.

Таксономическая структура биоты афиллофороидных грибов заказника «Синдорский»

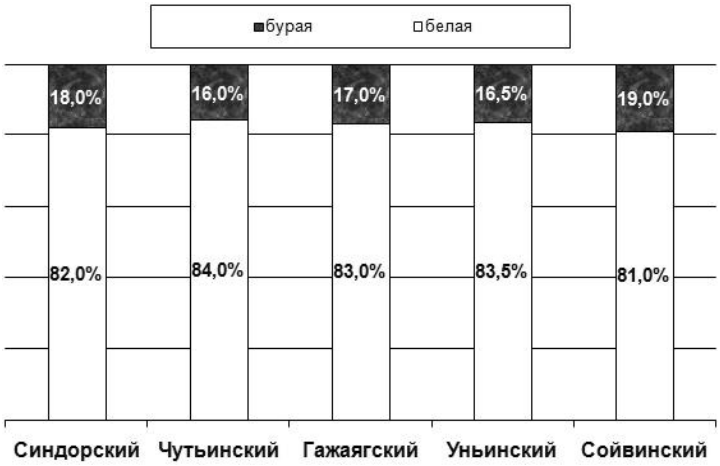
Порядок, семейство (число родов / видов)	Род (число видов)
ALEURODISCALES (2/2)	
Corticiaceae (2/2)	*Corticium* (1), *Cytidia* (1)
ATHELIALES (1/1)	
Byssocorticiaceae (1/1)	*Piloderma* (1)
BOLETALES (1/1)	
Coniophoraceae (1/1)	*Coniophora* (1)
BOTRYOBASIDIALES (1/1)	
Botryobasidiaceae (1/1)	*Botryohypochnus* (1)
CORIOLALES (6/8)	
Coriolaceae (5/7)	*Cerrena* (1), *Daedaleopsis* (1), *Datronia* (1), *Pycnoporus* (1), *Trametes* (3)
Fomitaceae (1/1)	*Fomes* (1)
FOMITOPSIDALES (5/11)	
Fomitopsidaceae (4/8)	*Antrodia* (3), *Fomitopsis* (2), *Gloeophyllum* (2), *Piptoporus* (1)
Phaeolaceae (1/3)	*Postia* (3)
GANODERMATALES (1/1)	
Ganodermataceae (1/1)	*Ganoderma* (1)
HERICIALES (1/1)	
Gloeocystidiellaceae (1/1)	*Vesiculomyces* (1)
HYMENOCHAETALES (5/16)	
Coltriciaceae (1/1)	*Coltricia* (1)
Hymenochaetaceae (1/1)	*Hymenochaete* (1)
Inonotaceae (2/3)	*Inocutis* (1), *Inonotus* (2)
Phellinaceae (1/11)	*Phellinus* (11)
HYPHODERMATALES (9/12)	
Bjerkanderaceae (2/2)	*Bjerkandera* (1), *Hapalopilus* (1)
Chaetoporellaceae (4/4)	*Amphinema* (1), *Diplomitoporus* (1), *Hyphodontia* (1), *Skeletocutis* (1)
Hyphodermataceae (1/1)	*Basidioradulum* (1)
Steccherinaceae (2/5)	*Steccherinum* (2), *Trichaptum* (3)
LACHNOCLADIALES (1/1)	
Lachnocladiaceae (1/1)	*Vararia* (1)
PHANEROCHAETALES (2/3)	
Phanerochaetaceae (1/2)	*Phanerochaete* (2)
Rigidoporaceae (1/1)	*Climacocystis* (1)
POLYPORALES (1/1)	
Polyporaceae (1/1)	*Dichomitus* (1)
SCHIZOPHYLLALES (5/8)	
Schizophyllaceae (5/8)	*Chondrostereum* (1), *Gloeoporus* (1), *Mycoacia* (1), *Phlebia* (4), *Plicatura* (1)
STEREALES (4/6)	
Chaetodermataceae (2/2)	*Chaetoderma* (1), *Veluticeps* (1)
Peniophoraceae (2/4)	*Peniophora* (2), *Stereum* (2)
XENASMATALES (1/1)	
Xenasmataceae (1/1)	*Phlebiella* (1)

Итого: 16 порядков, 26 семейств, 46 родов, 74 вида

Одна из важнейших задач – выявление особенностей географического распространения видов, которые составляют биоту, ее позиции в ряду зональных и региональных биот. При географическом анализе использовали метод, основанный на совмещении зонального и регионального принципов анализа. Проведенный географический анализ показал, что наиболее полно представлены виды мультизонального географического элемента – 50 (68%), который включает в себя такие виды, как *Amphinema byssoides, Cerrena unicolor, Hymenochaete tabacina, Phlebia tremellosa, Stereum sanguinolentum, Trametes ochracea* и др. Представителей бореального географического элемента, к которым относятся *Chaetoderma luna, Dichomitus squalens, Fomitopsis rosea, Phellinus chrysoloma, Veluticeps abietina*и др., – 24 вида (32%). Распределение по долготно-региональному признаку показало, что большинство видов имеет обширные ареалы (96%). Так, в пределах Голарктического флористического царства встречается 30 видов (41% общего видового состава): *Antrodia sinuosa, Diplomitoporus lindbladii, Phellinus ferrugineofuscus, Skeletocutis amorpha, Trichaptum abietinum* и др. Мультирегиональных видов, распространенных и за пределами Голарктики, насчитывается 41 (55%): *Bjerkandera adusta, Coniophora olivacea, Fomitopsis pinicola, Gloeophyllum sepiarium, Phanerochaete sanguinea, Phlebiella sulphurea, Trametes pubescens* и др. Виды с амфиатлантическим и евроазиатским распространением представлены незначительным числом и в сумме имеют 4% от всего видового состава. Таким образом, преобладающими в биоте афиллофороидных макроми-

цетов, населяющих леса на территории заказника «Синдорский», являются виды мультизонального географического элемента с мультирегиональным типом ареала.

На территории заказника «Синдорский» из 73 видов, для которых по литературным данным удалось установить тип гнили: 60 (82%) вызывают белую гниль, 13 (18 %) относятся к грибам бурой гнили (см. рисунок). Эти результаты практически совпадают с данными, полученными ранее для заказников, находящихся на территории Республики Коми в Ухтинском (комплексные заказники «Чутьинский» и «Гажаягский») и Троицко-Печорском районах (ботанический заказник «Сойвинский», комплексный заказник «Уньинский») (Косолапов, 2008). Следовательно, по процентному соотношению афиллофороидных грибов, вызывающих различные типы гнили, исследованная биота характерна для таежной зоны.



Соотношение типов гнили, вызываемых афиллофороидными грибами для различных заказников на территории Республики Коми.

По отношению к влажности в изученных лесах на территории заповедника преобладают мезофилы – 37 видов (50% от общего числа видов, отмеченных для исследованной территории). Видов, являющихся гигрофилами, – 10 (14%), а на долю ксерофилов приходится 27 видов (36%). При этом на территории заказника наиболее распространены афиллофоровые грибы с мономитической и димитической гифальной системами – 36 (49%) и 26 (35%) видов соответственно, что также характерно для таежных лесов, в которых наблюдается большое количество крупномерного валежа на различных стадиях разложения (Бондарцева и др., 1992; Мухин, 1993; Змитрович, 1997). Таким образом, можно предположить, что исследованные нами лесные экотопы являются оптимальными для существования мезофильных видов афиллофороидных грибов с димитической и мономитической гифальными системами, к которым относится подавляющее большинство видов, хотя следует отметить, что происходит увеличение доли ксерофильных видов.

В последнее время при исследовании состояния ландшафтов много внимания уделяют индикаторным видам лишайников, грибов, насекомых и других организмов, которые показывают степень нарушенности лесных экосистем (Kotiranta, Niemela, 1996). Особенно это касается видов, которые существуют только в девственных и старовозрастных лесах или являются характерными для них. Среди афиллофороидных макромицетов, которые были найдены на исследованной территории, присутствуют такие виды – индикаторы девственных лесов (*Dichomitus squalens, Gloeophyllum protractum* и *Phlebia centrifuga*). Кроме того, были выявлены и наиболее значимые виды старовозрастных лесов (*Chaetoderma luna, Fomitopsis rosea, Phellinus chrysoloma, Ph. ferrugineofuscus, Ph. lundellii, Ph. nigrolimitatus, Ph. pini* и *Ph. viticola*), которые существенно страдают от практики ведения лесного хозяйства.

Исследования, проведенные на территории заказника «Синдорский», позволяют сказать, что большинство найденных видов грибов являются широко распространенными, а микобиота в целом характерна для таежной зоны. Данные, полученные в ходе работы, показали, что исследованные лесные экотопы испытывают значительное влияние антропогенного фактора, большинство найденных нами грибов являются типичными для нарушенных местообитаний, при этом стоит отметить, что численность некоторых из них довольно высокая.

Литература

Бондарцева М.А., Свищ Л.Г., Балтаева Г.М. Некоторые закономерности распространения трутовых дереворазрушающих грибов // Микология и фитопатология, 1992. Т. 26. Вып.6. С. 442-447.

Змитрович И.В. Распространение афиллофоровых грибов по территории Санкт-Петербурга // Микология и фитопатология, 1997. Т. 31. Вып. 1. С. 19-27.

Косолапов Д.А. Афиллофоровые грибы заказника «Уньинский» (Республика Коми) // Новости систематики низших растений. СПб., 2008. Т. 42. С. 65-77.

Мухин В. А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Наука, 1993. 232 с.

Hansen L., Knudsen H. Nordic Macromycetes. Vol. 3: heterobasidioid, aphyllophoroid and gastromycetoid Basidiomycetes. Copenhagen: Nordsvamp, 1997. 445 p.

Kotiranta H., Niemela T. Uhanalaiset kaavat Suomessa. Tonien, uudistettu painos. Helsinki: S.Y.E., 1996. 184 p.

СТРОЕНИЕ ДРЕВОСТОЕВ КОРЕННЫХ СОСНЯКОВ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА

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

На территории Печоро-Илычского биосферного государственного природного заповедника сосновые леса занимают порядка 40 тыс. га лесопокрытой площади и представлены главным образом спелыми и перестойными насаждениями. Длительные стационарные наблюдения за динамикой формирования их древостоев и изменениями экологических факторов среды в условиях, исключающих антропогенное воздействие (заповедный режим), не проводились.

Цель данной работы – оценка состава, строения древостоев и возрастной структуры древостоев коренных сосняков различных типов.

Исследования проходили на территории Печоро-Илычского биосферного заповедника по обоим берегам р. Печора. Сбор данных проводился согласно методическим указаниям (ОСТ 56-69-83). Возраст древостоя определяли с помощью кернов у 30-110 деревьев сосны и 15 сопутствующих пород, а также по спилам двух-трех модельных деревьев. Строение древостоев определяли согласно распределению деревьев по классам возраста, по взаимосвязи диаметра и высоты от возраста. При оценке возрастной структуры использовали общепринятые методы (Комин, Семечкин, 1970), при обработке результатов наблюдений – методы математической статистики (Гусев, 2000).

Сосняки Приуралья представлены как чистыми, так и смешанными по составу древостоями. В древесном ярусе при доминировании сосны присутствуют ель, кедр, береза, редко – осина. Древостои III-V классов бонитета, полнота 0.5-0.9, запас стволовой древесины от 92 до 367 $м^3га^{-1}$. Максимальный возраст сосны в рассматриваемом регионе достигает 400 лет. Запасы сухостойных деревьев составляют более 10% от общего запаса древесины, что свидетельствует о довольно интенсивном отпаде в древостоях.

Статистический анализ показал, что средние диаметры деревьев сосны в сосняках в зависимости от условий места произрастания колеблются от 23.8±1.53 до 39.1±0.5 см. Отклонение от среднего диаметра варьирует от 6.6 до 19.8 см. Коэффициент вариации диаметра изменяется от 15 до 61%. Согласно исследованиям в других регионах, деревья сосны в древостоях имеют большую изменчивость по толщине. Высокая амплитуда колебания диаметров определяется наличием толстомерных деревьев, хотя количество их невелико. Коэффициент вариации среднего диаметра разновозрастных сосняков очень высок (иногда более 50%). Асимметрия рядов распределения деревьев по диаметру в четырех типах исследуемых сосняков положительная (>0) и достигает +0.98. Такое распределение деревьев имеет среднюю положительную косость. В сосняках брусничном, бруснично-лишайниковом ряды распределения деревьев имеют отрицательную асимметрию – <0 (левая ветвь кривой, начиная от вершины, больше правой). Эксцесс сосны по диаметру изменяется от –1.37 до +3.48.

Анализ распределения деревьев по высоте показал следующее: средняя высота сосны в сосняках колеблется от 10.3±0.25 до 22.4±0.29 м. Так, в сосняках брусничном, лишайниково-зеленомошном каменистом, бруснично-лишайниковом коэффициенты вариации колеблются в пределах 6-12%, что свидетельствует о хорошей их самоочищенности от тонкомерных и угнетенных деревьев в процессе естественного отпада сосны. В сосняках лишайниковом каменистом, черничном, багульниковом, коэффициент вариации средней высоты изменяются от 19 до 23%, что говорит о наличии в них молодых и отставших в росте тонкомерных деревьев.

Возрастная структура коренных сосняков зависит от частоты и интенсивности проходящих по территории лесных пожаров (Комин, Семечкин, 1970). При анализе распределения деревьев и запасов стволовой древесины сосны (рис. 1) в сосняках каменистых, черничном можно выделить несколько поколений сосны. Рассматриваемые древостои характеризуются как ступенчато-разновозрастные. Причина образовавшихся разрывов в распределении деревьев сосны и их запасов по классам возраста – низовые пожары различной интенсивности, при которых уничтожается подрост, происходит частичное изреживание верхнего полога с параллельной минерализацией почвы, создавая при этом условия для возникновения нового поколения сосны. В данных древостоях около 45% запаса стволовой древесины сосредоточено в деревьях старшего поколения.

Как видно из распределения (рис. 2), в сосняке брусничном, горевшем за последние 360 лет четыре-пять раз, в ряду распределения числа стволов и запасов древесины по классам возраста выделяются два максимума. Здесь нельзя выделить четкого деления на поколения, что связано с частыми беглыми пожарами. Основной запас древесины в данном сосняке формируют деревья диаметром от 32 до 40 см. В сосняках бруснично-лишайниковом и багульниковом древостои представлены четырьмя классами возраста, основной запас древесины в которых образуют деревья средних рангов по толщине 16-36 см. Согласно С.С. Зябченко (1984),

древостои такой возрастной структуры возникают в двух случаях: при растянутом во времени (60-80 лет) заселении сосной открытых участков, образовавшихся на гарях и при формировании древостоев после выборочных рубок. Данные древостои с таким распределением деревьев по возрасту можно объединить в тип условно разновозрастных насаждений.

Для анализа структуры древостоев проанализирована взаимосвязь между высотой и диаметром деревьев на высоте 1.3 м с возрастом деревьев, были построены равные зависимости, которые описываются логарифмическими кривыми:

$$y = a\ln(x) - b,$$

где y – диаметр на высоте 1.3 м и высота древостоя, x – возраст древостоя, a и b – коэффициенты.

Согласно полученным данным, тесная связь между возрастом деревьев и диаметром на высоте 1.3 м отмечается в каменистых и черничном типах леса (R^2 в пределах 0.57-0.86). В остальных типах исследуемых сосняков связь между возрастом и диаметром слабая либо отсутствует (R^2 = 0.25-0.003). Связь между возрастом и высотой деревьев сосны в большинстве сосновых древостоев довольно низкая или отсутствует, R^2 = 0.002-0.56.

Таким образом, старовозрастные сосняки Приуралья представлены чистыми и смешанными по составу древостоями III-V классов бонитета. Возраст деревьев в древостоях достигает 400 лет. Для доминирующей породы сосны характерны высокая изменчивость диаметра (15÷61%) и средняя – высоты (6÷23%). Древостои сосняков имеют сложную возрастную структуру, встречаются условно и ступенчато-разновозрастные типы возрастной структуры. В процессе развития древесный ярус может переходить из одного типа в другой. Основным фактором, определяющим развитие сосняков являются, пожары.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ гранта 10-04-00067).

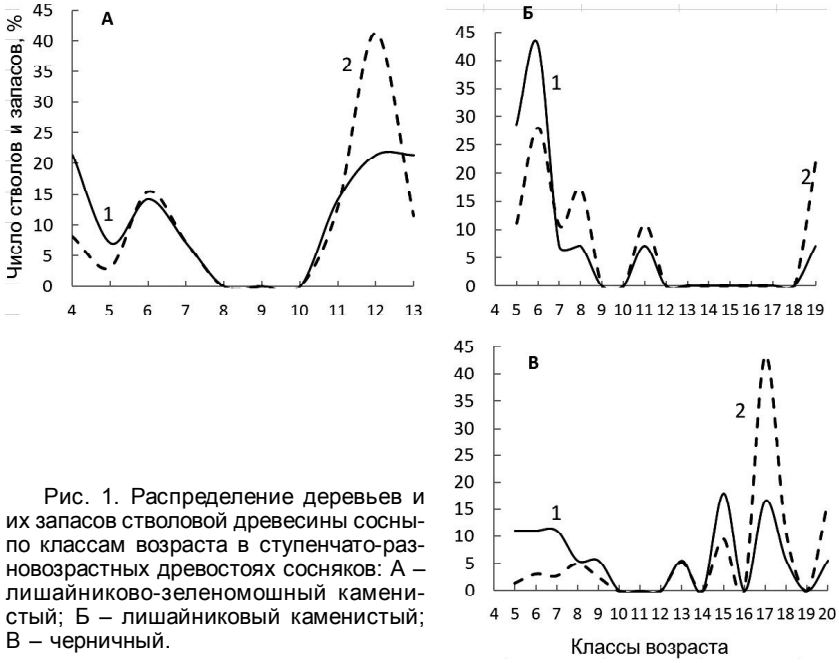


Рис. 1. Распределение деревьев и их запасов стволовой древесины сосны по классам возраста в ступенчато-разновозрастных древостоях сосняков: А – лишайниково-зеленомошный каменистый; Б – лишайниковый каменистый; В – черничный.

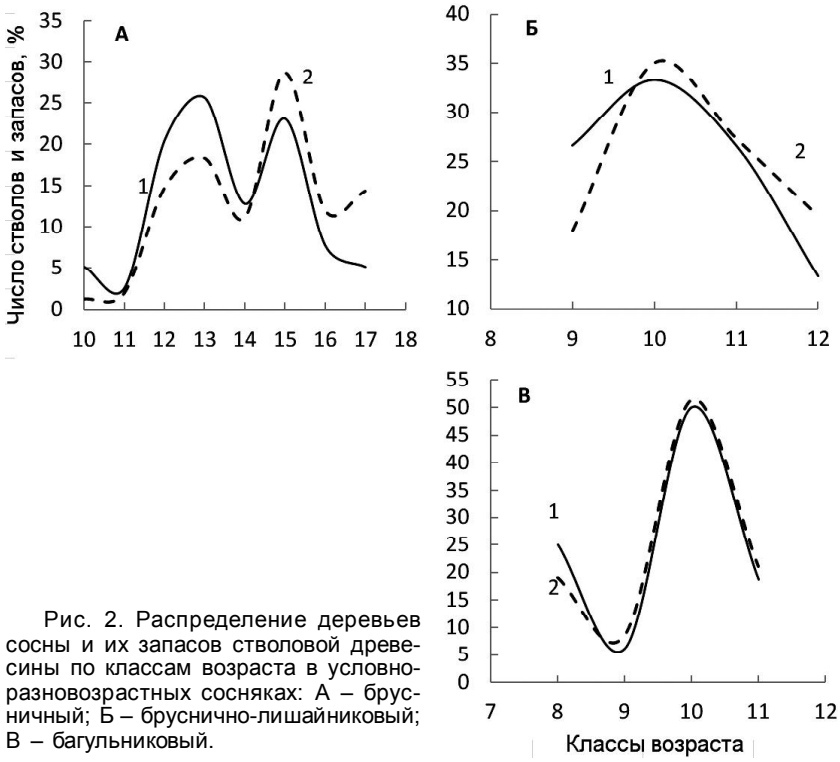


Рис. 2. Распределение деревьев сосны и их запасов стволовой древесины по классам возраста в условно-разновозрастных сосняках: А – брусничный; Б – бруснично-лишайниковый; В – багульниковый.

Литература

Гусев И.И. Моделирование экосистем. Архангельск: АГТУ, 2002. 112 с.

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

Комин Г.Е., Семечкин И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение, 1970. № 2. С. 24-33.

ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЕЛЬНИКЕ РАЗНОТРАВНО-ЧЕРНИЧНОМ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ

А.В. Манов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: manov@ib.komisc.ru

В работе применен новый метод оценки пространственной структуры древостоя и подроста. Выявлены закономерности пространственного размещения деревьев разных категорий крупности.

В смешанных по составу и сложных по структуре лесных насаждениях проявляются многосторонние взаимовлияния между особями одного и разных видов растений, а также между растениями разных ярусов. Эти взаимовлияния сказываются на росте и жизнедеятельности деревьев в различных условиях местопроизрастания по-разному (Мелехов, 1980). В то время как пространственная структура размещения деревьев в древостоях разных типов леса отличается, особенности биоморфы определяют общую специфику распределения растений в пространстве. В результате древесные растения могут расти либо кучно, либо равномерно, либо формировать более сложные структуры пространственного размещения (Фардеева и др., 2008). Фитоценоз как сочетание популяций, связанных взаимоотношением и единством территории, характеризуется вертикальным и горизонтальным расчленением. Элементом вертикальной структуры является ярусность, горизонтальной – мозаичность (Миркин, Розенберг, 1978).

Исследования горизонтальной структуры древостоя старовозрастного разнотравно-черничного ельника проводили в подзоне средней тайги Республики Коми на территории лесного заказника «Ляльский». В еловом насаждении была заложена постоянная пробная площадь (ППП) прямоугольной формы размером 20×95 м с размеченными вешками сеткой квадратов (5×5 м) для определения координат стволов (X и Y). На ППП проведена синтетическая таксация, т.е. без выделения поколений. Проведен сплошной перечет подроста. К подросту относили древесные растения высотой более 0.25 м и диаметром на 1.3 м до 6 см (Побединский, 1966).

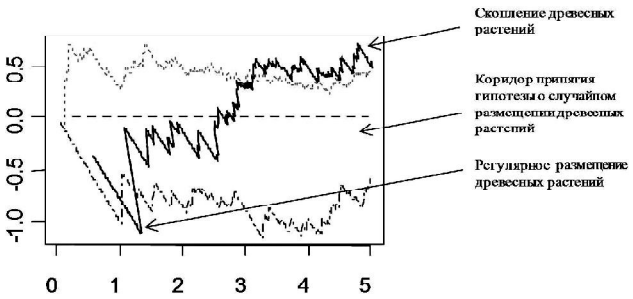


Рис. 1. Графическое представление функции Рипли. В этом и последующих графиках по вертикали отложена функция $L(r)–r$, по горизонтали – расстояние в метрах.

По материалам полевых исследований, горизонтальную структуру древостоев оценивали с помощью K-функции Рипли (Ripley, 1976), в пакете программирования «spatstat» (Baddeley, Turner, 2005) в среде статистической обработки данных «R» (www. r-project.org). Значение K-функции пропорционально среднему числу деревьев, находящихся на расстоянии, не превышающем радиус (r), от любого случайно выбранного дерева (Фардеева и др., 2008). При полной пространственной случайности (ППС), когда деревья распределены в пространстве случайным образом и не наблюдается значительного скопления их или стремления к регулярному расположению в пространстве, значение K-функции равно площади круга с радиусом, равным (r): $K_{ППС}(r) = \pi r^2$. Отклонение функции $K(r)$ от значения $K_{ППС}(r)$ свидетельствует о неслучайности наблюдаемого распределения древесных растений по площади круга для радиуса (r). Превышение функции $K(r)$ над $K_{ППС}(r)$ указывает на то, что на расстоянии (r) встречается больше деревьев, чем могло быть при их случайном пространственном распределении, что говорит о наличии скоплений деревьев. Когда кривая функции $K(r)$ проходит ниже значения $K_{ППС}(r)$, это означает, что на расстоянии (r) находится меньше древесных растений, чем могло бы быть при их случайном размещении, что указывает на регулярность распределения деревьев (Фардеева и др., 2008). Выход из коридора принятия гипотезы о случайном размещении древесных растений соответствует двухстороннему тесту с уровнем значимости 5%.

Вместо K-функции Рипли обычно используют L-функцию Рипли, вычисляемую по формуле $L(r) = \sqrt{K(r)/\pi}$, дисперсия которой почти постоянна в широком диапазоне шкал (Ripley, 1981). Графически L-функцию представляют в виде функции $L(r) - r$, так как при полной пространственной случайности $L_{ППС}(r) - r = 0$ при любых расстояниях (r) (рис. 1).

Для выявления значимости отклонений $L(r)$ функции от $L_{ППС}(r)$ функции, которая соответствует случайному размещению древесных растений, использован метод симуляции Монте-Карло (Ripley, 1981). Данный метод позволяет найти коридор принятия гипотезы о случайности размещения особей древесных пород в пространстве.

Исследуемый ельник является смешанным по составу и сложным по строению. При доминирующей в древесном ярусе ели присутствуют пихта и береза, единично – сосна и осина. Под пологом древостоя ельника развивается подрост

Лесоводственно-таксационная характеристика ельника разнотравно-черничного

Порода	Состав	Возраст, лет	Средние		Число растущих деревьев, шт. га$^{-1}$	Запас растущей древесины, м^3 га$^{-1}$	Полнота	Подрост, экз. га$^{-1}$
			высота, м	диаметр, см				
Ель	4Е4Б2Пх+С, Ос	55-295	15	17	389	104.5	0.40	2421
Пихта			14	17	121	33.3	0.13	847
Береза			19	24	189	94.2	0.32	132
Осина			24	31	11	13.1	0.02	0
Сосна			28	38	5	7	0.01	0
Итого					715	252.1	0.88	3400

в количестве 3.4 тыс. экз.га$^{-1}$ с преобладанием в его составе ели (71%) (см. таблицу).

Для выявления особенностей пространственной структуры елового древостоя, древесные растения были условно разделены по размеру на четыре класса. В первый вошел подрост в количестве 651 шт., второй составили 46 мелких по толщине (6-13 см) деревьев, третий заняли 66 средних по толщине (14-25 см) деревьев и к последнему, четвертому классу, отнесены 43 крупных по толщине (26 см и выше) деревьев. При использовании данного метода число особей древесных растений в каждом классе не должно быть меньше 20, иначе невозможно получить достоверный результат статистического анализа (Фардеева и др., 2008).

На основе моделирования горизонтальной структуры ельника разнотравно-черничного выявлен групповой характер размещения подроста по ППП, что в молодом возрасте можно объяснить неоднородностью заселенной территории в отношении пригодности условий для прорастания семян, укоренения проростков, приуроченных к старым валежам и окнам древесного полога (рис. 2а). К случайному размещению деревьев мелкого и среднего размерных классов может привести зависимый от плотности отпад, при котором отмирают преимущественно деревья, образующие группы (рис. 2б, в). Склонность крупных деревьев к равномерному произрастанию зависит от их господствующего положения в лесу (рис. 2г). Они составляют конкуренцию с другими размерными классами не только за свет. Более значима конкуренция корней за питательные вещества и влагу. По мере роста и отпада деревьев они стремятся к формированию равномерной структуры к спелому возрасту. Приведенные материалы в рамках используемой функции Рипли позволяют оценить характер размещения деревьев в насаждении.

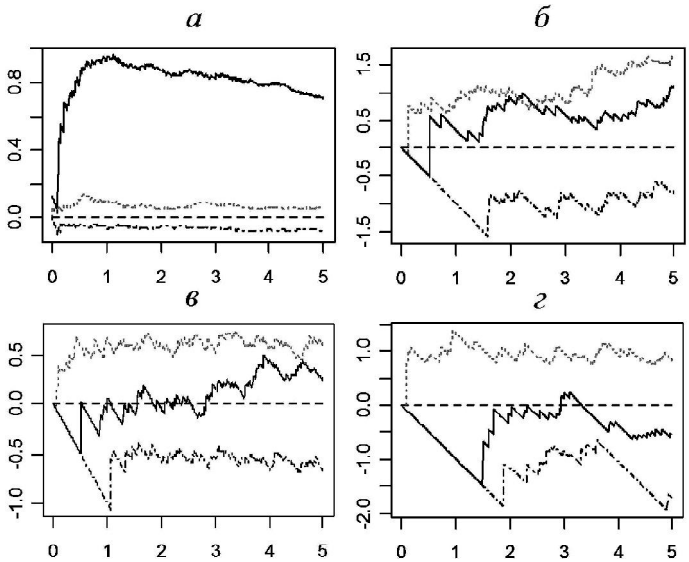


Рис. 2. Функции расположения древесных растений разных размерных классов: *а* – подрост, *б* – мелкие, *в* – средние, *г* – крупные деревья.

Литература

Мелехов И.С. Лесоведение: Учебник для вузов. М.: Лесн. пром-ть, 1980. 408 с.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с.

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

Фардеева М.Б., Исламова Г.Р., Чижикова Н.А. Анализ пространственно-возрастной структуры растений на основе информационно-статистических подходов // Ученые записки Казанского государственного университета, 2008. Т. 150. Кн. 4. С. 226-240.

Baddeley A., Turner R. Spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Pattens // Journal of Statistical Software, 2005. V. 12. Issue 6. Режим доступа: http://www.jstatsoft.org

Ripley B.D. Spatial Statistics. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1981. 267 p.

АГАРИКОИДНЫЕ БАЗИДИОМИЦЕТЫ ХРЕБТА МАНЬХАМБО (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

М.А. Паламарчук
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: palamarchuk@ib.komisc.ru

Одним из приоритетных направлений современной биологии является изучение и сохранение биологического разнообразия живых организмов. С этой позиции грибы остаются недостаточно изученной группой. Их исследование значительно отстает от изучения флоры высших сосудистых растений, мохообразных и лишайников. Многие районы России до сих пор с позиции микологии являются «белыми пятнами», что затрудняет оценку биоразнообразия грибов в масштабах страны, а также разработку стратегий сохранения редких и исчезающих видов этой группы. Инвентаризация микобиоты и выявление закономерностей географического распространения грибов остается одной из наиболее актуальных проблем микологии.

Изучение разнообразия агарикоидных базидиомицетов Северного Урала было начато в 2001 г. и проводилось в пределах Печоро-Илычского заповедника. Нахождение на границе Европы и Азии обуславливает своеобразие растительного и животного мира этой территории. В природных ландшафтах здесь встречаются тундровые и лесные виды, элементы западных и восточных флор и фаун. Однако в связи с труднодоступностью этого района разнообразие отдельных групп организмов остается еще недостаточно изученным. Так, данные по агариковым грибам носят отрывочный характер.

В 2011 г. с целью продолжения инвентаризации биоты агарикоидных базидиомицетов западного макросклона Северного Урала проводились экспедиционные работы на хребте Маньхамбо. Гранитный массив Маньхамбо относится к Центральной полосе возвышенностей и располагается на севере Печоро-Илычского заповедника. Эта территория характеризуется довольно суровыми погодными условиями (низкая температура воздуха, короткий теплый период и высокая влажность).

В результате экспедиционных работ на хребте Маньхамбо выявлено 85 видов агарикоидных базидиомицетов, относящихся к 33 родам, 19 семействам и четырем порядкам, из них 23 вида – новые для Северного Урала, 13 – новые для Республики Коми. Ведущими семействами являются *Strophariaceae* (17 видов), *Russulaceae* (12), *Cortinariaceae, Mycenaceae* (по 7), *Amanitaceae, Boletaceae, Tricholomataceae* (по 6), *Inocybaceae* (5). Остальные семейства содержат менее пяти видов. Высокое видовое разнообразие семейства *Strophariaceae,* представленного в основном видами рода *Galerina,* и семейства *Cortinariaceae,* представители которого наиболее широко распространены в бореальной зоне, характеризует биоту исследуемого района как бореальную северотаежную.

Ведущими родами по числу видов являются *Galerina* (8 видов), *Cortinarius, Lactarius* (по 7), *Amanita, Mycena* (по 6), *Russula, Leccinum* (по 5). Обилие видов в родах *Galerina, Cortinarius, Mycena, Lactarius,* представители которых характерны для северных биот, подтверждает бореальный характер изученной микобиоты. Горные черты биоты грибов проявляются в наличии видов горно-тундрового распространения (*Amanita nivalis, Cortinarius septentrionalis, Laccaria pumila, Lactarius torminosulus, Leccinum rotundifoliae, Omphaliaster borealis*).

В районе исследования было найдено несколько редких для России видов. Так, в зарослях ерника довольно часто встречается *Cortinarius septentrionalis*. Этот вид является микоризообразователем с *Betula nana.* В России он отмечен только в горных тундрах Приполярного Урала (Паламарчук, 2011). Вне России этот вид обычен в горах Фенноскандии, также встречается на Аляске и в Гренландии (Bendiksen et al., 1993). Интересна находка редкого для России вида – *Omphaliaster borealis*. Он был собран в горной тундре. Данный вид ранее был отмечен нами на Приполярном Урале (Паламарчук, 2011), имеются находки в Тюменской области (Knudsen, Mukhin, 1998). За пределами России известен в северной Скандинавии, Шпицбергене, Гренландии и Альпах.

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 восемь групп: симбиотрофы (микоризообразователи), сапротрофы на опаде, на подстилке, на гумусе, на древесине (ксилотрофы), на мхах (бриотрофы), лихенизированные грибы и паразиты. При этом около 6% видов могут питаться за счет двух и более субстратов, они включены одновременно в разные трофические группы.

Микоризообразователи лидируют почти во всех голарктических микобиотах, но особенно велика их роль в бореальных лесах умеренной зоны и горных лесах, которые сложены преимущественно древесными растениями, образующими эктотрофную микоризу. В анализируемой микобиоте на их долю приходится 39 видов (43.3% от общего видового разнообразия). Это в основном представители семейств *Russulaceae* (12 видов), *Cortinariaceae* (7), *Amanitaceae* и *Boletaceae* (по 6). Широта специализации у разных видов симбиотрофных грибов различна: 22 вида микоризообразователя вступают в симбиоз только с лиственными деревьями, один –

только с хвойными и 16 видов макромицетов не специализированы в отношении древесной породы.

Среди лиственных пород больше всего микоризообразователей отмечено у березы (12 видов). Это такие виды как, *Leccinum scabrum, L. versipelle, Lactarius fuliginosus, L. glyciosmus, Russula aeruginea, R. claroflava* и др. С различными видами ив микоризу образуют два вида (*Cortinarius cinnamomeoluteus* и *Laccaria pumila*), с карликовой березой – четыре вида (*Amanita nivalis, Cortinarius septentrionalis, Leccinum rotundifoliae* и *Lactarius torminosulus*). Из микоризообразователей с хвойными породами, на хребте Маньхамбо был собран только *Suillus variegatus*. Некоторые выявленные макромицеты не имеют узкой специализации и вступают в симбиоз, как с хвойными, так и с лиственными деревьями. Среди них такие виды как, *Amanita battarrae, A. vaginat f. alba, Cortinarius caperatus, C. stillatitius, Laccaria laccata, Lactarius rufus, Russula xerampelina* и др.

Второй по числу видов трофической группой являются ксилотрофы (18 видов, 20.0%). Дереворазрушающие грибы-сапротрофы поселяются только на мертвой древесине, причем их обычно многолетняя грибница распространяется внутри ствола, а плодовые тела развиваются на его поверхности. Здесь можно встретить такие виды как: *Tubaria confragosa, Mycena abramsii, Pleurotus pulmonarius, Pluteus cervinus, P. petasatus, Kuehneromyces lignicola*, *Pholiota tuberculosa* и др.

Довольно высоко разнообразие бриотрофов (16 видов, 17.8%) – специализированной экологической группы грибов, участвующей в разложении отмерших частей зеленых и сфагновых мхов. Высокий процент биотрофов говорит о значительном развитии мохового яруса растительных сообществ исследуемой территории и подчеркивает бореальный характер биоты. Большинство представителей данной группы относится к семейству *Strophariaceae* (10 видов) и роду *Galerina* (7). Довольно часто можно встретить *Tephrocybe palustris, Galerina cerina, G. clavata, G. paludosa, Hypholoma myosotis, Phaeogalera stagnina, Arrhenia onisca, A. philonotis* и др.

Подстилочные сапротрофы представлены 10 видами (*Entoloma turbidum, Inocybe nappies, Gymnopus dryophilus, G. ocior, Mycena galopus* и др.). Остальные трофические группы (гумусовые сапротрофы, паразиты и лихенизированные грибы) представлены одним-двумя видами.

Характерной особенностью растительного покрова Северного Урала является его вертикальная (высотная) поясность (Корчагин, 1940; Флора и растительность..., 1997). Здесь четко выражены четыре высотных пояса: горно-лесной, подгольцовый, горно-тундровый и пояс холодных гольцовых пустынь (Горчаковский, 1966). Горно-таежные леса покрывают горы от их подножий в среднем до высоты 550 м, ими покрыты также широкие седловины и долины рек, которые разделяют отдельные горные массивы друг от друга. В нижней и средней частях горно-лесного пояса доминируют еловые леса с примесью пихты, березы пушистой и кедра. С высотой доля пихты значительно увеличивается, и с отметки высот от 400 до 550 м над ур. м. в растительном покрове начинают господствовать горные пихтовые леса (Корчагин, 1940; Флора и растительность..., 1997). В горных лесах хребта Маньхамбо было собрано 36 видов агарикоидных базидиомицетов.

На высоте 500-650 м над ур. м. горно-лесной пояс сменяется подгольцовым. Здесь доминируют редколесья и криволесья, сложенные *Betula pubescens*, которые чередуются с фрагментами горных лугов (Корчагин, 1940; Дегтева и др., 2009). В верхней части подгольцового пояса обычны кустарниковые сообщества (преимущественно ивняки и заросли ерника, реже – можжевельника) (Лавренко и др., 1995). В подгольцовых березняках района исследования отмечено 49 видов грибов.

С высоты 600-650 м над ур. м. начинается горно-тундровый высотный пояс, где наиболее распространены моховые, разнотравно-моховые и луговинные тундры. Часто встречаются ерниково-моховые или ерниково-лишайниково-моховые тундры. На пологих склонах и выровненных слабо дренированных плато встречаются сфагновые торфяники. Всего в тундрах хребта Маньхамбо отмечено 20 видов агарикоидных грибов. Выше тундр лежит пояс холодных гольцовых пустынь, представляющий собой поля каменных глыб (Горчаковский, 1966).

Таким образом, полученные нами результаты дополняют сведения о видовом разнообразии агарикоидных базидиомицетов Северного Урала. К настоящему времени здесь выявлено 172 вида, относящихся к 52 родам, 21 семейству и четырем порядкам.

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

Горчаковский П.Л. Флора и растительность высокогорий Урала. Свердловск, 1966. 370 с.

Дегтева С.В., Дубровский Ю.А., Шубина Т.П. Ценотическое и флористическое разнообразие березовых криволесий и редколесий северной части Печоро-Илычского заповедника // Бот. журн., 2009. Т. 94. № 7. С. 1037-1056.

Корчагин А.А. Растительность северной половины Печоро-Илычского заповедника // Труды Печоро-Илычского заповедника. М., 1940. Вып. 2. С. 5-415.

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

Паламарчук М.А. Первые сведения об агарикоидных базидиомицетах Приполярного Урала // Микология и фитопатология, 2011. Т. 45. Вып. 4. С. 337-344.

Флора и растительность Печоро-Илычского биосферного заповедника. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 386 с.

Bendiksen E., Bendiksen K., Brandrud T.E. Cortinarius subgenus Muxacium section Colliniti (Agaricales) in Fennoscandia, with special emphasis on the Arctic-alpine zones // Sommerfeltia, 1993. Vol. 19. P. 1-37.

Knudsen H., Mukhin V.A. The arctic-alpine agaric element in the Polar Urals and Yamal, Western Siberia // Arctic and Alpine Mycology 5: Proc. of the Fifth Intern. Sympos. on Arcto-Alpine Mycology. Yekaterinburg, 1998. P. 152-162.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ *NOSTOC COMMUNE* VAUCH. EX BORN. & FLAH. ГОРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ МЕСТООБИТАНИЙ

А.Д. Патова, И.В. Новаковская[1]
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: patovaanna@gmail.com
[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: novakovskaya@ib.komisc.ru

Цианобактерии/цианопрокариоты/синезеленые водоросли – одни из самых древних фототрофных организмов на Земле. *Nostoc commune* – это широко распространенный вид цианобактерии, образующей микроскопические разрастания размером от нескольких до десятков сантиметров. Встречается как в водных, так и наземных экосистемах. Вид является космополитом, отмечен от полярных пустынь до степных и пустынных районов, осваивает различные экстремальные местообитания и участки, на которых отсутствует растительный покров, часто выступая в качестве ценозообразователя, доминирует не только среди споровых, но и среди сосудистых растений (Патова и др., 2000). Этот вид ностока отмечают на разных видах почв, в большей степени его массовые разрастания приурочены к увлажненным, слабощелочным почвам с высоким содержанием кальция. Как и все гетероцитные виды, *Nostoc commune* является азотфиксатором. Скорости азотфиксации свободно живущих колоний ностока гораздо выше, чем у других цианобактерий и цианобионтных лишайников (Lennihan, Chapin, 1994; Патова и др., 2000). Автотрофия по углероду и азоту, способность произрастать на нарушенных в результате естественных и антропогенных процессов почвах, формировать макроскопические колонии определяют особую роль этого вида в структурно-функциональной организации наземных экосистем.

Доминирование в ценозах, широкое распространение, возможность работы с природными макроколониями обусловили использование данного объекта в качестве модельного специалистами разных стран, занимающихся исследованием морфологических, экологических, физиологических и индикационных характеристик цианобактерий (Scherer et al., 1988; Lennihan, Chapin, 1994; Effect..., 2007 и др.). Широкая экологическая амплитуда вида, способного обитать как в водных условиях, так и наземных, в холодных арктических тундрах и жарких засушливых почвах степей и пустынь, обусловлена, скорее всего, наличием внутри вида эколого-физиологических рас, имеющих морфологические и функциональные различия. Существует предположение, что они обусловлены генетическим полиморфизмом. Учитывая, что у цианобактерий нет полового процесса, на уровне близкородственных таксонов они имеют очень сходные, трудно различимые морфологические признаки. Особенно это характерно для видов из рода *Nostoc*. В связи с этим точная идентификация цианобактерий как в природном материале, так и в культурах вызывает значительные трудности. Для достоверного определения вида необходим учет не только морфологических признаков, но и привлечение молекулярно-генетических методов. В данный момент ведутся исследования, которые направлены на изучение полиморфизма внутри популяций ностока в разных географических зонах (Kviderova et al., 2011).

Цель работы – изучение морфологических и генетических особенностей изолированных популяций *Nostoc commune* из ряда горных и арктических местообитаний. В задачи исследования входили: сбор коллекции ностока из разных географических районов, получение штаммов культур в лабораторных условиях, описание морфологических признаков макроколоний и микроскопического строения талломов (размер клеток, гетероцит), проведение молекулярно-генетического анализа ряда штаммов.

Пробы были собраны в течение 2000-2011 гг. в горных местообитаниях на Полярном и Приполярном Урале, о-ве Шпицберген и Северном Кавказе, Забайкалье, хребте Пай-Хой сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН, Сибирского Института физиологии растений РАН, а также авторами. Для выделения штаммов *Nostoc commune* использовали селективную питательную среду для цианобактерий Bg 11.

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. Морфологические исследования были проведены с использованием микроскопа Nikon Eclipse 80i (Япония) при увеличении в 1 тыс. раз. Проведен статистический анализ полученных данных.

Выделение ДНК из клеток и ПЦР проводили на базе коллективного центра «Молекулярные технологии» Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. Для выделения ДНК брали высушенные чистые колонии ностока. Процесс выделения проходил в четыре этапа (Белых и др., 1999). Первый этап – разрушение клеток и выделение ДНК. Для этого использовали буфер (50 мМ трис-HCl, 100 мМ ЭДТА, 100 мМ NaCl), 1% SDS, трехкратная разморозка и заморозка, протеиназа К. Второй – очистка от макромолекул (использовали фенол, хлороформ); третий – осаждение ДНК, промывка от солей (этанол); четвертый – растворение ДНК в ТЕ-буфере. Для проведения ПЦР применяли реакционную смесь, расчет которой производили исходя из инструкции Encyclo PCR-kit. Для амплификации фрагментов 16S рРНК использовали две пары праймеров: CYA106L CGGACGGGTGAGTAAC GCGTGA, CYA781R GACTACTGGGGTATCTAA TCCCATT.

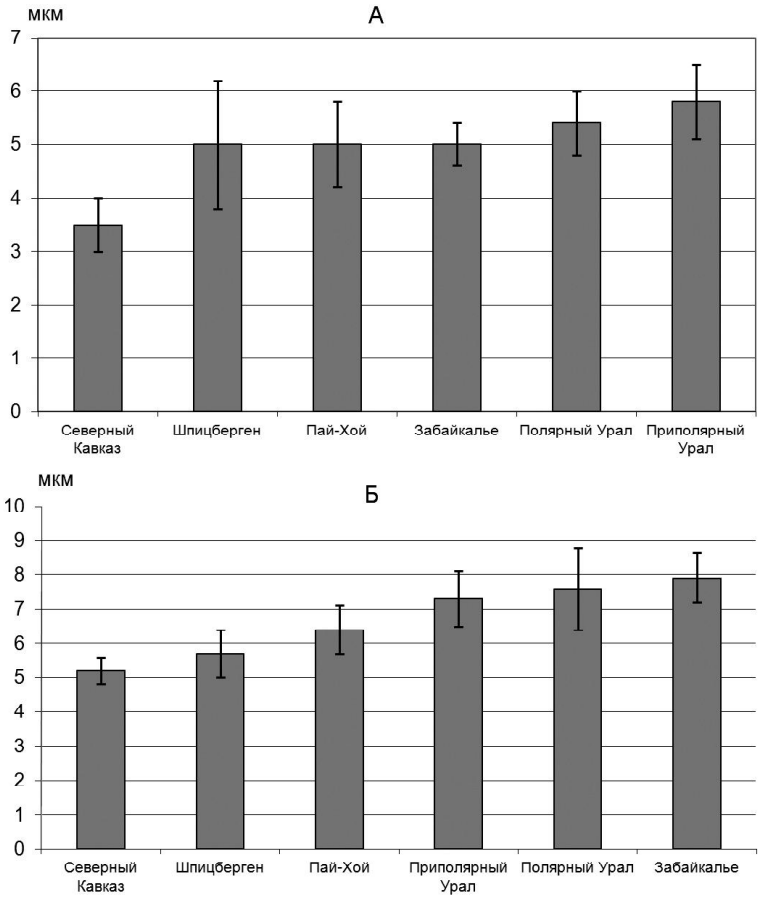


Рис. 1. Морфологические показатели клеток (А) и гетероцит (Б) (в мкм со стандартным отклонением) *Nostoc commune* из разных регионов.

Условия ПЦР: 95 С – 3 мин., 95 С – 30 сек., 58 С – 30 сек., 72 С – 40 сек., брали 35 циклов, 72 С – 3 мин. Продукты амплификации разделяли в агарозных гелях при помощи электрофореза (используется для визуализации продуктов ПЦР). Необходимый ПЦР продукт вырезали с помощью стерильного скальпеля из геля. Для цианопрокариот праймеры фланкируют участок гена длинной 500 пар нуклеотидов. Использовали маркер молекулярного веса (Lambda DNA/PSTL Marker, 24). Секвенирование проводили в фирме «Синтол». Выравнивание последовательностей и построение филогенетических деревьев производили с помощью программы Mega 5.

Проведенные исследования показали, что изученные популяции из разных регионов имели незначительные морфологические отличия по форме колоний, размерам клеток и гетероцит (рис. 1). Морфология макроколоний исследованных популяций ностока, собранных в природе, отличалась по окраске и размеру, которые зависели от степени увлажнения местообитания вида. Самые мелкие колонии (до 3 см в диаметре) были отмечены на о-ве Шпицберген, самые крупные (до 20-30 см) – на Полярном Урале. Для всех регионов колонии, обитающие в водной среде, значительно превышали в размерах колонии, развивающиеся в наземных условиях.

При анализе полученных штаммов ностока, выращенных в одинаковых условиях культивирования, получены следующие данные: макроколонии на агаре имели разную морфологию и окраску. Для популяций ностока на Шпицбергене характерны некрупные талломы, плотно расположенные друг к другу, с небольшим количеством слизи, окраска от прозрачной до темно-зеленой. На Полярном и Приполярном Урале колонии сходны, они некрупные, скученные, коричнево окрашенные, с мелкобугристой поверхностью, с небольшим количеством слизи. Для Забайкалья и Пай-Хоя свойственны самые мелкие колонии, округлой формы, темно-зеленого цвета, с небольшим количеством слизи. Для Северного Кавказа характерно сильное развитие слизистых чехлов, сине-зеленая окраска, распростертость и более крупные размеры колоний.

При изучении штаммов под микроскопом было выявлено, что самые крупные клетки отмечены у популяций ностока, собранных на По-

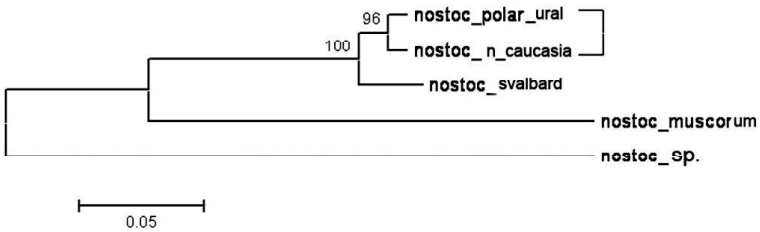


Рис. 2. Филогенетическое древо, построенное на основе последовательности гена 16 S рРНК популяций *Nostoc commune*, цифрами обозначен процент поддержки топологии, шкала – 5% дивергенции последовательности.

лярном и Приполярном Урале, а самые мелкие – у штаммов, выделенных из сборов на Северном Кавказе и Шпицбергене (рис. 1, А), самые крупные гетероциты – на Приполярном Урале и Забайкалье, а мелкие – Шпицбергене и Северном Кавказе (рис. 1, Б). Для всех исследованных популяций характерны свои морфологические особенности в размерах клеток, гетероцит и колоний. При этом четкой зависимости изменения размеров гетероцит и клеток ностока в широтном градиенте не обнаружено.

Молекулярно-генетические исследования, проведенные для трех штаммов *Nostoc commune,* выявили наличие незначительных различий по последовательности гена 16 S рРНК. Получены сиквенсы для трех культур из разных мест обитаний: Полярного Урала, Северного Кавказа и Шпицбергена, а также для двух родственных видов *Nostoc muscorum* и *Nostoc* sp., выделенных из почв Приполярного Урала и Забайкалья. По результатам было построено древо филогенетических взаимосвязей между проанализированными популяциями (рис. 2). Штаммы *Nostoc commune* выделились от двух других видов в отдельный кластер и внутри образовали два кластера. Популяция ностока, выделенная из проб, собранных на о-ве Шпицберген, имеет генотипические различия и отличается по филогенетическому положению от популяций этого вида, собранных на Полярном Урале и Северном Кавказе, которые объединились в общий кластер. Из древа видно, что филогенетическое положение популяций ностока с о-ва Шпицберген более удалено от штаммов Полярного Урала и Северного Кавказа, что связано, скорее всего, с влиянием островной изоляции.

В результате исследования были введены в культуру штаммы *Nostoc commune* с Северного Кавказа, Шпицбергена и впервые с Полярного, Приполярного Урала и Пай-Хоя, которые пополнят живую коллекцию водорослей и цианопрокариот арктических и горных регионов Института биологии Коми НЦ УрО РАН. При проведении морфологического анализа штаммов, выращенных при одинаковых условиях, были обнаружены отличия в строении колоний, размерах клеток и гетероцит. При этом четкой зависимости изменения размеров гетероцит и клеток ностока в широтном градиенте не обнаружено. Выявлен генотипический полиморфизм для исследованных штаммов ностока. В дальнейшем планируется продолжить работу над данным объектом исследований, провести генетический анализ всех полученных штаммов, и изучить физиологические особенности, включая процессы фотосинтеза, дыхания и азотфиксации.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института биологии Коми НЦ УрО РАН Е.Н. Патовой за научное руководство и Д.М. Шадрину за обсуждение результатов, а также сотрудникам центра «Молекулярные технологии» Института биологии внутренних вод РАН А.М. Андреевой, И.П. Рябцевой и Р.А. Федорову за помощь в проведении молекулярно-генетического анализа.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 10-04-01446-а, совместного проекта конкурсных программ научных исследований УрО РАН и СО РАН № 12-С-4-1002 и проекта программы Президиума РАН № 12-П-4-1018.

Литература

Белых О.И., Заика Е.И., Березиков Е.В. Автотрофный пикопланктон озера Байкал // Сиб. эколог. журн., 1999. № 6. С. 631-637.

Патова Е.Н., Гецен М.В., Сивков М.Д. Nostoc commune (Cyanophyta) в тундрах российского сектора Арктики // Бот. журн., 2000. Т. 85. № 1. С. 71-80.

Kviderova J., Elster J., Simek M. Situ response of *Nostoc commune* s.l. colonies to desiccation in Central Svalbard, Norwegian High Arctic // Fottea, 2011. № 11. P. 87-97.

Lennihan R., Chapin D.M., Dickson L.G. Nitrogen fixation and photosynthesis in high arctic forms of *Nostoc commune* // Canadian J. of Botany, 1994. Vol. 72. № 7. P. 940-945.

Effect of Nostoc sp. on soil characteristics, plant growth and nutrient uptake / *Obana S., Miyamoto K., Morita S.* et al. // J. Appl. Phycol., 2007. № 19. P. 641-646.

Scherer S., Chen T.W., Boger P. A new UV-A/B protecting pigment in the terrestrial-cyanobacterium *Nostoc commune* // Plant Physiol., 1988. Vol. 88. P. 1055-1057.

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ РЯБИНЫ РЖАВЧИНОЙ

С.В. Пестов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: pestov@ib.komisc.ru

Одним из важных компонентов экосистем являются фитопатогенные грибы. Они повреждают различные органы растения-хозяина: листья, стебли, корни, цветки. Грибы оказывают огромное влияние на генетическую структуру и динамику численности растительных популяций (Дьяков, 1998). В связи с этим актуально изучение распространения паразитических грибов в экосистемах. К наиболее заметным представителям фитопатогенных грибов относятся ржавчины.

Цель настоящей работы – изучение биоценотической роли ржавчины рябины (*Gymnosporangium cornutum* Arthur ex F. Kern) и условий, определяющих ее численность в экосистемах. Ржавчинный гриб *G. cornutum* широко распространен в Голарктике. Хозяевами этого гриба на спермогониальной и эцидиальной стадиях являются разные представители р. Sorbus и на телейтостадии – р. Juniperus (Parmelee, 1976; Lopes, Martins, 2006). Оба вида хозяев встречаются в подлеске в таежных лесах. Рябина обыкновенная растет в бореальной зоне Европы, отличается большой экологической амплитудой и отмечена в самых разнообразных местообитаниях. Ареал второго хозяина – можжевельника обыкновенного – совпадает с ареалом ржавчинного гриба.

Материал собирали в конце июля–начале августа 2008-2011 гг. в средне и южнотаежных лесах Республики Коми и Кировской области, а также населенных пунктах: пос. Пезмег (Корткеросский р-н Республики Коми), городах Сыктывкар и Киров (табл. 1). Сбор материала проводился в соответствии с ранее принятой нами методикой. На каждом участке отбирали по 10 листьев с 10 растений (100 листьев с участка). Поврежденность листьев выражали в процентах. В лесных фитоценозах южной тайги Кировской области (Оричевский и Кирово-Чепецкий районы) были сделаны геоботанические описания на постоянных пробных площадях (20×20 м). При дальнейшем анализе учитывали следующие характеристики: расстояние пробных площадок от объекта антропогенного воздействия, расстояние от крупных дорог, сомкнутость крон деревьев, общее проективное покрытие (ОПП) мертвого покрова, подроста, подлеска, травяно-кустарничкового яруса, растительности, высота и проективное покрытие рябины и можжевельника.

Поражение рябины ржавчиной в урбанизированной среде (Мингалева и др., 2011; Нестерова, Пестов, 2011) существенно снижается по сравнению с лесными экосистемами (Колосова, Пестов, 2011; Мошарова, Пестов, 2011). По данным Л.Г. Целищевой (2011), на территории заповедника «Нургуш» рябина повреждена ржавчиной сильнее, чем в его охранной зоне. На основании дисперсионного анализа установлены значимые различия поврежденности рябины ржавчиной между участками в Оричевском р-не Кировской области ($F_{участок} = 9.53$, $p = 0.5 \cdot 10^{-5}$; $F_{год} = 1.03$, $p = 0.38$) и г. Сыктывкар ($F_{участок} = 2.58$, $p = 0.09$; $F_{год} = 0.01$, $p = 0.91$), межгодовые различия при этом были не значимы.

Более подробные исследования влияния фитоценотических условий на повреждение рябины ржавчиной проведены в Оричевском р-не Кировской области. Ранее было показано (Мошарова, Пестов, 2011), что рябина наиболее интенсивно повреждается ржавчиной в этом районе в сосновых (66%) и березовых лесах (62) и менее интенсивно – в ельниках (24). Наиболее распространенной лесной формацией являются сосняки (зеленомошные, черничные и брусничные), поэтому более детальный анализ проведен для фитоценозов этого типа. По результа-

Таблица 1

Повреждение (в %) рябины ржавчиной в исследованных районах и объем материала

Район исследований	Год наблюдений				Число участков	Число проб
	2008	2009	2010	2011		
Кировская область (южная тайга)						
Оричевский р-н	–	54.2	57.1	68.9	20	50
Кирово-Чепецкий р-н	–	–	48.4	84.2	5	10
«Нургуш» (заповедник)	–	–	–	51.0	по Л.Г. Целищевой (2011)	
«Нургуш» (охранная зона)	–	–	–	20.0	по Л.Г. Целищевой (2011)	
Город Киров	–	–	0.00	0.20	5	10
Республика Коми (средняя тайга)						
Поселок Пезмег (ельник)	–	97.0	–	–	1	1
Поселок Пезмег (поселок)	–	26.0	–	–	1	1
Город Сыктывкар	3.6	13.1	12.3		10	30

Таблица 2

Влияние фитоценотических характеристик на повреждение рябины ржавчиной в сосновых фитоценозах Оричевского р-на Кировской области

Статистические характеристики регрессии	Свободный член уравнения	Возраст древостоя	Сомкнутость крон, %	ОПП травяно-кустарничкового яруса, %
Множественный R		0.409	0.521	0.644
Множественный R^2		0.167	0.271	0.414
R^2 изменение		0.167	0.104	0.059
F – вкл./искл.		9.629	6.706	4.409
p – уровень значимости		0.003	0.013	0.042
B – коэффициенты в уравнении регрессии	39.741	0.433	–94.047	0.374

там пошагового регрессионного анализа (табл. 2) было установлено, что повреждение рябины ржавчиной связано с возрастом древостоя, сомкнутостью крон и проективным покрытием травяно-кустарничкового яруса, повышается с увеличением возраста древостоя и снижается при уменьшении сомкнутости. Эти три характеристики фитоценоза тесно связаны между собой и закономерно изменяются в ходе сукцессии (Тихонов, 2011): с увеличением возраста насаждения происходит естественное изреживание древостоя и его сомкнутость снижается; при снижении сомкнутости увеличивается освещенность нижних ярусов и усиление потоков воздуха; возрастание освещенности приводит к увеличению проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса. Ведущим фактором в переносе спор ржавчины между растениями является ветер (Kita et al., 2011).

В лесных экосистемах южной тайги Кировской области рябина и можжевельник встречались совместно почти на всех исследованных участках. Максимальное обилие рябины в сосновых фитоценозах отмечено при возрасте древостоя 60 лет (ОПП = 7.5%), при этом ржавчиной повреждены менее 50% листьев. В дальнейшем с увеличением возраста (70 лет и более) древостоя обилие рябины падает и увеличивается поврежденность ее ржавчиной. Можжевельник имеет максимальное обилие при возрасте древостоя 80 лет (ОПП = 3.5%). По мнению Дж. Задокса, «опадение листьев рябины в результате повреждения ржавчиной позволяет развиваться под ее пологом второму хозяину – можжевельнику, который меньше страдает от болезни. Таким образом, двудомный паразит регулирует соотношение своих хозяев» (цит. по: Дьяков, 1998).

Помимо ржавчины листья рябины повреждают различные группы беспозвоночных филлофагов, которые оставляют на листе специфические повреждения (табл. 3). Галлы образуют клещики *Eriophyes sorbi* (Canestrini), минируют листья два вида чешуекрылых *Stigmella nylandriella* (Tengstrom), *Stigmella sorbi* (Stainton). Погрызы делают пилильщик *Pristiphora geniculata* (Hartig) и гусеницы волнянки *Orgyia antiqua* (L.). К сосущим вредителям относится тля *Dysaphis sorbi* (Kaltenbach). Паутинные гнезда формируют пауки, которые являются хищниками и связаны с листьями рябины лишь топическими связями.

В разных экологических условиях и при различном уровне повреждения ржавчиной происходит изменение степени повреждения беспозвоночными-филлофагами и коэффициентов

Таблица 3

Повреждение листьев рябины членистоногими-филлофагами при разном уровне повреждения ржавчиной (Оричевский р-н Кировской области)

Группа повреждений	Повреждение ржавчиной			
	более 50% листьев		менее 50% листьев	
	$x_{ср}$ ± st.err.	r	$x_{ср}$ ± st.err.	r
Галлообразование	0.42±0.24	–0.08	0.94±0.59	0.15
Минирование	55.59±4.13	–0.02	58.18±6.43	–0.33
Грубое объедание*	1.82±0.29	0.24	3.07±0.65	–0.15
Краевые погрызы	42.10±1.83	0.05	39.83±4.14	–0.10
Скелетирование	1.53±0.58	0.17	1.82±0.73	–0.23
Дырчатые погрызы	23.35±1.99	–0.18	22.05±2.27	–0.34
Паутинные гнезда	0.15±0.08	0.01	–	–
Свертывание листьев	1.31±0.35	0.25	2.12±0.80	–0.26
Сосущие вредители*	0.38±0.14	0.00	1.42±0.69	–0.43

Примечание. * значимые различия, $x_{ср}$ ± st.err. – среднее и стандартная ошибка средней, r – коэффициент корреляции между повреждением рябины ржавчиной и членистоногими филлофагами.

корреляции между повреждением рябины вредителями и ржавчиной (табл. 3). Особенно заметные различия характерны для малоактивных групп филлофагов: грубого объедания (*Orgyia antiqua*) и сосущих вредителей (*Dysaphis sorbi*).

Ржавчина *G. cornutum* – широко распространенный представитель фитопатогенных грибов таежных экосистем, развивающийся со сменой хозяев (можжевельник, рябина). В урбанизированной среде рябина существенно ниже подвержена влиянию ржавчины, чем в естественных лесных экосистемах. В лесах южной тайги на поражение рябины ржавчиной влияет комплекс фитоценотических факторов, связанных с возрастом и сомкнутостью древостоя. При разном уровне повреждения ржавчиной коэффициенты корреляции между повреждением рябины некоторыми группами членистоногих-филлофагов и ржавчиной меняются с положительных на отрицательные.

Автор выражает благодарность к.б.н. Е.А. Домниной (кафедра биологии ВятГГУ) за возможность использовать данные геоботанических описаний.

Литература

Дьяков Ю.Т. Популяционная биология фитопатогенных грибов. М., 1998. 381 с.

Колосова Е.С., Пестов С.В. Оценка фитопатологического состояния ассимиляционного аппарата древесных растений в зоне воздействия Кирово-Чепецкого химкомбината // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. IV обл. науч.-практ. конф. Киров, 2011. С. 95-97.

Мингалева Н.А., Пестов С.В., Загирова С.В. Жизненное состояние и биоповреждение листьев деревьев в зеленых насаждений города Сыктывкара // Сибирский экологический журнал, 2011. Т. 18. №. 3. С. 415-425.

Мошарова К.С., Пестов С.В. Мониторинг фитопатологического состояния ассимиляционного аппарата древесных растений в зоне защитных мероприятий объекта «Марадыковкский» // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. IV обл. науч.-практ. конф. Киров, 2011. С. 93-95.

Нестерова А.С., Пестов С.В. Оценка фитопатологического состояния листьев древесных растений в парковых насаждениях города Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. IV обл. науч.-практ. конф. Киров, 2011. С. 149-152.

Тихонов А.С. Лесоведение. Калуга, 2011. 332 с.

Целищева Л.Г. Биоповреждения листьев деревьев и кустарников в заповеднике «Нургуш» и его охранной зоне // Биологический мониторинг природно-техногенных систем. Киров: ООО «Лобань», 2011. Ч. 1. С. 49-54.

Kita W., Pusz W., Dancewicz A. Badania grzybyw z rodzaju Gymnosporangium wystepujacych na *Sorbus aucuparia* L. w Karkonoskim parku narodowym // Postepy w Ochronie Roslin, 2011. T. 51 (1). S. 264-268.

Lopes M., Martins V.C. Notes an a plant parasite fungus in Portugal: *Gymnosporangium cornutum* // Rev. Iberoam Micol, 2006. Vol. 23. P. 192-193.

Parmelee J.A. Gymnosporangium cornutum // Fungi canadensis, 1978. № 117.

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ДАННЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ТРИБЫ *CARDUEAE* CASS. СЕМЕЙСТВА *ASTERACEAE* DUMORT.

Я.И. Пылина, Д.М. Шадрин
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: pylina@ib.komisc.ru

Введение

В настоящее время для изучения филогенетических отношений среди растений как на видовом, так и на родовом уровнях наиболее часто используют участок спейсера ITS1-5.8S-ITS2 рибосомного оперона (Антонов, 2006; Рыжова и др., 2007). Данные последовательности считаются достаточно эффективными для установления таксономической структуры различных семейств и родов, а также применяются для уточнения филогенетических связей между видами.

Триба *Cardueae* Cass. (сем. *Asteraceae* Dumort.) включает по разным источникам от 73 до 83 родов и около 2.5 тыс. видов, которые распространены по всему Земному шару (Haffner, Hellwig, 1999; Бойко, 2012). Работы по исследованию филогении трибы и ее отдельных родов на основе молекулярных данных проводились и ранее (Jacas et al., 2000 и др.), однако остается много нерешенных вопросов.

Цель исследования – проведение филогенетического анализа представителей трибы *Cardueae* сем. *Asteraceae* на основе сравнения нуклеотидных последовательностей ITS1-5.8S-ITS2.

Материалы и методы

Для анализа были взяты образцы растений, принадлежащие 17 видам трибы *Cardueae*, из коллекции БИН РАН (г. Санкт-Петербург), а также собранные на территории европейского северо-востока России.

Выделение ДНК из предварительно высушенных, хорошо измельченных растительных образцов и последующую очистку ДНК осуществляли с помощью набора «DNeasy Plant Mini Kit» (Qiagen, Hilden, Германия) согласно инструкциям производителя. Количество выделенной ДНК и ПЦР-продукта определяли на спектрофотометре Pico200 (United Kingdom). В работе использовали реактивы производства «Beagle» (г. Санкт-Петербург): праймеры ITS5

и ITS4, Taq-полимераза, dNTP, буфер с Mg^{2+}. Амплификацию фрагмента проводили в термоциклере ESCO Swift Mini Pro (Esco, Сингапур) в режиме: денатурация – 40 с при 94 °С; отжиг праймера – 60 с при – 56 °С; элонгация – 90 с при 72 °С с числом циклов 30 и предварительной денатурацией – 4 мин. (95 °С) и финальной элонгацией – 7 мин. при 72 °С. Область ITS1-5.8S-ITS2 амплифицировалась с использованием праймеров
ITS5 (5'-TCGTAACAAGGTTCCCGTAGGTG-3') и ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3').

Нуклеотидные последовательности ITS1-5.8S-ITS2 были получены при помощи системы BigDye (Applied Biosystems) на секвенаторе ABI PRISM 310 Genetic Analyzer (Институт биологии, Сыктывкар). Выравнивание последовательностей, анализ и реконструкцию филогении исследуемых видов проводили при помощи программы MEGA5.0. Для сравнительного анализа были включены известные последовательности ITS1-5.8S-ITS2 представителей трибы *Cardueae* из базы данных Национального центра биотехнологической информации США (GenBank) www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/index.html. Генетические расстояния рассчитывали, исходя из двухпараметрической модели Kimura. Для построения филогенетических деревьев был использован метод объединения ближайших соседей (NJ). Для оценки статистической достоверности филогенетических деревьев использовали коэффициент бутстрэпа, причем достоверно установленными узлами считали те, для которых значение данного коэффициента превышает 70.

Обсуждение результатов

В исследовании были проанализированы последовательности видов трибы *Cardueae*, относящиеся к семи родам *Rhaponticum* Hill., *Serratula* L., *Carduus* L., *Cirsium* Mill., *Acroptilon* Cass., *Centaurea* L. и *Saussurea* DC. Последовательности были получены нами и взяты из базы данных GenBank.

В результате секвенирования получены фрагменты длиной около 680 п.н., которые включают полноразмерную область ITS1-5.8S-ITS2. Длина выровненных и используемых для анализа последовательностей ITS1-5.8S-ITS2 составила 632 п.н. Можно отметить, что число вариабельных и парсимони-информативных сайтов для спейсера ITS1 больше, чем для спейсера ITS2 (см. таблицу). Область гена 5.8S рРНК была весьма консервативной, и для исследованных образцов выявлено девять вариабельных сайтов. В результате анализа последовательностей обнаружены вставки, делеции и замены.

Интерес представляло проведение анализа последовательностей образцов *Serratula coronata* L. и его подвида *S. coronata* subsp. *manshurica* (Kitag.) (= *S. manshurica*). Ранее при сравнительном изучении видов *S. coronata* и *S. manshurica* было выявлено сходство их макро- и микроморфологических признаков, а также полиморфность *S. manshurica* (высота стебля, размер и число корзинок, степень ветвления верхней части стебля) (Зарембо, 2000). Однако обнаруженные различия исследователи сочли недостаточными для признания самостоятельности *S. manshurica* как вида и его отнесли к подвиду *S. coronata*. В результате анализа полученных нами молекулярных данных было идентифицировано пять специфичных замен (четыре транзиции и одна трансверсия), характерных для ITS-областей этих двух образцов, обнаруженных в положениях 26 п.н. (C-T), 28 п.н. (T-C), 135 п.н. (C-T), 248 п.н. (T-A) и 509 п.н. (T-C), отличающих вид *S. coronata* и его подвид *S. coronata* subsp. *manshurica* от других анализируемых нами видов рода *Serratula*. Вместе с тем, последовательности этих двух образцов имели также и свои видоспецифичные замены, которые отличают их друг от друга. Генетическое расстояние (% нуклеотидных замен) между *S. coronata* и подвида *S. coronata* subsp. *manshurica* составило 1.9%, что подтверждает их различие. Сравнительный анализ последовательностей видов *S. coronata*, *S. coronata* subsp. *manshurica* и *S. inermis* Gilib. показал наличие наибольшего числа общих замен в отличие от других представителей этого рода. Анализ нуклеотидного полиморфизма ITS-области других видов рода *Serratula* также позволил выявить свои видоспецифичные нуклеотидные замены, наибольшим числом которых характеризовались образцы *Klasea coriacea* (Fisch. & C.A. Mey.) Holub (12 замен), *S. inermis* (9) и *S. caucasica* Boiss. (7).

Также интересно было проведение сравнительного анализа последовательности вида *Acroptilon repens* (L.) DC. Одни исследователи, согласно результатам исследования морфолого-анатомической структуры плода, подтверждают самостоятельность рода *Acroptilon* Cass. (Бойко, 2012), другие относят данный вид к роду *Rhaponticum*. Проведенный анализ ITS-области

Характеристики ITS1-5.8S-ITS2 – участка у 33 представителей трибы *Cardueae*

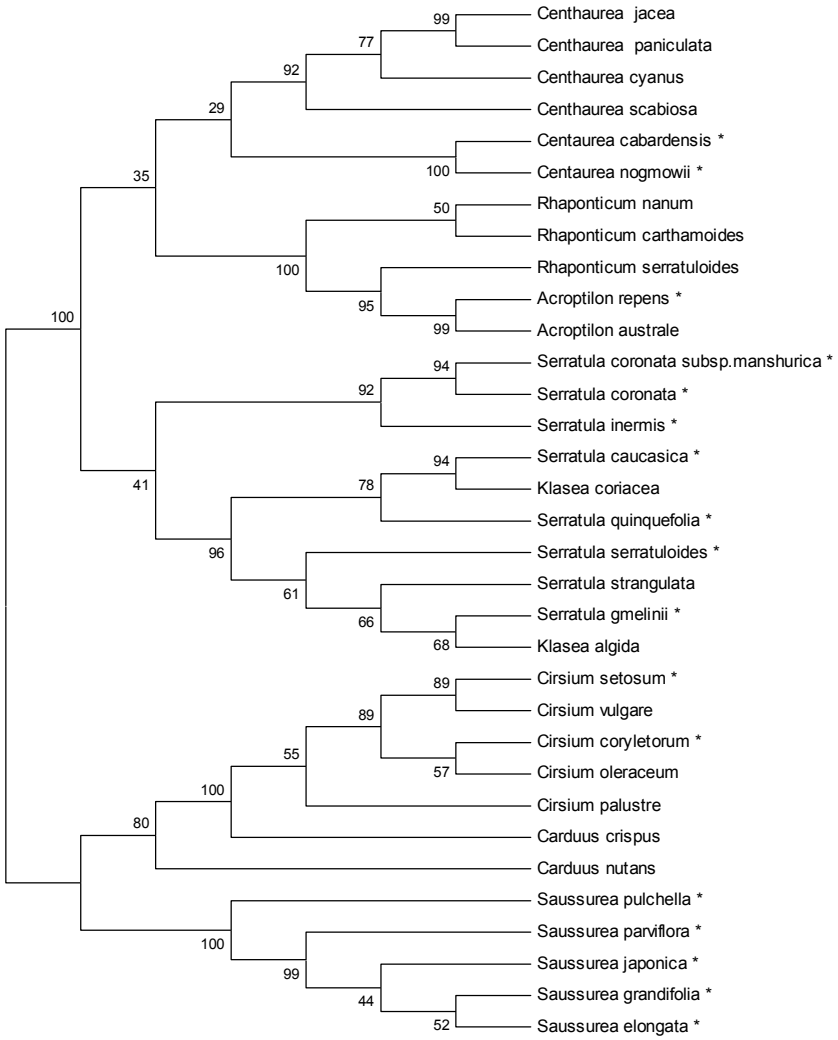
Показатель	ITS1	5.8S	ITS2	Общая
Длина с пробелами, п.н.	258	164	214	632
Длина без пробелов, п.н.	246-255	160-161	196-208	601-619
Число константных сайтов	125	153	113	391
Число вариабельных сайтов	132	9	93	234
Число парсимони-информативных сайтов	96 (37.2%)	3 (1.83%)	58 (27.1%)	157 (24.8%)

последовательностей представителей родов *Acroptilon* и *Rhaponticum* показал наличие общих замен в области ITS1, ITS2, а также в области гена 5.8S (397 п.н. (C-T), 398 п.н. (C-T). Сравнительный анализ молекулярных данных последовательностей вида *Acroptilon repens* и его подвида *A. repens subsp. australe* (Iljiin) Rech. fil. (= *A. australe*) позволил выявить шесть специфичных замен, характерных только для данных последовательностей: область ITS1 – 46 п.н. (G-A), 185 п.н. (A-G), 236 п.н. (C-T); область гена 5.8S – 391 п.н. (A-G); область ITS2 – 436 п.н. (T-C), 452 п.н. (C-T). Отличие между ними определяется только одной заменой в области ITS1 и делецией у последовательности *A. repens* в области ITS2. Генетическое расстояние между видами *A. repens* и другими представителями рода *Rhaponticum* (*R. serratuloides* (Georgi) Bobr., *R. carthamoides* (Willd.) Iljin, *R. nanum* Lipsky) составляет соответственно 5.1, 2.4, 3.5%.

Таким образом, на основе полученных нами молекулярных данных окончательно определить таксономический статус исследуемых образцов пока не представляется возможным.

Было построено филогенетическое древо с использованием метода объединения соседей (Neighbor Joining, NJ) (см. рисунок). На филогенетическом древе исследованные таксоны трибы *Cardueae* распределены в двух кладах: первая из них сформирована видами родов *Saussurea* (5 видов), *Cirsium* (5) и *Carduus* (2); вторая объединила с высокой поддержкой (коэффициент бутстрэпа составил 100%) представителей родов *Serratula* (9 видов), *Rhaponticum* (3), *Acroptilon* (1), *Centaurea* (6). Полученное древо согласуются с известной системой А.Л. Тахтаджяна (1987), согласно которой первая клада объединяет рода подтрибы *Carduinae*, а вторая – рода подтрибы *Centaureinae*. Важно отметить подкладу, объединяющую представителей рода *Serratula* (10 исследуемых нами образцов). На представленном филогенетическом древе наблюдается разделение подклады на две группы видов: первая включает виды *S. coronata, S. coronata* subsp. *manshurica* и *S. inermis*; вторая – *S. gmelinii* Tausch, *S. strangulata, S. quinquefolia* Bieb. ex Willd., *S. serratuloides* (Fisch. & C.A. Mey.) Takht., *S. caucasica*, *S. algida* Iljin и *Klasea coriacea*. Современные исследователи выделяют некоторые виды, прежде отнесенные к роду *Serratula*, в отдельный род *Klasea* Cass. на основании анализа молекулярных данных (Martins et al., 2005). Согласно «Флоре СССР» (1963), род *Serratula* включает семь секций – *Serratula, Mastrucium, Piptochaete, Klasea* (23 вида), *Iljinia, Leuzeopsis, Demetria*. Проведенный нами филогенетический анализ показал неоднозначное разделение по секциям. Например, в первой группе вид *Serratula coronata* относится к секции *Mastrucium*, а *S. inermis* – к секции *Serratula*; во второй группе виды *S. gmelinii*, *S. algida*, *S. quinquefolia, Klasea coriacea* – к секции *Klasea, S. serratuloides* – секции *Leuzeopsis*, *S. caucasica* – секции *Demetria*.

Таким образом, филогенетический анализ на основании сравнения последовательностей ITS1-5.8S-ITS2 представителей трибы *Cardueae* является эффективным для установления таксономической структуры родов и уточнения филогенетических связей, однако для решения некоторых неопределенностей требуются все же



Филогенетическое древо, построенное методом объединения соседей (Neighbor-Joining, NJ) на основе анализа последовательностей ITS1-5.8S-ITS2 у представителей трибы *Cardueae* сем. *Asteraceae*;
* последовательности, полученные в представленной работе).

дополнительные исследования с привлечением иных молекулярных методов и анализа других участков генома.

Литература

Антонов А.С. Геносистематика растений М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 293 с.

Бойко Э.В. Таксономия и ресурсы дальневосточных видов семейства Asteraceae: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток, 2012. 42 с.

Зарембо Е.В. Таксономическое и ресурсоведческое исследование дальневосточных видов трибы Cardueae (сем. Asteraceae): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2000. 25 с.

Рыжова Н.Н., Бурляева М.О., Кочиева Е.А., Вишнякова М.А. Использование ITS-последовательностей для оценки таксономических отношений у представителей трибы Vicieae (Adans.) Bronn сем. Fabaceae Lindl // Генетика популяций и эволюция, 2007. Т. V. № 3. С. 5-14.

Тахтаджян А.Л. Система магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. 439 с.

Флора СССР / Под ред. Е.Г. Боброва, С.К.Черепанова, СПб.-М., 1963. Т. XXVIII. 657 с.

Garcia-Jacas N., Susanna A., Mozaffarian V., Ilarslan R. The natural delimitation of Centaurea (Asteraceae: Cardueae): ITS sequence analysis of the Centaurea jacea group // Plant Syst. Evol., 2000. Vol. 223. P. 185-199.

Haffner E., Hellwig F. Phylogeny of the tribe *Cardueae* (*Compositae*) with emphasis on the subtribe *Carduinae:* an analysis based on ITS sequence data // Willdenowia, 1999. Vol. 29. P. 27-39.

Martins L., Hellwig F.H. relationships of the enigmatic species *Serratula chinensis Serratula forrestii* (Asteraceae–Cardueae) // Syst. Evol., 2005. Vol. 255. P. 215-224.

ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *RUBUS CHAMAEMORUS* L. В РАЗНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

О.А. Рогозина, О.Е. Валуйских[1]
Сыктывкарский государственный университет
[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: valuyskikh@ib.komisc.ru

Одним из основных ресурсных видов сосудистых растений на Севере является морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.). Этот циркумполярный гипоарктический вид в Республике Коми находится в центральной части своего ареала и произрастает в разных типах местообитаний.

Несмотря на то, что *R. chamaemorus* является одним из популярных объектов изучения в разных европейских странах, многие вопросы его биологии требуют уточнения. Известно, что урожайность морошки зависит от множества факторов. Помимо эколого-фитоценотических условий и активности насекомых-опылителей, продуктивность этого вида во многом обусловлена соотношением мужских и женских особей в ценопопуляциях. В связи с этим цель настоящей работы – выявление особенностей половой структуры ценопопуляций *R. chamaemorus* в различных природно-климатических зонах в основной части его ареала на территории Республики Коми.

Материал собран в 2010-2011 гг. в подзоне средней тайги на олиготрофных кустарничково-сфагновых болотах (окрестности г. Сыктывкар), в лесотундре на плоских торфяных буграх и межбугорных понижениях, ерниках (окрестности г. Инта) и на участках ивняково-ерниковой и крупнобугристой тундры (окрестности г. Воркута). Всего исследовано 14 ценопопуляций. При проведении исследований применяли общепринятые методики (Ценопопуляции..., 1976, 1977). Счетная единица – побег.

Известно, что половая структура популяций морошки непостоянна и может варьировать как в разных условиях обитания, так и из года в год (Korpelainen, 1994 и др.). При продвижении из таежной зоны в тундровую в ценопопуляциях изменяется соотношение мужских и женских рамет (в средней тайге – 2:1, в тундре – 1:2), увеличивается плотность размещения побегов (в средней тайге – 78.9 шт./м^2, в тундре – 143). Высокая доля женских рамет свидетельствует о благоприятности климатических или эколого-фитоценотических условий и, согласно Л.С. Белоусовой (1986), соответствует нормальному распределению полов в популяциях морошки. Иногда в заболоченных сосняках в средней тайге отмечали ценопопуляции только с мужскими раметами, что характерно для вида близ южной границы распространения (Мюкхюря, Сушенцов, 2001).

По нашим данным, генеративная способность ценопопуляций (число женских рамет на единицу площади) достигает максимума в тундровой зоне, на торфяных буграх (5-8.7 шт./м^2). В средней тайге этот показатель составил в среднем 2.7 побега на 1 м^2.

Таким образом, при продвижении на север в популяциях *R. chamaemorus* изменяется соотношение мужских и женских рамет, увеличивается плотность размещения побегов и генеративная способность ценопопуляций, что обуславливает более высокую потенциальную продуктивность вида в тундровой зоне.

Литература

Белоусова Л.С. Морфогенез побегов морошки приземистой // Охрана редких растений и фитоценозов. М., 1980. С. 81-91.

Мюкхюря Е.В., Сушенцов О.Е. Исследование локальной изолированной популяции морошки (*Rubus chamaemorus* L.) на южной границе ареала // Популяция, сообщество, эволюция: Матер. докл. V Всерос. популяц. семинара. Казань: Новое знание, 2001. С. 69.

Ценопопуляции растений: Основные понятия и структура. М.: Наука, 1976. 215 с.

Ценопопуляции растений. Развитие и взаимоотношения. М.: Наука, 1977. 183 с.

Korpelainen H. Sex ratios and resource among sexually reproducing plants of *Rubus chamaemorus* // Ann. of Bot., 1994. № 74. P. 627-632.

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ JURINEA CYANOIDES (L.) REICHENB. В ОСТЕПНЕННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. Рябова
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: ryapitschi@yandex.ru

В настоящее время в области охраны окружающей среды особо важное значение имеет мониторинг популяций редких и охраняемых видов растений. Одна из актуальных задач Глобальной стратегии сохранения растений (Global..., 2003) – выявление механизмов и адаптаций, обеспечивающих длительное сохранение отдельных редких видов и растительных сообществ за пределами основных частей их ареалов и природных зон.

На территории Кировской области имеются уникальные остепненные участки сосновых лесов, являющиеся реликтами ксеротермической эпохи послеледникового времени (Соловьев, 1986). Здесь среди сосновых лесов на песчаных дюнах произрастает более 30 видов степных растений: *Gypsophila paniculata* L., *Dracocephalum ruyschiana* L., *Centaurea sumensis* Kalen., *Dianthus arenarius* L., *Dianthus borbasii* Vandas, *Potentilla humifusa* Willd. ex Schlecht., *Astragalus arenarius* L., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. и др.

Объект исследования – наголоватка васильковая (*Jurinea cyanoides* (L.) Reichenb.) из семейства *Asteraceae* Dumort. Это спорадически встречающийся евро-сибирский лугово-, лесостепной вид, распространенный в Центральной и Восточной Европе, Северной Азии (Чернева, 1994) и обладающий дизъюнктивным ареалом. По территории Кировской области проходит северо-восточной граница распространения этого вида.

Цель работы – выявление эколого-биологических адаптаций *J. cyanoides* к условиям северо-востока Европы.

Ценопопуляции *J. cyanoides* изучали в 2004-2011 гг. на особо охраняемых природных территориях Кировской области «Бор на Лобани» (Кильмезский р-н) и «Медведский бор» (Нолинский р-н). В работе использовали площадочные методы учета растительности (Миркин, Розенберг, 1978). Для исследования структуры ценопопуляций закладывали пробные учетные площадки, на которых анализировали морфометрические показатели всех особей. Онтогенез *J. cyanoides* изучали в соответствии с концепцией дискретного описания индивидуального развития, предложенной Т.А. Работновым (1950), дополненной А.А. Урановым (1975).

В Кировской области онтогенез *J. cyanoides* представлен тремя сменяющимися онтобиоморфами (жизненными формами) и тремя фазами морфогенеза: моноподиально-розеточно-стержнекорневые растения с одноглавым каудексом (фаза морфогенеза – первичный (главный) побег); симподиально-розеточно-стержнекорневые растения с многоглавым каудексом (фаза морфогенеза – первичный куст); симподиально розеточно-стержнекорневые с одноглавым каудексом (фаза морфогенеза – «главная ось»).

Сравнение фаз морфогенеза особей *J. cyanoides*, формирующих разные онтобиоморфы, позволило выделить пять вариантов морфогенеза у этого вида.

1. Первичный побег сохраняется в течение всей жизни особи (характерен для моноподиально нарастающих стержнекорневых растений с одноглавым каудексом).

2. Первичный побег → «главная ось» (такой вариант морфогенеза присущ симподиально нарастающим стержнекорневым растениям с одноглавым каудексом).

3. Первичный побег → первичный куст (характерен для симподиально нарастающих стержнекорневых растений с многоглавым каудексом).

4. Первичный побег → «главная ось» → первичный куст (такой вариант морфогенеза возможен при формировании у симподиально нарастающих стержнекорневых растений с одноглавым каудексом двух и более каудикулов).

5. Первичный побег → первичный куст → «главная ось» (характерен при отмирании у симподиально нарастающих растений с многоглавым каудексом всех каудикулов кроме одного, в результате формируется симподиально нарастающая ось, базальный участок которой представлен частью главного побега).

На основе этого выявлено, что онтоморфогенез *J. cyanoides* состоит из 416 логически возможных путей.

Адаптационные механизмы на органном, организменном и популяционном уровнях у *J. cyanoides* отражены в поливариантности онтогенеза. В онтоморфогенезе *J. cyanoides* морфологическая поливариантность проявляется на органном уровне в многообразии морфологических структур особей, смене биоморф на всех этапах индивидуального развития: от ювенильного до сенильного. Поливариантность темпов развития демонстрирует замедленное развитие особей в ювенильном, виргинильном, субсенильном онтогенетических состояниях. Это результат адаптации к факторам биогенной (мохово-лишайниковый покров, растительные конкуренты) и абиогенной (низкая освещенность, произрастание под пологом леса) природы. Для особей генеративного периода, наоборот, характерно ускоренное развитие с выпадениями одного-двух онтогенетических состояний. Отдельные особи минуют стадию генеративного периода. Этому предшествует снижение жизненного состояния особи, обусловленное не оптимальными условиями существования на границе ареала. Такая временная поливариантность реализуется в виде сокращенного (возможен пропуск отдельных состояний или периодов) и неполного онтогенеза (реализуется только часть генетической программы) *J. cyanoides*.

Разные типы поливариантности онтогенеза сочетаются в связи с условиями среды в различных комбинациях. Именно поэтому многообразны пути онтоморфогенеза, что во многом обеспечивает самоподдержание популяции вида на границе ареала, позволяя реализовать семенное возобновление.

Формирование нескольких жизненных форм у *J. cyanoides* является своеобразным механизмом адаптации к произрастанию вблизи пределов распространения. По-нашему мнению, в перигляциальных холодных степях особи *J. cyanoides* были монокарпическими с одним каудексом. Их жизненный цикл был коротким, заканчивался первым цветением, все потенции организма расходовались на образование семян. В дальнейшем, в ходе естественной смены степных ценозов лесными сообществами, эти растения стали формировать многоглавый каудекс. Это позволило особям *J. cyanoides* закрепиться на песчаной почве дюн и стать более устойчивыми в ценозах сосновых лесов.

Ценотическое значение *J. cyanoides* меняется и зависит от ее местообитания и онтогенетического состояния. В виду немногочисленности и слабо выраженной фитоценотической значимости на границе ареала мы относим *J. cyanoides* к виду-ассектатору по классификации В.Н. Сукачева (1928).

Отсутствие конкурентов в растительных сообществах, способность семян прорастать при крайних нижних значениях плюсовых температур ранней весной (конец апреля–начало мая) характеризует данный вид как сезонный эксплерент. В нарушенных фитоценозах, на пожарищах, на границе с антропогенным ландшафтом, по обочинам дорог *J. cyanoides* проявляет себя как демутационный эксплерент. Реактивность *J. cyanoides* как эксплерента проявляется в высокой семенной продуктивности и активном семенном возобновлении. Однако такие особи, массово размножающиеся на песчаных почвах, не образуют больших по площади ценопопуляций, поскольку основная их часть гибнет в прегенеративном состоянии (проростки, ювенильные растения). В условиях зональных сообществ таежной зоны более конкурентоспособные споровые организмы (мхи и лишайники) легко вытесняют *J. cyanoides* из состава растительного сообщества. Особи-эксплеренты этого вида – стержнекорневые моноподиально нарастающие растения с одноглавым каудексом. Как правило, после первого цветения они гибнут, их онтогенез сокращенный, непродолжительный. Главная причина гибели – несформированность почек возобновления, поскольку все потенции организма расходуются на быстрый рост и формирование большого числа семянок. Реактивные особи-эксплеренты *J. cyanoides* доминируют ранней весной и в нарушенных фитоценозах, а в сообществах с хорошо развитой травянистой растительностью и под пологом леса они занимают подчиненное положение.

Большая часть особей этого вида является типичными патиентами, которые характеризуются выносливостью к крайним значениям зоны толерантности на границе ареала. Они произрастают непосредственно под пологом сосновых лесов, на склонах дюн северной экспозиции, в сообществах, где развит мохово-лишайниковый и травянистый покров. Численность и средняя плотность их невелики, устойчивость ценопопуляций поддерживается за счет семенного возобновления и способности длительно находиться в одном и том же онтогенетическом состоянии, ожидая наступления благоприятных условий или создания необходимой биомассы для успешной репродукции ассимилирующей поверхности. Потенциальный оптимум таких растений не совпадает с фактическим. Среди особей *J. cyanoides* патиенты – это стержнекорневые симподиально нарастающие растения с одно- и многоглавым каудексом. Они длительное время удерживают за собой территорию, проростки появляются, как правило, вокруг плодоносящих растений. Толерантность обеспечивается поливариантностью и длительностью онтогенеза, многообразием путей онтоморфогенеза. *J. cyanoides*, как и другие толерантные виды-патиенты, занимает в фитоценозе подчиненное положение.

В ходе индивидуального развития *J. cyanoides* может менять стратегию жизни от толерантной

до реактивной и наоборот. Толерантность проявляется в высокой устойчивости к неблагоприятным условиям, эксплерентность – в возможности быстро реагировать на снижение интенсивности конкурентных отношений и нарушении ценоза, что проявляется в многообразии путей онтоморфогенеза.

Интразональные условия сосновых лесов, сезонные перепады температур, холодные зимы, совместное произрастание с растениями, существенно различающимися по своими эколого-биологическим свойствам, – все это в комплексе определяет поливариантность жизненных стратегий степных растений в лесных сообществах. Многообразие жизненных стратегий сформировалось в ходе филогенеза под влиянием глобальных изменений климата в третичном-четвертичном периодах, при решающем действии степени аридности и чередовании смен лугово-степных и лесных сообществ.

Эколого-биологические адаптации формируются под действием условий среды обитания и морфологических механизмов поддержания гомеостаза популяции.

Литература

Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология: Принципы и методы. М., 1978. 212 с.

Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды Ботанического института АН СССР. Сер. III. Геоботаника. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Вып. 6. С. 5-204.

Соловьев А.Н. Сокровища вятской природы. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во. 1986. 160 с.

Сукачев В.Н. Растительные сообщества (Введение в фитосоциологию). М.-Л.: Книга, 1928. 128 с.

Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки, 1975. № 2. С. 7-34.

Чернева О.В. Обзор видов рода *Jurinea* (*Asteraceae*) флоры Кавказа // Бот. журн., 1994. Т. 79. №. 5. С. 114-126.

Global Strategy for Plant Conservation. Montreal (Canada); Richmond (U.K.), 2003. 15 p.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИИ *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. В ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

Н.А. Семенова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: semenova@ib.komisc.ru

Популяция лишайника *Lobaria pulmonaria* во многих странах Западной Европы за последние десятилетия катастрофически сократилась. Главные причины этого – уничтожение старовозрастных влажных лесов и глобальное аэротехногенное загрязнение воздуха.

В Республике Коми лишайник широко распространен и до настоящего времени его состояние не вызывало опасений. Популяционные исследования лобарии легочной немногочисленны (Gauslaa, 1995; Scheidegger, 1995; Михайлова, 2005; Микрюков, 2010), поэтому изучение особенностей численности и популяционной структуры лишайника в местах его естественного и массового произрастания особенно актуальны.

Исследования проводились в 2004-2005 гг. в двух районах Печоро-Илычского заповедника: в предгорной части в окрестностях кордона Шежим и на Якшинском равнинном участке. В районе кордона Шежим был заложен профиль, состоящий из пяти пробных площадей (ПП) размером 50×30 м в основных элементах ландшафта, в наиболее типичных местообитаниях. Он располагался по катене от поймы р. Печора до коренного берега в пойменном ивняке крупнотравном (одна пробная площадь), в елово-пихтовом лесу чернично-крупнопапоротниковом (2), в пойменном ельнике чернично-зеленомошном (1) и в заболоченном ельнике сфагновом (1). В окрестностях пос. Якша было заложено два профиля по 50 м в ельнике чернично-зеленомошном.

Для изучения структуры и численности популяции *Lobaria pulmonaria* на каждой ПП и на профиле проводили подсчет всех деревьев с лишайником. Всего обследовано 892 таллома лобарии на 17 деревьях (10 берез, пять ив, одна рябина и одна ель). На стволе от основания до 2 м фиксировались все особи популяции размером 5 мм и более, измеряли горизонтальный и вертикальный размеры таллома. Затем все талломы собирались и в лабораторных условиях с использованием палетки с размерами ячеек 1×1 и 0.1×0.1 см измеряли площадь таллома, определяли онтогенетическое состояние в соответствии с разработанной нами классификацией (Семенова, 2005).

Совокупность талломов лишайника, произрастающих на одном стволе, обозначили как субпопуляция, в пределах одного фитоценоза – ценопопуляция, в пределах одного района исследования – локальная популяция (Михайлова, 2005).

В результате исследований было установлено, что в онтогенетическом спектре обеих локальных популяций преобладают особи виргинильного 2b состояния (рис. 1). Высока доля особей имматурного 2 состояния, 19% – в якшинских локальных популяциях и 23% – в шежимских. Незначительно участие в онтоге-

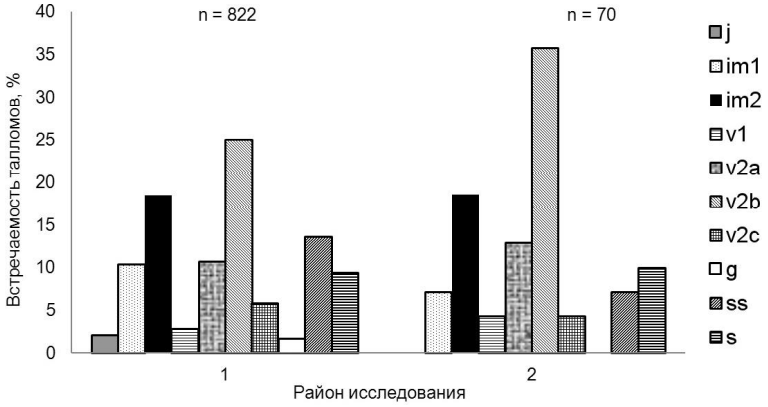


Рис. 1. Возрастной спектр популяций *Lobaria pulmonaria* в Печоро-Илычском заповеднике.

Примечание. Здесь и далее: 1 – кордон Шежим, 2 – окрестности пос. Якша, n – объем выборки.

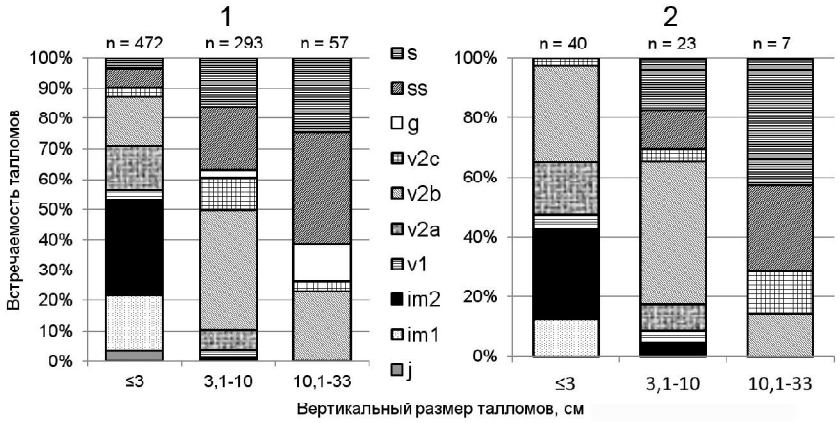


Рис. 2. Зависимость спектра онтогенетических состояний от горизонтального размера таллома в локальных популяциях в Печоро-Илычском заповеднике.

нетическом спектре особей виргинильного 1 и виргинильного 2c состояний в обеих локальных популяциях, вероятно, объясняется достаточно быстрым прохождением в онтогенезе лишайника первой стадии и редкой встречаемостью особей второй. В локальных популяциях Шежима по сравнению с якшинскими высока доля субсенильных талломов. Основную массу талломов субсенильного онтогенетического состояния в шежимской локальной популяции составляют небольшие талломы с горизонтальным размером до 7 см (65% от общего числа субсенильных особей), произрастающие под лопастями более крупных талломов, из них 37% не имеют изидий. Недостаток света приводит к разрушению хлорофилла в водорослевом слое «молодых» талломов, а затем к образованию некротических пятен и отмиранию лишайника.

Не все спектры онтогенетических состояний исследованных популяций являются полночленными. В популяциях, произрастающих в окрестностях пос. Якша, отсутствуют ювенильные и генеративные особи.

Во всех популяциях с увеличением горизонтального размера таллома происходит закономерное изменение спектра: доминирование талломов имматурных и виргинильных состояний постепенно меняется на преобладание субсенильных и сенильных особей (рис. 2). Ювенильные и имматурные 1 талломы отмечены только в наименьших размерных интервалах (не более 3 см). Горизонтальный размер особей виргинильного 2a состояния не превышает 8 см. Талломы виргинильного 2b состояния представлены во всех размерных группах.

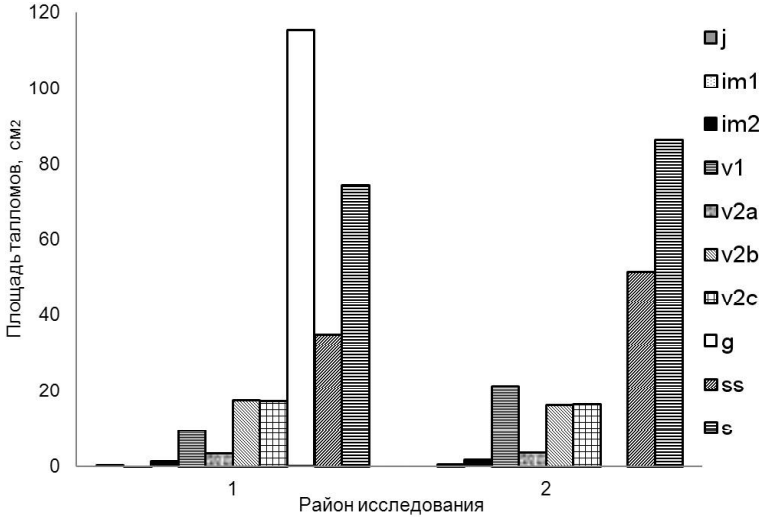


Рис. 3. Изменение площади талломов *Lobaria pulmonaria* в онтогенетических состояниях в локальных популяциях в Печоро-Илычском заповеднике.

Изучение площади талломов *L. pulmonaria* различных онтогенетических состояний показало, что ее значение максимально у особей генеративного состояния (рис. 3). В ss и s состояниях шежимской локальной популяции площадь заметно уменьшается.

Таким образом, анализ размерной и возрастной структур популяций лобарии легочной, произрастающих в Печоро-Илычском заповеднике, свидетельствует о том, что:

1. В онтогенетическом спектре обеих локальных популяций преобладают виргинильные особи.

2. Спектр онтогенетических состояний популяции в предгорной части заповедника является полночленным. В условиях равнины – спектр неполночленный, отсутствуют ювенильные и генеративные особи.

Литература

Микрюков В.С. Динамика и пространственно-генетическая структура лишайникового симбиоза в популяциях *Lobaria pulmonaria* // Экология от южных гор до северных морей: Матер. конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2010. С. 107-114.

Михайлова И.Н. Анализ субпопуляционных структур эпифитных лишайников (на примере *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) / Популяции в пространстве и времени: Матер. VIII Всерос. популяц. семинара // Вестн. ННГУ, 2005. № 1 (9). С. 124-134.

Семенова Н.А. Критерии для выделения онтогенетических состояний лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Th. Fr. // Актуальные проблемы биологии и экологии: Тез. докл. XII молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2005. С. 212-213.

Gauslaa Y. The Lobarion epiphytic community of ancient forests threatended by acid rain // Lichenologist, 1995. Vol. 27 (1). P. 59-764.

Scheidegger C. Early development of transplanted isidioid soredia of Lobaria pulmonaria in an endangered population // Lichenologist, 1995. Vol. 27. P. 361-374.

ФЛОРА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. Филиппов
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: philippov_d@mail.ru

Одним из наиболее мощных антропогенных факторов, вызывающих структурно-механические нарушения болотных экосистем, является осушение, которое проводится либо с целью последующей торфодобычи, либо для создания культивируемых сельскохозяйственных угодий. Первые попытки добычи торфа в Вологодской области начались еще в 1890-х гг. (Эйхе, 1922), в промышленных масштабах – в 1930-1935-е гг. К середине XX в. ежегодные объемы торфодобычи достигали 300-350 тыс. т, в 1970-е – свыше 3 млн. т, в начале текущего столетия они резко сократились до 30-50 тыс. т в год (Оценка..., 2003). За истекший период разрабатывалось (преимущественно для целей сельского хозяйства) более 400 торфяных месторождений, а ресурсы свыше 60 болот площадью более 10 га полностью выработаны (Филиппов, 2007). В настоящее время на территории области продолжают добычу лишь несколько предприятий.

Выработанными торфяниками (далее ВТ) называют торфяные болота, на которых закончилась добыча торфа. Они сосредоточены, в основном, вблизи населенных пунктов и, как правило, не используются, не рекультивируются и достаточно часто горят. В краеведческой литературе (Филиппов, 2010) нам не удалось найти работ, посвященных изучению биоразнообразия и экологических особенностей ВТ.

В 2010-2011 гг. автором были организованы и проведены полевые исследования флоры сосудистых растений ВТ центральной части Вологодской области (Вологодский, Сокольский, Сямженский и Усть-Кубинский районы). Всего было обследовано восемь торфяников: 1) в окрестностях дер. Пески (59°47′15″ с.ш., 39°00′01″ в.д., Вологодский р-н); 2) в окрестностях дер. Гоманиха (Усть-Кубинский р-н, 59°41′45″ с.ш., 39°35′78″ в.д.); 3) в окрестностях пос. Лоста (Вологодский р-н, 59°11′06″ с.ш., 39°58′76″ в.д.); 4) в окрестностях дер. Маега (там же, 59°17′75″ с.ш., 39°57′75″ в.д.); 5) в окрестностях дер. Ведрово (там же, 59°19′11″ с.ш., 40°03′31″ в.д.); 6) Пельшемские Дачи (Сокольский р-н, 59°27′97″ с.ш., 40°22′64″ в.д.); 7) в окрестностях дер. Алферовская (Сямженский р-н, 59°55′75″ с.ш., 40°59′72″ в.д.); 8) в окрестностях. дер. Пешковская (там же, 59°56′11″ с.ш., 41°08′34″ в.д.).

В ходе маршрутно-ключевых исследований для каждого торфяника составлялись флористические списки, проводилась гербаризация растений, выполнялись геоботанические описания. Для уточнения правильности определения ряда видов автор обращался к А.Б. Чхобадзе, к.б.н. Т.А. Сусловой и А.Н. Левашову (ВГПУ). Сборы в объеме 350 листов переданы на хранение в гербарий кафедры ботаники Вологодского государственного педагогического университета и в гербарий ИБВВ РАН (IBIW). В результате работы был составлен предварительный список сосудистых растений, который и послужил основой для проведения анализа. Названия растений приводятся в основном по работе Н.Н. Цвелева (2000).

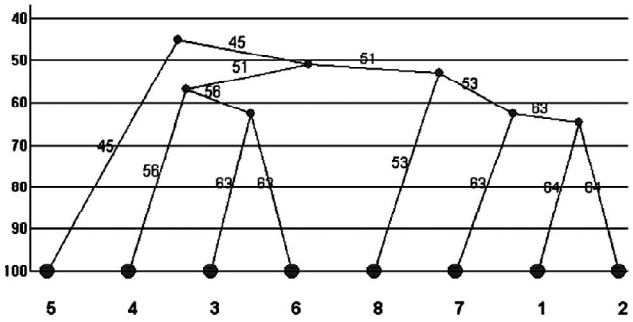
Флору ВТ мы рассматриваем как парциальную в типологическом понимании, т.е. фактически как флору экотопа (Юрцев, 1994). В связи с тем, что данное исследование носит предварительный характер и учитывая, что ВТ являются техногенным этапом освоения болот абсолютно разных типов (как верховых, так переходных и низинных), то для сравнительного анализа в работе используются материалы по флоре естественных болот всех типов болотных участков (на текущий момент она насчитывает 292 вида из 153 родов и 67 семейств). Вероятно, этот подход дает лишь общее представление о своеобразии флоры ВТ, поэтому полученные предварительные закономерности будут скорректированы (при накоплении и анализе большего объема материала) в дальнейших работах.

На ВТ центральной части Вологодской области обнаружено 272 вида сосудистых растений (включая гибриды, адвентики и выходцы из культуры). Виды принадлежат к 180 родам, 64 семействам, шести классам и пяти отделам: *Equisetophyta* (четыре вида, один род, одно семейство), *Lycopodiophyta* (1, 1, 1), *Polypodiophyta*

(5, 4, 3), *Pinophyta* (3, 3, 2), *Magnoliophyta* (259, 171, 57). Подавляющее большинство видов (95.2%) относятся к цветковым растениям, из них двудольными являются 194 вида, соответственно однодольными – 65. Относительная малая доля однодольных отличает флору торфяников от болотной и водной флор, сближая ее с луговой и лесной. В отличие от флоры естественных болот для ВТ характерно увеличение среднего числа родов в семействе (с 2.29 до 2.81) и уменьшение соотношений числа видов в семействе (с 4.36 до 4.25) и видов в роде (с 1.91 до 1.51).

Ведущее положение во флористическом спектре сосудистых растений занимают семейства, содержащие от восьми до 33 видов. Наибольшим видовым богатством отличаются семейства *Asteraceae* (33 вида), *Cyperaceae* (22), *Poaceae* (20), *Rosaceae* (17), *Fabaceae* (12), *Caryophyllaceae* (11), *Salicaceae* (10), *Apiaceae* и *Polygonaceae* (по 9), *Lamiaceae* (8). В состав 10 ведущих семейств входит 55.5%, отмеченных на ВТ видов, что чуть ниже, чем во флоре болот (57.5%). Остальные 54 семейства включают один-семь видов. В целом, при осушении происходит укрепление положения «луговых» семейств, в частности, *Asteraceae* (с 12 видов до 33), *Rosaceae* (с 11 до 17), *Fabaceae* (с 1 до 12), *Caryophyllaceae* (с 8 до 11) и ослабление роли семейств, богатых видами болотного флороценотического комплекса: *Cyperaceae* (с 53 до 22), *Orchidaceae* (с 21 до 4), *Salicaceae* (с 17 до 10), *Ericaceae* (с 9 до 5). Также необходимо отметить, что обилие и фитоценотическая значимость видов болотного флороценотического комплекса (как впрочем, и разнообразие мохообразных) на ВТ резко снижается.

Родовая насыщенность ведущих семейств флоры ВТ значительно выше, чем таковая для естественных болот (101 вид, 56.1% и 73 вида, 47.7% соответственно). Осушение и торфодобыча приводят к увеличению количества родов в семействах *Asteraceae* (с 10 до 24), *Poaceae* (с 12 до 16), *Rosaceae* (с 8 до 11), *Apiaceae* (с 5 до 9), *Brassicaceae* (с 2 до 6), *Fabaceae* (с 1 до 6), а также уменьшению их числа в семействах *Orchidaceae* (с 12 до 2), *Cyperaceae* (с 8 до 6) и *Ericaceae* (с 7 до 4).



Дендрограмма, отражающая сходство флор выработанных торфяников: 1 – окрестности дер. Пески; 2 – окрестности дер. Гоманиха; 3 – окрестности пос. Лоста; 4 – окрестности дер. Маега; 5 – окрестности дер. Вёдрово; 6 – Пельшемские Дачи; 7 – окрестности дер. Алфёровская; 8 – окрестности дер. Пешковская.

На уровне родов более высокое видовое богатство отмечается для *Carex* (16 видов); *Salix* (9); *Galium* (6); *Cirsium, Equisetum, Juncus, Potentilla, Ranunculus, Trifolium, Viola* (по 4). На их долю приходится 21.7% флоры ВТ. Еще девять родов содержат по три вида и 24 рода – по два. В отличие от флоры естественных болот увеличивается количество моновидовых родов (с 108 до 137).

На исследуемых болотных массивах были обнаружены популяции 13 видов, внесенных в Красную книгу Вологодской области (2004). Из них два потенциально уязвимых вида – 3/NT (*Baeothryon alpinum*, *Dactylorhiza cruenta*), два вида, требующих внимания – 3/LC (*Carex pseudocyperus*, *Huperzia selago*) и девять видов – биологического контроля (*Botrychium lunaria*, *Carex capillaris*, *Convallaria majalis*, *Gymnadenia conopsea*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Ophioglossum vulgatum*, *Platanthera bifolia*, *Sparganium natans*, *Typha angustifolia*). Из 13 перечисленных видов лишь пухонос альпийский и осока ложносытевая активно участвуют в ценозообразовании, остальные отмечены на одном или двух болотах в единичных экземплярах. Следовательно, получается, что осушение и торфодобыча приводят к сокращению не только количества редких растений (с 72 видов для болот разных типов до 13 для торфяников), но и их обилия и жизненности. При этом из флоры выпадают 36 из 44 видов болотного флороценотического комплекса, значительная часть редких видов низинных и переходных типов болот, а также полностью исчезают охраняемые виды, характерные для верховых болот.

На каждом отдельном ВТ было обнаружено от 95 до 120 видов. Для сравнительного анализа флор в программном модуле «GRAPHS» (Новаковский, 2004) с использованием коэффициента общности видового состава Съеренсена-Чекановского (Ksc) была построена дендрограмма.

При относительном сходстве изученных флор (Ksc = 0.45–0.64) четко прослеживается разделение анализируемой выборки на две группы: первая (№ 3, 4, 6) приурочена к торфяникам Присухонской низменности (южная подзона тайги); торфяники же второй группы (№ 1, 2, 7, 8) располагаются в подзоне средней тайги или на самой границе средней и южной. Обособленное положение на дендрограмме имеет лишь флора Пельшемских Дач (№ 5). Это можно объяснить либо недавним окончанием добычи торфа на нем (около пяти лет назад), либо промежуточным географическим положением Пельшемских Дач между торфяниками первой (более южной) и второй (более северной) группами. Таким образом, можно предварительно заключить, что специфику флоры ВТ определяют в основном виды, характерные не для определенного типа местообитаний, а для ландшафтов данной подзоны тайги.

Зарастание ВТ происходит довольно медленно и в различных направлениях. Так, на торфяных полях формируются луговые ценозы (с большой долей сорных видов на начальных этапах), вдоль канав успешно развиваются ивово-березовые и лугово-болотные травяные сообщества, а в канавах – водные и водно-болотные (евтрофного типа). Схожие закономерности восстановления растительности ранее установлены для ВТ Тверской области (Веселов, Панов, 2005). При повышении уровня грунтовых вод на ВТ, путем перегораживания магистральных канав человеком или бобрами, происходит замещение луговых сообществ травяными и травяно-моховыми болотными.

Автор выражает благодарность В.А. Филиппову за помощь в проведении полевых исследований, А.Б. Чхобадзе за помощь в камеральной обработке материала, И.В. Филоненко за предоставленный картографический материал.

Литература

Веселов Н.В., Панов В.В. Естественное восстановление растительности на выработанных болотах южной тайги (на примере Тверской области) // Бот. журн., 2005. Т. 90. № 12. С. 1847-1857.

Красная книга Вологодской области. Т. 2. Растения и грибы / Отв. ред. Т.А. Суслова и Г.Ю. Конечная. Вологда, 2004. 359 с.

Новаковский А.Б. Возможности и принципы работы программного модуля «GRAPHS». Сыктывкар, 2004. 28 с. (Сер. Автоматизация науч. исследований / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 27).

Оценка состояния и перспективы развития минерально-сырьевой базы торфа и сапропеля Вологодской области (отчет в трех книгах). СПб., 2003. Кн. 1. 139 с. (Фонд. материалы Департамента природ. ресурсов Вологод. обл.; Инв. № 758).

Филиппов Д.А. Антропогенные сукцессии болотных экосистем на водосборах таежной зоны европейского Севера // Антропогенные сукцессии водосборов таежной зоны: биоиндикация и мониторинг. Вологда, 2007. С. 56-64.

Филиппов Д.А. Растительный покров, почвы и животный мир Вологодской области (ретроспективный библиографический указатель). Вологда, 2010. 217 с.

Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений северо-западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб., 2000. 781 с.

Эйхе Э.П. Торф и торфяной вопрос в Вологодской губернии // Материалы по изучению и использованию производственных сил Северного Края. Вологда, 1922. Вып. III. С. 110-135.

Юрцев Б.А. О некоторых дискуссионных вопросах сравнительной флористики // Актуальные проблемы сравнительного изучения флор. СПб., 1994. С. 15-33.

ПЕЧЕНОЧНИКИ СОЙДОЗЕРСКОГО ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ (ВЫТЕГОРСКИЙ РАЙОН, ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.А. Филиппов, М.В. Дулин*
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: philippov_d@mail.ru
* Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: dulin@ib.komisc.ru

Настоящая работа является продолжением ранее начатых исследований гепатикофлоры Вологодской области (Dulin et al., 2009 и др.) и посвящена изучению видового разнообразия печеночников окрестностей оз. Сойдозеро и верхнего течения р. Сойда, расположенных на Андомской возвышенности в границах Вытегорского р-на. Данная местность является слабо изученной в бриологическом отношении. Известно, что на Андомской возвышенности (в окрестностях оз. Круглое) в 2002 г. проводила сборы сфагновых мхов и печеночников Е.Н. Андреева, но ее материалы не дают целостного представления о флоре территории, поскольку опубликованы не в полном объеме (Красная книга..., 2004; Андреева, Кармазина, 2009).

Комплексный (ландшафтный) государственный природный заказник «Сойдозерский» (далее – Сойдозерский ЛЗ) был создан согласно решениям Исполнительного комитета Вологодского областного Совета народных депутатов № 602 от 31.10.1983 г. и № 375 от 05.08.1985 г. с целью сохранения эталона лесных природных комплексов Мегорско-Андомского ландшафтного района, самого крупного на Андомской возвышенности озера (Сойдозеро), коренных среднетаежных ельников в истоках р. Сойда, редких и охраняемых видов растений и животных. Площадь ЛЗ составляет 2249 га (Особо охраняемые..., 1993).

Основная задача данной работы – оценить таксономическое разнообразие и выявить особенности флоры печеночников Сойдозерского ЛЗ и его окрестностей.

В августе 2010 и 2011 гг. Вологодским региональным отделением Русского географического общества были организованы шести-восьмидневные российско-финляндские полевые семинары-экспедиции с целью изучения биологического разнообразия ключевых участков Андомской возвышенности (61°26′–61°27′ с.ш., 37°23′– 37°34′ в.д.). В 2010 г. были обследованы территория Сойдозерского ЛЗ, участки в окрестностях р. Сойда, оз. Лайнозеро и болото Ильинское. В 2011 г. повторно обследовались окрестности р. Сойда и оз. Лайнозеро, а также ручьи Белый и Гантанручей и их долины, несколько крупных болот, включая Тарбазболото и Веняболо-

то. Основное внимание было уделено сохранившимся приручьевым ельникам, сфагновым болотам, водным и прибрежно-водным типам местообитаний, вырубкам, дорогам и карьерам. Сборы печеночников были выполнены традиционным маршрутно-ключевым методом Д.А. Филипповым. Обработка и определение коллекций проводились в лабораторных условиях с использованием общепринятых в бриологии методов М.В. Дулиным. Всего было собрано и изучено около 120 образцов. Большая часть коллекции хранится в Гербарии ИБВВ РАН (IBIW), дублеты переданы в Гербарий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO).

Обработка гербарных сборов позволила привести в данной работе список видов печеночников Сойдозерского ЛЗ и его окрестностей. Номенклатура и расположение таксонов соответствуют «Списку печеночников России» (Konstantinova et al., 2009). Для ряда видов приведены синонимы. Новые виды для Вытегорского р-на обозначены звездочкой (*).

Список видов печеночников Сойдозерского ЛЗ и его окрестностей

Отдел MARCHANTIOPHYTA
Класс Marchantiopsida
I. *Blasiaceae*: 1) *Blasia pusilla* L.;
II. *Marchantiaceae*: 2) *Marchantia polymorpha* L. subsp. *polymorpha* (= *M. aquatica*), и M. *polymorpha* subsp. *ruderalis* Bischl. & Boissel.-Dub. (= *M. stellata*, *M. polymorpha* auct. non L.);
Класс Jungermanniopsida
III. *Pelliaceae*: 3) *Pellia neesiana* (Gottsche) Limpr.;
IV. *Fossombroniaceae*: 4) **Fossombronia foveolata* Lindb.;
V. *Aneuraceae*: 5) *Aneura pinguis* (L.) Dumort.; 6) * *Riccardia chamaedryfolia* (With.) Grolle; 7) *R. latifrons* (Lindb.) Lindb.;
VI. *Radulaceae*: 8) *Radula complanata* (L.) Dumort.;
VII. *Ptilidiaceae*: 9) *Ptilidium pulcherrimum* (Weber) Vain.;
VIII. *Pseudolepicoleaceae*: 10) *Blepharostoma trichophyllum* (L.) Dumort.;
IX. *Lepidoziaceae*: 11) *Lepidozia reptans* (L.) Dumort.;
X. *Lophocoleaceae*: 12) *Chiloscyphus pallescens* (Ehrh. ex Hoffm.) Dumort.; 13) *Lophocolea heterophylla* (Schrad.) Dumort.;
XI. *Plagiochilaceae*: 14) **Plagiochila asplenioides* (L. emend. Taylor) Dumort.; 15) *P. porelloides* (Torrey ex Nees) Lindenb.;
XII. *Cephaloziaceae*: 16) *Cephalozia bicuspidata* (L.) Dumort.; 17) **C. lunulifolia* (Dumort.) Dumort.; 18) **C. macounii* (Austin) Austin; 19) *C. pleniceps* (Austin) Lindb.;
XIII. *Odontoschismataceae*: 20) *Cladopodiella fluitans* (Nees) H.Buch;
XIV. *Scapaniaceae* s.l.: 21) **Anastrophyllum michauxii* (F.Weber) H.Buch; 22) **Barbilophozia hatcheri* (A.Evans) Loeske; 23) **B. lycopodioides* (Wallr.) Loeske; 24) **Crossocalyx hellerianus* (Nees ex Lindenb.) Meyl.; 25) **Gymnocolea inflata* (Huds.) Dumort.; 26) **Isopaches bicrenatus* (Schmidel ex Hoffm.) H.Buch; 27) **Lophozia ascendens* (Warnst.) R.M.Schust.; 28) **L. guttulata* (Lindb. & Arnell) A.Evans; 29) *L. silvicola* H.Buch; 30) **L. ventricosa* (Dicks.) Dumort. var. *ventricosa* и **L. ventricosa* var. *longiflora* (Nees) Macoun; 31) **Lophoziopsis longidens* (Lindb.) Konstant. & Vilnet; 32) **Obtusifolium obtusum* (Lindb.) S.W.Arnell; 33) **Orthocaulis attenuatus* (Mart.) A.Evans; 34) **Scapania curta* (Mart.) Dumort.; 35) *S. irrigua* (Nees) Nees; 36) *S. subalpina* (Nees ex Lindenb.) Dumort.; 37) **S. umbrosa* (Schrad.) Dumort.; 38) *S. undulata* (L.) Dumort.; 39) **Schistochilopsis incisa* (Schrad.) Konstant.; 40) *Schljakovia kunzeana* (Huebener) Konstant. & Vilnet;
XV. *Myliaceae*: 41) *Mylia anomala* (Hook.) S.Gray;
XVI. *Calypogeiaceae*: 42) **Calypogeia integristipula* Steph.; 43) *C. muelleriana* (Schiffn.) K.Mull.; 44) *C. sphagnicola* (H.Arnell et J.Perss.) Warnst. et Loeske; 45) **C. suecica* (H.Arnell et J.Perss.) K.Mull.;
XVII. *Solenostomataceae*: 46) **Nardia geoscyphus* (De Not.) Lindb.;
XVIII. *Geocalycaceae*: 47) **Harpanthus flotovianus* (Nees) Nees;
XIX. *Gymnomitriaceae*: 48) **Marsupella sphacelata* (Gieseke ex Lindenb.) Dumort.

В результате проведенных исследований установлено, что в Сойдозерском ЛЗ и его окрестностях произрастает 48 видов печеночников (48% гепатикофлоры области и 76 – Вытегорского р-на), относящихся к отделу Marchantiophyta, двум классам (Marchantiopsida – два вида и Jungermanniopsida – 46), восьми порядкам, 19 семействам и 32 родам. Наиболее богатым по количеству видов и родов в анализируемой флоре является семейство *Scapaniaceae* s.l. (12 родов, 20 видов), что в целом характерно для большинства северных флор и объясняется широким распространением его представителей на севере Голарктики. Все остальные семейства, кроме *Calypogeiaceae* и *Cephaloziaceae* (по 1, 4), *Aneuraceae* (2, 3), *Lophocoleaceae* (2, 2) и *Plagiochilaceae* (1, 2), относятся к группе одновидовых. Ведущими по числу видов родами являются *Scapania* (5 видов), *Calypogeia*, *Cephalozia* и *Lophozia* (по 4).

Наши исследования позволили выявить восемь новых для Вологодской области видов: *Anastrophyllum michauxii*, *Cephalozia macounii*, *Fossombronia foveolata*, *Harpanthus flotovianus*, *Marsupella sphacelata*, *Orthocaulis attenuatus*, *Riccardia chamaedryfolia*, *Scapania umbrosa*. 25 видов печеночников являются новинками для Вытегорского р-на. В окрестностях Сойдозерского ЛЗ найдены также виды, ранее известные в области всего из одного-двух пунктов – *Barbilophozia hatcheri*, *Isopaches bicrenatus*, *Lophozia ascendens*, *L. ventricosa* var. *longiflora*, *Obtusifolium obtusum*, *Nardia geoscyphus*, а также один печеночник, включенный в Красную книгу Вологодской области (2004) – *Barbilophozia lycopodioides* (уязвимый вид – 2/LC).

Следует отметить, что наибольший интерес представляет находка печеночника *Cephalozia macounii* (Dulin, Philippov, 2011). Этот очень редкий эпиксильный вид был обнаружен 18.08. 2010 г. в 4 км юго-восточнее оз. Сойдозеро на

облесенной окрайке болота Ильинское (61°26′ 23.6″ с.ш., 37°37′27.2″ в.д.), на упавшем и полностью заросшем мхами и печеночниками стволе *Pinus sylvestris* L. Вид заслуживает включения во второе издание региональной Красной книги со статусом уязвимый вид – 2/LC. В местах ее произрастания (болото Ильинское) необходимо создать несколько микрозаказников или расширить площадь уже существующего Сойдозерского ЛЗ.

Географический анализ (по: Константинова, 2000) показал, что во флоре преобладают виды, характеризующиеся циркумполярным (42 вида) и почти циркумполярным (4) распространением. Также присутствуют виды с европейским (*Plagiochila asplenioides*), европейско-американским (*Calypogeia suecica*, *Fossombronia foveolata*) и амфиокеаническим (*Harpanthus flotovianus*) типами ареала. При анализе широтных географических элементов установлено, что половина печеночников исследованной флоры (25 видов) относится к группе арктобореальномонтанных видов и лишь треть (15) – к группе бореальных. Это связано с увеличением во флоре количества видов сем. *Scapaniaceae* s.l. Интересно то, что в большинстве других вологодских среднетаежных локальных флор (Dulin et al., 2009 и др.) доля бореальных видов всегда была больше. Кроме того, во флоре Сойдозерского ЛЗ и его окрестностей выявлено несколько космополитных видов (*Aneura pinguis, Blasia pusilla, Cephalozia bicuspidata, Marchantia polymorpha* subsp. *ruderalis*), а также отмечены неморальные печеночники (*Fossombronia foveolata*, *Plagiochila asplenioides*).

При анализе исследованной гепатикофлоры по отношению к влажности субстрата были получены следующие результаты: гидро- и гигрогидрофиты – пять видов, гидрогигрофиты – два, гигрофиты – девять, мезогигрофиты – два, гигромезофиты – 12, мезофиты – 20. В относительных величинах данные соотносятся с общерегиональной тенденцией: количество видов постепенно возрастает с уменьшением обводненности среды, достигая пика в мезофитных условиях, далее снижается вплоть до полного отсутствия печеночников – в ксерофитных.

Большинство выявленных видов печеночников предпочитает поселяться на слабо ацидофильных (22 вида) и ацидофильных (20) субстратах (влажная, гниющая древесина, торф и т.п.), что характерно в целом и для гепатикофлоры области. Еще три вида (по отношению к характеру кислотности субстрата) относятся к нейтральным, четыре – к индифферентным. Кальцефильных видов не обнаружено.

В настоящее время мы можем оперировать данными по пяти локальным флорам печеночников Вологодской области (по: Dulin et al., 2009 с дополнениями). Самыми богатыми (по 48 видов) являются флоры Сойдозерского ЛЗ и его окрестностей и национального парка «Русский Север». Локальные флоры окрестностей дер. Марковская, Дарвинского заповедника и ландшафтного заказника «Шиченгский» насчитывают чуть меньше видов (соответственно 45, 43 и 38). Рассматриваемые флоры охватывают 85% видового богатства печеночников области.

Сравнение пяти вышеуказанных флор между собой при помощи коэффициента общности видового состава Съеренсена-Чекановского (Ksc) выявило их значительное сходство. Более близкими оказались локальные флоры центральной части области. Так, наибольшее сходство (0.75) обнаруживают флоры окрестностей дер. Марковская и заказника «Шиченгский», а их сходство с парком «Русский Север» несколько ниже (0.67). Если же сравнивать данные три флоры с Сойдозерским ЛЗ и Дарвинским заповедником, то показатели сходства флор будут чуть ниже (0.61 и 0.57 соответственно). Своеобразие последних связано, прежде всего, с особенностями биогеографического положения (Сойдозерский ЛЗ расположен в подзоне средней тайги, Дарвинский заповедник – в южной) и с различиями в степени и характере освоенности ландшафтов.

В заключение отметим, что исследования на Андомской возвышенности в окрестностях Сойдозера позволили значительно расширить представления о таксономическом разнообразии печеночников как Вытегорского р-на (было известно 38 видов, стало – 63), так и Вологодской области в целом (было 92 вида, стало 100).

Работа выполнена при поддержке ВРО ВОО «Русское географическое общество» в рамках проекта «Тайга без границ» (№ 16/07/2011). Благодарим А.Б. Чхобадзе и М.Н. Смирнову (ВГПУ) за помощь в проведении полевых исследований. Работа М.В. Дулина выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-04-01476).

Литература

Андреева Е.Н., Кармазина Е.В. Новые находки мохообразных в Вологодской области. // Arctoa, 2009. Vol. 18. С. 251-253.

Константинова Н.А. Анализ ареалов печеночников севера Голарктики // Arctoa, 2000. Vol. 9. С. 29-94.

Красная книга Вологодской области. Т. 2. Растения и грибы / Отв. ред. Т.А. Суслова и Г.Ю. Конечная. Вологда, 2004. 359 с.

Особо охраняемые природные территории, растения и животные Вологодской области / Отв. ред. Г.А. Воробьев. Вологда, 1993. 256 с.

Dulin M.V., Philippov D.A. Cephalozia macounii (Austin) Austin // J. Bryol., 2011. Vol. 33. № 4. P. 318.

Dulin M.V., Philippov D.A., Karmazina E.V. Current state of knowledge of the liverwort and hornwort flora of the Vologda Region, Russia // Folia Cryptogamica Estonica, 2009. Fasc. 45. P. 13-22.

Konstantinova N.A., Bakalin V.A., Andrejeva E.N. et al. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa, 2009. Vol. 18. P. 1-64.

Секция 2.
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИВОТНОГО МИРА

МИКОБИОТА *PHOXINUS PHOXINUS* L. ИЗ РЕКИ ЧОВЬЮ

Я.А. Адамова
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: botanik-1702@yandex.ru

Грибы – это разнообразная и многочисленная группа живых организмов, которые встречаются во всех биоценозах. Изучение видового состава грибов водоемов, их взаимоотношения с другими организмами, географическое распространение представляют научный и практический интерес. Однако грибы, обитающие в водоемах, изучены значительно хуже не только по сравнению с почвенными и наземными грибами, но также и другими водными организмами (Воронин, 1986). Грибы, ассоциированные с рыбами, принадлежат к разным таксономическим группам. Среди них зарегистрированы представители классов *Chytridiomycetes, Oomycetes, Zygomycetes, Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes*. Наиболее изучены в этом отношении представители класса *Oomycetes* – сапролегниевые грибы, из которых около 40 видов известны как паразиты пресноводных рыб (Дудка и др., 1991).

Цель данной работы – изучение микобиоты *Phoxinus phoxinus* L. из р. Човью (левый приток р. Вычегда), в пределах микрорайона Верхний Чов (г. Сыктывкар).

Для изучения видового состава грибов и его сезонной динамики отбирали половозрелых особей *Phoxinus phoxinus* L. Рыбу отлавливали с мая по ноябрь 2011 г. из р. Човью водным сачком, одновременно осуществляли микологический контроль воды.

Обработку проб проводили в течение 1-5 ч после отлова рыбы. При этом использовали методы отпечатков (наружные покровы, жабры, плавники) и глубинного посева (содержимое кишечника) на чашки Петри с твердыми питательными средами. Для выделения грибов использовали стандартные агаризованные питательные среды Чапека, Сабуро и пивное сусло. Для подавления развития бактерий в простерилизованную и охлажденную до 45 °С питательную среду асептически добавляли антибиотики (стрептомицина сульфат, бензилпенициллина калиевую соль). Для фонового микологического анализа в местах отлова рыбы отобрали пробы с поверхности воды вручную в стерильные колбы. Их обработку производили в тот же день методом глубинного посева на агаризованные питательные среды по Милько и Захарову (1976). Для обнаружения патогенных представителей класса *Oomycetes* применяли общепринятый метод приманок (Литвинов, Дудка, 1975), в качестве которых использовали прокипяченные семена конопли. Микромицеты культивировали 5-7 сут. при комнатной температуре на чашках Петри, затем проводили подсчет и выделение выросших колоний грибов в чистую культуру.

В общей сложности исследовано более 145 экз. гольяна, около 60 проб воды и выделено более 325 изолятов. Таксономический анализ выделенных грибов позволил отнести их к 33 таксонам в ранге вида из 17 родов, пяти семейств, четырех порядков, пяти классов, двух отделов царств грибов и грибоподобных организмов. Некоторые штаммы определены только до рода. Все выделенные микромицеты не являются строго приуроченными к рыбе, они встречаются в почве, воде и других субстратах растительного и животного происхождения.

Часть микромицетов относится к дрожжевой микобиоте – это представители четырех родов: *Criptococcus albidus* (Saito) Skinner, *Rhodotorula aurantiaca* (Saito) Lodder., *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud var. melanigenum Hermanides-Nijhof и *Phialophora alba* var. Beyma. Представители Oomycetes обнаружены в воде, слизи с поверхности тела гольяна и содержимом его кишечника (*Saprolegnia* sp.).

Исследования микобиоты гольяна из р. Човью в течение весенне-летне-осеннего сезона позволили установить видовой состав и встречаемость грибов на поверхности тела, жабрах, плавниках и в содержимом кишечника рыб, а также выявить сезонные изменения в таксономической структуре сообщества микромицетов. Встречаемость родов микромицетов, выделенных из *Phoxinus phoxinus* L., показана в табл. 1,

встречаемость грибов в воде и на *Phoxinus phoxinus* L. – в табл. 2.

У гольяна в весенне-летне-осенний период обнаружено 17 родов микромицетов. Виды родов *Acremonium* и *Sclerocium* встречались только в летние месяцы, представители родов *Candida*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Phialophora*, *Phoma* и *Saprolegnia* – в летне-осенний период . Грибы родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Rhodotorula* и *Trichoderma* присутствовали на гольяне весь период сбора материала.

С поверхности тела гольяна выделены грибы 12 родов (см. табл. 1). Среди них отмечены *Aspergillus niger*, *A. clavatus*, *A.* sp., *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium fellutanum*, *P. decumbens*, *P. verrucosum*, *P.* sp., *Trichoderma viride*, *T. aureoviride*, *T. harzianum*, *Fusarium sporotrihiella*, *Saprolegnia* sp., *Phoma herbarum*, *Mycelia sterilia*, *Rhodotorula aurantiaca*. В слизи с поверхности тела рыб присутствуют и патогенные виды грибов, вызывающие заболевания и даже гибель рыбы. К ним относятся представители родов *Phoma*, *Saprolegnia*, *Rhodotorula*, *Fusarium*. Грибы родов *Phoma* и *Fusarium* присутствовали только в воде и слизи с поверхности тела гольяна. В воде их численность ниже, чем в слизи рыб. Сапролегниевые грибы выделены из слизи с поверхности тела гольяна и из содержимого его кишечника. Следовательно, эти грибы заселяют рыбу, попадая на или в нее из воды или с пищей.

С жабр рыб выделены микромицеты, относящиеся к семи родам (см. табл. 2). На жабрах гольяна и поверхности его тела преобладали грибы родов *Rhodotorula*, *Trichoderma*, споры которых попадают из воды. Состав доминирующих видов микромицетов на жабрах гольяна был такой же, как и на поверхности тела, что обусловлено постоянным контактом поверхности тела гольяна и его жабр с водой. Это виды родов *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma*.

В содержимом кишечника рыб из р. Човью основной комплекс грибов более разнообразен по сравнению с их комплексами с поверхности тела и жабр. Из содержимого кишечника выделены микромицеты 12 родов (см. табл. 2). В составе микобиоты кишечника гольяна преобладают грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor*. Сюда входят также *Phialophora*, *Stachybotrys*. Виды рода *Cladosporium* отмечены в воде и кишечнике рыб. Комплекс грибов в кишечнике гольяна в значительной степени совпадает с видовым составом микромицетов воды (Воронин, 1987).

Таблица 1

Встречаемость основных родов микромицетов, выделенных из *Phoxinus phoxinus* L.

Род грибов	Период года		
	весна	лето	осень
Acremonium	–	+	–
Aspergillus	+	+	+
Aureobasidium	+	+	–
Candida	–	+	+
Cladosporium	–	+	+
Criptococcus	–	–	+
Fusarium	+	+	+
Mucor	–	+	+
Mycelia sterilia	+	+	–
Penicillium	+	+	+
Phialophora	–	+	+
Phoma	–	+	+
Rhodotorula	+	+	+
Saprolegnia	–	+	+
Sclerocium	–	+	–
Stachybotrys	–	–	+
Trichoderma	+	+	+

Примечание: + – в пробах присутствовал, прочерк – отсутствовал.

С плавников рыб выделены микромицеты, относящиеся к семи родам (см. табл. 2). На плавниках гольяна отмечено небольшое разнообразие видов микромицетов, чем на поверхности его тела, жабрах и в содержимом кишечника. В микобиоте его плавников представлены рода *Aspergillus*, *Rhodotorula*, *Penicillium* и *Trichoderma*.

Доминирующие комплексы грибов из разных участков тела рыб в значительной степени сходны по видовому составу. В комплексы входят представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*. Отмеченные отличия по встречаемости и доминированию микромицетов свидетельствуют о наличии качественных различий в микобиоте гольяна в разные сезоны года.

В пробах воды из р. Човью в весенне-летне-осенний период года содержались микромицеты 15 родов (см. табл. 2). Среди них *Acremonium* sp., *Aspergillus niger*, *A. clavatum*, *A.* sp., *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor* sp., *Mycelia sterilia*, *Penicillium decumbens*, *P. fellutanum*, *Sclerotium* sp., *Trichoderma viride*, *T. aureoviride*, *T. harzianum*, *Candida* sp., *Criptococcus albus*, *Rhodotorula aurantiaca*. Два вида микромицетов – *Phoma eupyrena* и *Sclerotium* sp. – отмечены только в воде. Видимо, они попадают в воду рек со смытой почвой или с прибрежной растительности.

Анализ сезонных изменений микобиоты рыб и воды показал, что между ними существует тесная связь. Тем не менее, микобиота гольяна по своему составу, встречаемости и массовости отдельных родов микромицетов не является точным отражением микобиоты воды. Не все грибы, которые присутствуют в воде, могут находиться на поверхности тела рыб и тем более жить

Таблица 2

Встречаемость грибов в воде и на *Phoxinus phoxinus* L. (2011 г., р. Човью)

Вид	В воде	На рыбе			
		поверхность тела	жабры	содержимое кишечника	плавники
		Zygomycota			
Mucor racemosus Fres.	–	–	–	+	–
Mucor sp.	+	+	+	+	–
		Oomycota			
Saprolegnia sp.	+	+	–	+	–
		Deuteromycota			
Acremonium sp.	+	–	–	–	+
Aspergillus fumigatus Raper and Thom.	+	–	–	+	–
Aspergillus flavus Raper et Fennel	+	–	–	–	–
Aspergillus clavatus Desm., 1934	+	+	+	+	–
Aspergillus niger Tiegh, 1867	+	+	+	+	+
Aspergillus sp.	–	+	–	+	–
Aureobasidium pullulans (de Bary 1866) Arnaud 1910 var. melanigenum Hermanides-Nijhof 1977	+	+	–	–	–
Candida sp.	+	+	–	–	–
Cladosporium herbarum (Pers.) Link, 1921	+	–	–	+	–
Criptococcus albidus Saito, 1922	+	+	+	+	–
Fusarium tabacinum W.Gams	–	–	–	+	–
Fusarium oxysporum Snyd. Et Hans var. orthoceras (Appl.et Wr.) Bilai	+	+	–	–	–
Fusarium sporotrichiella var. poae Wr. Emend Bilai	–	+	–	–	–
Fusarium sp.	–	–	–	–	+
Penicillium decumbens	+	–	+	+	+
Penicillium fellutanum Biorge, 1923	+	+	–	+	–
Penicillium verrucosum var. cyclopium	+	+	+	+	+
Penicillium sp.	–	+	–	+	+
Phialophora alba var. Beyma	–	–	–	+	–
Phoma eupyrena saccardo 1879	+	–	–	–	–
Phoma herbarum West	+	+	–	–	–
Rhodotorula aurantiaca (Saito) Lodder, 1934	+	+	+	+	+
Sclerocium sp.	+	–	–	–	–
Stachybotrys albipes (Berk `Br) Jong. `Daris	–	–	–	+	–
Thichoderma aureoviride	+	+	–	+	–
Trichoderma harzianum Rifai 1969	+	+	–	–	–
Thichoderma hamatum (Bonorden 1851)	–	–	+	+	–
T. viridi Persoon, 1794; Fries, 1829	+	+	+	+	+
Thichoderma sp.	+	+	+	+	–
Mycelia sterillia	+	+	+	+	–

Примечание. + – в пробах присутствовал, прочерк – отсутствовал.

и использовать слизь и выделения рыбы в качестве субстрата. Грибы, составляющие основу его микобиоты, встречаются на нем только в виде спор и попадают на поверхность тела рыбы из воды. В первую очередь к ним относятся грибы рода *Aspergillus, Penicillium* и *Trichoderma*.

Грибы из родов *Aspergillus, Mucor, Penicillium, Rhodotorula* и *Trichoderma* составляют ядро сообщества микромицетов гольяна. В летние месяцы видовое разнообразие грибов выше, чем в осенние. В июле отмечено максимальное количество видов микромицетов, но они встречаются единично. В осенние месяцы преобладают дрожжи родов *Candida, Criptococcus* и грибы из отдела Oomycota.

Литература

Воронин Л.В. Сезонные изменения микобиоты леща Рыбинского водохранилища // Микология и фитопатология, 1987. Т. 21. Вып. 5. С. 409-415.

Дудка И.А., Исаева Н.М., Нагорная С.С. Грибы и их роль в патогенезе рыб // Микология и фитопатология, 1991. Т. 25. Вып. 2. С. 166-176.

Литвинов М.А., Дудка И.А. Методы исследования микроскопических грибов пресных и соленых (морских) водоемов. Л.: Наука, 1975. 151 с.

Милько А.А., Захаров Л.И. Заспоренность грибами воды реки Волги // Микология и фитопатология, 1976. Т. 10. Вып. 5. С. 222-225.

ФАУНА ЗАРОСЛЕЙ (КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, СТРУКТУРА, РАЗНООБРАЗИЕ) НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО ВОДОЕМА

Т.Н. Бабурина, М.А. Батурина[1]
Сыктывкарский государственный университет
E -mail: tofa2010@rambler.ru
[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: baturina@ib.komisc.ru

Фауна зарослей в водоеме объединяет беспозвоночных топически и трофически связанных с водными растениями (Ляхнович, 1965). Растения включаются в пищевые цепи гидробионтов, давая приют и защиту богатому и разнообразному населению животных, повышают видовое разнообразие водных сообществ (Маккабева, 1979). Зарослевое сообщество включает в себя различные «жизненные формы» водных животных, такие как зоопланктон, зообентос, нектобентос, нейстон, перифитон. Изучение зависимости распространения сообществ фитофильных макробеспозвоночных от степени и типа зарастания в различных водных объектах разных природных зон может способствовать уточнению оценок ресурсного потенциала водоемов (Каргапольцева, 2010).

В представленной работе приводятся данные о составе, структуре и разнообразии макрофауны беспозвоночных в зарослях высших водных растений на примере модельного водоема. Каскад из двух прудов на территории Ботанического сада СыктГУ был создан в 1999 г. На расстоянии нескольких десятков метров пруды окружают жилые постройки Ботанического сада. В данной статье представлены результаты исследований нижнего водоема площадью 30.1 м^2. Берег обрывистый, образован суглинком, густо заросший растительностью. Прибрежная флора водоема представлена *Carex rhynchophysa* C.A. Mey, *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Elodea canadensis* Michx., *Callitriche palustris* L., *Sium latifolium* L., *Lemna trisulca* L., *Lemna minor* L., *Iris pseudacorus* L. Питание водоема осуществляется поверхностными и подземными водами. Грунт – в основном песок с глиной, покрытый толстым слоем листового опада и разлагающимся детритом, местами сильно ощущается запах сероводорода. Для гидрохимической характеристики воды использовался портативный анализатор «Multi 340 i/SET» (Германия), замерялись температура воды, содержание кислорода, электропроводность и pH. Исследования проводились с мая по октябрь в 2010 и 2011 гг. По периметру пруда в участках, приуроченных к различным растительным ассоциациям: в зарослях *Callitriche palustris* (участок № 1), зарослях *Iris pseudacorus* (№ 2), под слоем отмерших листьев *Iris pseudacorus* (№ 3) и в незарастающем прибрежье (№ 4), отбирались количественные пробы (38 за два года) согласно общепринятой методике (Методика изучения..., 1975) и качественные (19) с помощью скребка и различных ловушек. Анализировались следующие данные: численность (экз./м^2), биомасса (мг/м^2) гидробионтов, относительные величины численности и биомассы (%), встречаемость (%) групп в пробах. Для характеристики сообществ беспозвоночных на разных участках использовали индекс сходства видов Съеренсена, индекс биоразнообразия Шеннона и индекс Симпсона (Песенко, 1982). Значимость отдельных видов оценивали с помощью индекса доминирования D (Тодераш, 1984). Для оценки избирательности вида при выборе местообитаний рассчитывали показатель биотопической приуроченности F_{ij} (Песенко, 1982).

В результате исследований в составе макрофауны пруда установлено 118 видов беспозвоночных и таксонов рангом выше из 13 систематических групп, относящихся к трем типам животных: *Annelida*, *Arthropoda*, *Mollusca*. Наибольшим числом видов отличались группы *Coleoptera* (27 вида), *Oligochaeta* (24) и *Heteroptera* (17). По разнообразию систематических групп (12 и 13 соответственно) выделялись участки № 2 и 3, расположенные вблизи зарослей *Iris pseudacorus*. На участке № 1 (*Callitriche palustris*) встречено только семь, а на открытых участках пруда (без макрофитов) – девять групп. Вдоль всей акватории водоема в пробах отмечались личинки *Chironomidae*. В большей части проб были отмечены *Hirudinea*, *Oligochaeta*, крупные *Mollusca*, *Heteroptera*, *Coleoptera*, личинки *Trichoptera*. Реже встречались *Aranei* и личинки *Odonata*.

За оба года по частоте встречаемости в количественных пробах макробеспозвоночных преобладали личинки *Chironomidae* (до 92%), *Oligochaeta* (до 84), *Heteroptera* (до 60) и личинки *Trichoptera* (до 85%).

В среднем численность и биомасса водных беспозвоночных в исследованном водоеме составляли 844.5 экз./м^2 и 1042.0 мг/м^2 в 2010 г., 581.4 и 2178.6 – в 2011 г. Численность макробеспозвоночных в водоеме в оба года исследований формировалась за счет *Oligochaeta* (22.1-56.0 %) и личинок *Chironomidae* (10.8-61.7). По биомассе доминировали крупные *Mollusca* (17-26%), *Oligochaeta* (8.3-21.0), *Heteroptera* (6.1-25.8) и личинки *Chironomidae* (6.0-19.4%).

Распределение макробеспозвоночных по участкам было неравномерно. Так, в 2010 г. минимальные показатели количественного развития организмов отмечены на участке № 3 (*Iris pseudacorus*) – 29.0 экз./м^2 и 49.0 мг/м^2. При этом

как по численности, так и по биомассе здесь преобладали личинки *Chironomidae* и *Coleoptera*, составляя в сумме 44% от общей численности и 40% от общей биомассы беспозвоночных. Наибольшая численность организмов была зарегистрирована на участке № 1 (*Callitriche palustris*) – 514.8 экз./м^2, при этом 43% от общей численности приходилось на долю *Oligochaeta*. Наибольшая биомасса – на участке № 4 (открытый) – 540.0 мг/м^2. Доминантами по биомассе являлись *Oligochaeta* и личинки *Coleoptera*, составляя в сумме 72% от общей массы беспозвоночных. В 2011 г. максимальные показатели численности и биомассы отмечались на участках № 2 (673.4 экз./м^2 и 3223 мг/м^2) и № 3 (652.1 и 3272). При этом в зарослях *Iris pseudacorus* (№ 2) основу численности формировали личинки *Chironomidae* (70% от общей численности), а биомассы – имаго *Coleoptera* и *Heteroptera* (77% от общей массы). Под листьями отмершего *Iris pseudacorus* (№ 3) по численности преобладали личинки *Chironomidae* и *Oligochaeta* (в сумме 85% от общей численности), а по биомассе – *Heteroptera* и *Mollusca* (в сумме 60% от общей биомассы). Минимальная численность беспозвоночных зарегистрирована в зарослях *Callitriche palustris* (177.6 экз./м^2), формировалась она на 56% за счет численности *Oligochaeta* и *Heteroptera* в сумме. Минимальная биомасса была отмечена на открытом участке (№ 4) – 1822 мг/м^2, где по биомассе доминировали личинки *Chironomidae* и *Mollusca,* составляя 55% в сумме от общей массы.

За период исследований на различных участках было установлено разное число видов: от 13 до 34. Наиболее сходны по видовому составу беспозвоночных были участки № 3 и 4. Фауна беспозвоночных в зарослях *Callitriche palustris* наиболее отличалась по составу от других участков (табл. 1).

Значения индексов Шеннона и Симпсона указывают на незначительное видовое разнообразие (табл. 2), при этом в сообществе возможно существование одного-двух выраженных доминантов. Эти результаты подтверждает рассчитанный индекс доминирования D (рис. 1). Во всех исследованных нами биотопах доминируют виды рода *Chironominii*, эти данные подтверждают высокую численность и встречаемость группы в водоеме в целом. К числу субдоминантов на разных участках относились представители *Hydracarina,* родов *Sigara, Gerris* и *Notonecta* (*Heteroptera*), п/сем. *Orthocladiinae* и *Tanipodinae* (*Chironomidae*), *Lumbriculus variegatus* (Muller), *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, *Slavina appendiculata* Udekem, *Nais variabilis* Piguet (*Oligochaeta*), мелкие *Heteroptera* и *Mollusca*.

Таблица 1

Показатель сходства фаун по Съеренсену (Песенко, 1982) по участкам

Участки	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
№ 1	1	0.27	0.27	0.25
№ 2		1	0.35	0.31
№ 3			1	**0.55**
№ 4				1

Таблица 2

Показали значений индексов Шеннона и Симпсона по участкам

Показатель	Участки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Индекс Шеннона	2.1	1.9	1.7	2.1
Индекс Симпсона	0.3	0.4	0.5	0.4
Число видов	13	31	31	34

При расчете индекса биотопической приуроченности (F_{ij}) была составлена сводная таблица наиболее показательных видов (табл. 3). Согласно полученным данным, ряд видов зарослевого сообщества проявляет стенобионтность по отношению к определенным условиям (F_{ij} близок к 1). Так, хищные личинки *Chaoboridae* (*Diptera*) выявляют предпочтение к зоне зарослей, где вероятность встретить жертву больше, чем в открытой зоне. Или, например, водные клещи определенно предпочитают заросли мягкой растительности по сравнению с зарослями ириса или открытого участка. Моллюски и пиявки в исследованном водоеме предпочитали участок с зарослями белокрыльника. Вид *Tubifex tubifex* (*Oligochaeta*) показал высокую степень приуроченности к биотопу под плавающими листьями ириса. В то же время молодь данного семейства предпочитала более открытые участки. Все полученные сведения подтверждают литературные данные об экологии отдельных видов (Монаков, 1998; Актуальные вопросы..., 2007).

В трофической структуре (рис. 2) макрофауны водоема доминируют две группы – грунтоядные собиратели и охотники-зоофаги, в сумме составляя более 70% от общего списка видов. Также встречаются фитозоофаги, фитофаги, детритофаги и фильтраторы-эврифаги. По численности на участках преобладают грунтоядные собиратели, которые представлены в основном малощетинковыми червями и охотники-зоофаги (хищные личинки насекомых). На открытом участке преобладали грунтоеды-собиратели и фитофаги-зоофаги с невыраженным предпочтением пищи.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. В составе фитофильной макрофауны установлено 118 видов водных беспозвоночных, относящихся к трем типам животных;

2. Численность беспозвоночных за два года исследований была близка, биомасса в 2011 г. возросла в два раза, что, вероятно, связано с погодными условиями года;

3. Наибольшее число видов беспозвоночных отмечено на открытом участке (34 вида), а также в зарослях *Iris pseudacorus* (31). На всех

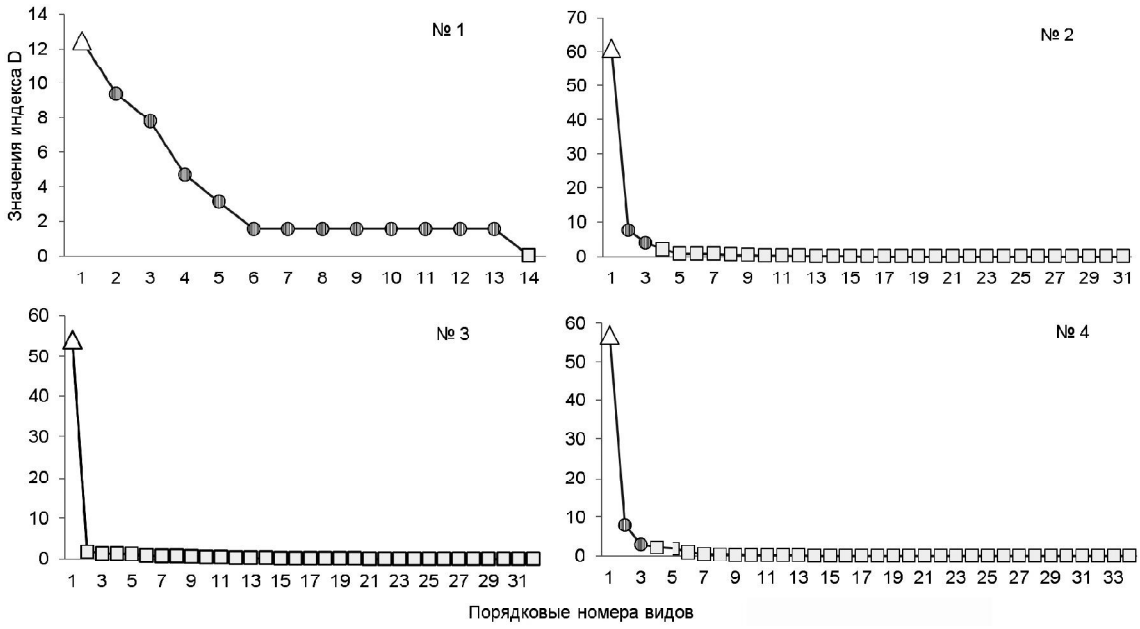


Рис. 1. Значения индекса доминирования для видов беспозвоночных по участкам. Виды-доминанты D = 10-100 (△), виды-субдоминанты D = 1.0-9.99 (◐), виды-адоминанты D = 0.1-0.99 (□).

участках по численности преобладали личинки *Chironomidae* и *Oligochaeta*, по биомассе – *Hirudinea*, имаго *Coleoptera*, *Mollusca* и *Heteroptera*;

4. Видовое разнообразие исследованного сообщества было незначительным. В каждом биотопе выявлены один-два доминанта и большое число не массовых видов;

5. Установлена степень приуроченности широко распространенных по акватории водоема видов;

6. В трофической структуре зарослевого сообщества доминируют грунтоядные собиратели и охотники-зоофаги.

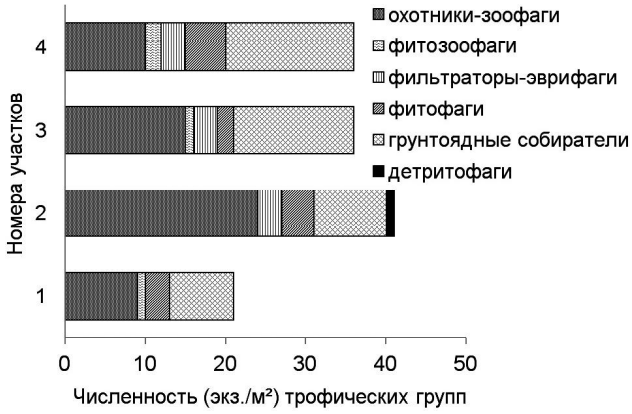


Рис. 2. Трофическая структура исследованного водоема за 2010-2011 гг. по участкам.

Таблица 3

Показатели биотопической приуроченности (Fij) вида к участку

Таксон	Участки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Hydracarina	**0.87**	**–0.14**	**–0.09**	**–0.45**
подсем. *Chironomini*	–	0.02	0.00	0.05
р. *Chaoboridae*	–	0.42	–0.09	–0.37
Lymnea stagnalis	0.89	–	–0.09	0.07
Planorbis planorbis	0.89	0.10	–	0.07
Sigara sp., im.	**0.83**	**–0.17**	**–0.35**	**0.03**
Erpobdella octoculata	0.85	–	0.25	–0.14
Lumbriculus variegatus	–0.20	0.15	–0.20	–0.45
Tubifex tubifex	–	–	0.82	–0.45
Tubificidae gen., sp.	–	**0.43**	**–0.66**	**0.48**
Agabus sp., lv	–	0.10	–	0.64
Agabus starmii. im.	**0.95**	**0.42**	–	–

Примечание. Представлены только виды, которые встречены в большинстве исследованных биотопов.

Литература

Каргапольцева И.А. Макрозоофитос Березовского залива Воткинского пруда (Удмуртская республика) // Экология от южных гор до северных морей: Матер. конф. молодых ученых ИЭРЖ УрО РАН. Екатеринбург, 2010. С. 81-86.

Актуальные вопросы изучения микро-, мейозообентоса и фауны зарослей пресноводных водоемов // Лекции и матер. I Междунар. школы-конф. Нижний Новгород, 2007. 325 с.

Ляхнович В.П. Повышение естественной кормовой базы рыб в прудах путем удобрения // Вопросы гидробиологии: Тез. докл. I съезда Всесоюз. гидробиол. об-ва. М., 1965. С. 260-267.

Маккабеева Е.Б. Беспозвоночные зарослей макрофитов Черного моря. Киев: Наукова думка, 1979. 226 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 189 с.

Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. М., 1998. 321 с.

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

Тодераш И.К. Функциональное значение хирономид в системе водоемов Молдавии. Кишинев, 1984. 172 с.

ПОДХОД БЕЛОМОРСКОЙ СЕЛЬДИ В СОРОКСКУЮ ГУБУ БЕЛОГО МОРЯ В 2011 ГОДУ

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

Сельдь беломорская

Пелагическая рыба, большую часть своей жизни она проводит в поверхностных слоях воды, прогреваемых в летний период. Рост, размножение, созревание, усиленное питание происходят у них в теплое время года с момента начала прогрева воды. Беломорские сельди живут только в Белом море, не выходят за его пределы. Эта сельдь представлена несколькими экологическими группировками, имеющими определенные различия в биологических показателях. Это сельди внутренних районов моря: Кандалакшского, Онежского и Двинского заливов. Различают две формы – крупную и мелкую. Наиболее многочисленна сельдь мелкой формы. На сегодняшний день нет единого мнения по поводу популяционной структуры беломорской сельди. Существуют разноречивые взгляды в этом вопросе – от полной общности стада в масштабах Белого моря (Лапин, 1978) до существования разных подвидов или даже видов (Душкина, 1975). Большинство исследователей выделяет в Белом море ряд локальных группировок, называемых также стадами, формами, расами: от двух – крупной и мелкой сельди (Рабинерсон, 1925) до пяти (Аверинцев, 1928). В силу неопределенного статуса рассматриваемых группировок промысловый запас сельдей Белого моря условно считается единым и рассчитывается как сумма запасов сельдей из трех заливов.

Формирование зимовальных скоплений сельди. Сорокская губа

Основными районами зимовки беломорской сельди в Онежском заливе являются губы Сорокская, Сумская и Вирма; в вершине залива в районе сел Покровское и Кянда. При определенных метеорологических условиях сельдь может зимовать в Восточной Соловецкой Салме. В Двинском заливе зимовальные скопления сельди наблюдаются в устьевой зоне Северной Двины – от Яндовой губы до о-ва Мудьюг. В Кандалакшском заливе скопления сельди в зимний период могут формироваться в теплом промежуточном слое на линии губа Чупа–мыс Турий (Надежин, 1959).

В Онежском заливе формирование зимовальных концентраций сельди традиционно начинается в ноябре. В это время выхолаживаются воды в районе Восточной Соловецкой Салмы, и рыба устремляется в центральную часть залива. Дальнейшая миграция сельди напрямую зависит от изменения розы ветров. При ветрах восточного и северо-восточного направлений она вернется в Восточную Соловецкую Салму, при северо-западных – уходит в кутовую часть Онежского залива, при юго-западных – в карельский берег – Сорокскую и Сумскую губы.

Сорокская губа расположена в западной части Онежского залива Белого моря (рис. 1). Губа имеет средние глубины 13-20 м, характеризуется гомотермией по всей толще воды. Наблюдается опреснение вод за счет впадающих рек – Выг, Малая и Большая Кетьмукса, а также Беломорско-Балтийский канал.

Промысел беломорской сельди в Сорокской губе

Промысел беломорской сельди основан на облове скоплений сельди в Онежском, Двинском и Кандалакшском заливах.В Онежском заливе эти скопления отмечаются главным образом в Сорокской губе. Массовые подходы сельди в 1980-е гг. отмечались 7-8 ноября, среднесуточный вылов судами в это время составлял от 50 до 100 т (Похилюк, 2001). В осенне-зимний период 1986 г. в Сорокской губе промысловое изъятие достигало 53 т/сут., в акватории одновременно работали до 12 мало- и среднетоннажных промысловых судов типа МРБ, МСТБ, ПТС, СЧС из Архангельской и Мурманской областей, Республики Карелия. Использование разных типов судов позволяло менять тактику промысла в зависимости от складывающейся промысловой ситуации (Фролов, 2010). Сорокская губа является главным районом промысла беломорской сельди. В 1986 г. вылов по Карелии за сезон составил 1240 т, в 1989 г. – 1340 т, в 1991 г. – более 1400 т (рис. 2). В дальнейшие годы объемы добычи резко снизились. В 2010 г. был достигнут исторический минимум вылова – 13.2 т, что можно приравнять к отсутствию промысла.

Падение уровня добычи объясняется как экономическим спадом после 1991 г., так и изменением условий обитания сельди в Онежском заливе. Наблюдалось общее ухудшение экономической ситуации в стране, добыча сельди стала малорентабельной или даже убыточной. Стало невыгодно содержать многочисленный малотоннажный флот, количество судов на промысле уменьшилось (Стасенков, 2011). В настоящее время судовой лов сельди осуществляет лишь один колхоз – РПК СК «Помор», имея два судна типа МРТ. С другой стороны, с 1992 г. в связи с общим потеплением климата теплосодержание моря выросло, изменился гидрологический режим вод Онежского залива. Сельдь стала часто зимовать на местах нагула, мигрируя в верхнюю часть залива. Негативно влияет увеличивающееся загрязнение Сорокской губы, где периодически происходит свалка грунта после

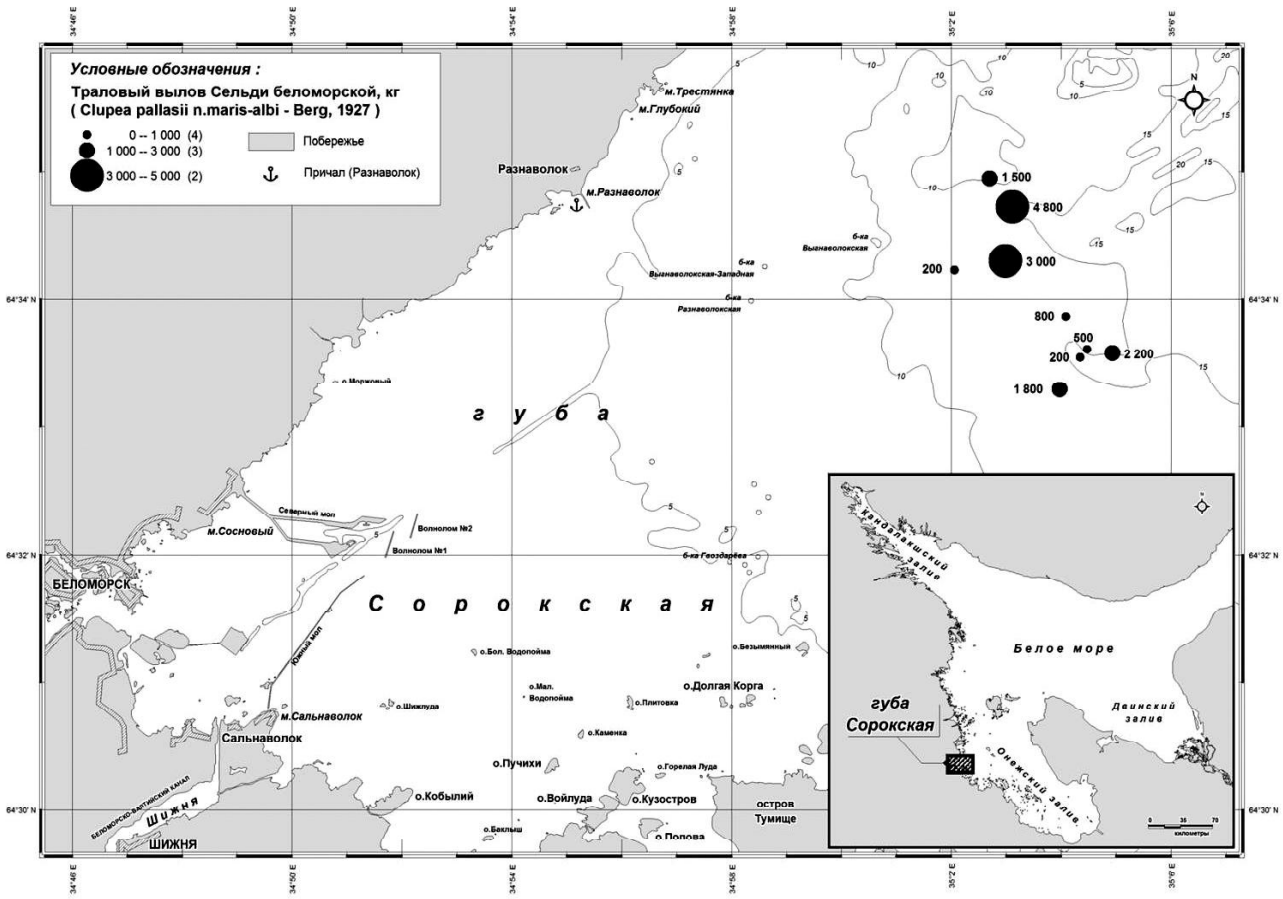


Рис. 1. Сорокская губа, район тралений в декабре 2011 г.

очистки фарватера (банка Гвоздарева), а стоки очистных сооружений промышленных предприятий через р. Выг попадают в губу (Похилюк, 2001). Поэтому с начала 1990-х гг. в Сорокской губе складывается неблагоприятная ситуация как для судового промысла, так и для подледного лова. За последние 15 лет она утратила свое былое значение в промысле, и, как следствие, уменьшился вылов по Республике Карелия (Фролов, 1995).

В 2010 г. ситуация изменилась: были отмечены подходы сельди в Сорокскую губу, однако наладить промысел не удалось. Судовой лов оказался невозможен из-за раннего ледостава, подледный лов был затруднен торосами. В 2011 г. также были отмечены подходы сельди, в этот раз она активно добывалась по открытой воде и со льда. Официальный вылов сельди по Сорокской губе за зимний сезон 2011-2012 гг. составил 206 т: в декабре 2011 г. – 49 т, в январе-феврале 2012 г. – 157 т. Улов на усилие в декабре составлял от 1200 до 18857 кг/ч траления, что обусловлено формированием мощных скоплений сельди в Сорокской губе и благоприятными метеорологическими условиями. Лов проводился донными тралами салачного типа с вертикальным раскрытием 2.5 м, горизонтальным раскрытием 12 м, ячеей в кутке 16 мм. Судовой лов завершился в середине января, далее промысел осуществлялся ставными орудиями лова. В общей сумме Республика Карелия за этот сезон предоставила информацию о вылове 253.4 т беломорской сельди в Онежском заливе. Вылов рыбаков и бригад, которые не отчитываются о своих уловах, по экспертной оценке варьирует от нескольких тонн до нескольких десятков тонн.

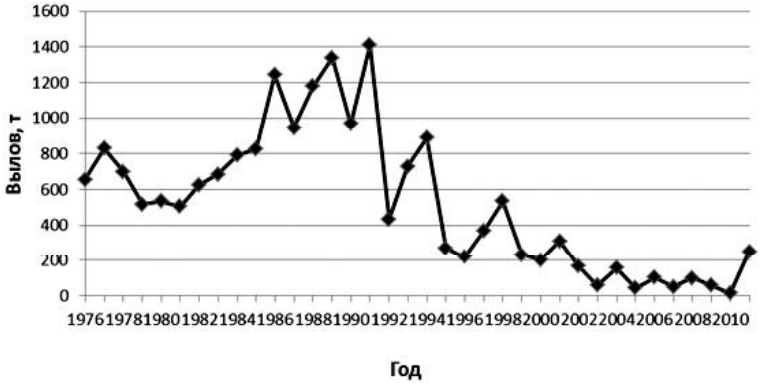


Рис. 2. Вылов беломорской сельди по Республике Карелия с 1976 по 01.03.2012 гг.

Выводы

Сорокская губа Онежского залива Белого моря является важнейшим районом промысла беломорской сельди. После длительного снижения уровня добычи сельди начался его подъем, за год вылов по Республике Карелия вырос с 13.6 до 253.4 т. Этому способствовало несколько факторов: благоприятная метеорологическая обстановка, подход мощных скоплений сельди в местах традиционного промысла, интерес со стороны населения и ряда рыбоперерабатывающих предприятий. Последние 15 лет сельдь уходила на зимовку в вершину Онежского залива, но в 2010-2011 гг. ситуация изменилась. Значительная часть сельди в 2011 г. выловлена в Сорокской губе. Освоение рекомендуемой величины вылова не превышает 25%, ресурс серьезно недоиспользуется, промысловая нагрузка на него мала. Необходимо увеличивать вылов сельди в первую очередь на промысле в Сорокской губе.

Литература

Аверинцев С.В. Сельди Белого моря // Труды научного Института рыбного хозяйства. М., 1928. Т. 3. Вып. 4. С. 73-112.

Душкина Л.А. Пигментация личинок беломорских сельдей рода Clupea как один из возможных показателей их происхождения // Исследования фауны морей. Л.: Наука, 1975. Т. 16. С. 227-254.

Лапин Ю.Е. Экология рыб Белого моря. М.: Наука, 1978. 200 с.

Надежин В.М. Влияние гидрологических и метеорологических условий на концентрации некоторых беломорских сельдей // Зоол. журн., 1959. Т. XXXVIII. Вып. 2. С. 228-242.

Похилюк В.В., Фролов С.Б. Особенности промысла сельди в Сорокской губе Онежского залива в 1998-2000 гг. // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск, 2001. С. 160-161.

Рабинерсон А.И. Материалы по исследованию беломорской сельди (данные 1923-1924 гг.) / Труды Института по изучению Севера. М., 1925. Вып. 25. С. 1-145.

Стасенков В.А., Студенов И.И., Новоселов А.П. и др. Поморские рыбные промыслы. Архангельск, 2011. 264 с.

Фролов С.Б. Промысел сельди Белого моря и перспективы использования ее запасов в современных условиях // Материалы рыбохозяйственных исследований водоемов европейского Севера. Архангельск, 2002. С. 310-323.

Фролов С.Б., Гнетнева Л.В., Похилюк В.В. Изменение характера промысла беломорской сельди в Сорокской губе Белого моря / Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. региональной конф. СПб., 1995. С. 115.

Фролов С.Б. Шерстков А.С. Опыт судового лова беломорской сельди // Проблемы изучения рационального использования и охраны ресурсов Белого моря: XI Междунар. конф. СПб., 2010. С.194-195.

ФАУНА ПАРАЗИТОВ *RUTILUS RUTILUS* (L.) ИЗ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

А.М. Белозерова
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: mishemoss@mail.ru

Северная Двина относится к числу крупнейших рек Европы. Одним из самых распространенных представителей ихтиофауны этого водотока является плотва *Rutilus rutilus* (L.). Паразитофауна этого вида в Северодвинском бассейне исследована в бассейнах рек Вычегда и Сухона (Дулькин, 1941; Кудрявцева, 1957; Сидоров, 1970; Доровских, 1988; Радченко, 2005; Доровских; Степанов, 2011).

Цель работы – изучить паразитофауну плотвы из русла р. Северная Двина.

В основу работы легли данные по паразитам плотвы из р. Северная Двина в районе г. Котлас. Всего методом полного паразитологического вскрытия обработано 30 особей плотвы, выловленной в июне и июле 2010 г. Сбор и обработка материала проведены по общепринятой в ихтиопаразитологии методике (Быховская-Павловская, 1985) в модификации О.Н. Пугачева (1999) и Г.Н. Доровских (2002) для рыб, фиксированных в растворе формалина. На наличие паразитов просмотрен также осадок, образовавшийся в материальной банке, где хранилась рыба до вскрытия. Для характеристики инвазированности паразитами рыбы в работе использованы следующие количественные показатели: число зараженных рыб и индекс обилия (ИО) – среднее число особей паразитов на одну исследованную рыбу.

У плотвы из р. Северная Двина в районе г. Котлас найдено 13 видов паразитов (см. таблицу), относящихся к шести классам: Peritricha – 1, Myxosporidia – 2, Monogenea – 5, Trematoda – 3, Nematoda – 1, Bivalvia – 1. Чуть больше половины паразитофауны плотвы составляют виды с простым циклом развития (семь видов), с участием промежуточных хозяев развиваются шесть видов. Выявлено пять представителей, которые специфичны для рыб р. *Rutilus*: *Dactylogyrus sphyrna, D. nanus, D. similis, D. crucifer, Gyrodactylus prostate*. Остальные восемь видов характерны для широкого круга хозяев, но преимущественно для карповых рыб.

Больше половины особей плотвы поражены сидячими перитрихами из р. *Apiosoma*. Это говорит о том, что в воде присутствуют взвеси органики, которой питаются эти паразиты.

Из слизистых споровиков найдены *Myxobolus musculi* и *M. muelleri*. Первым плотва поражена гораздо сильнее, чем вторым. Как установлено, заражение рыбы миксоспоридиями происходит путем поглощения олигохет, зараженных актиноспорами (Wolf, Markiw, 1984).

Среди моногеней наиболее распространенным видом является *Dactylogyrus crucifer*, зараженность которым рыб в июне заметно выше, чем в июле. Черви рода *Dactylogyrus* имеют четко выраженные сезонные изменения численности. У плотвы из Днепра наибольшая численность *D. crucifers* отмечена в апреле (Комарова, 1964), у рыб из озер Карелии и среднего течения р. Вычегда максимальное количество этих паразитов зарегистрировано в июне (Малахова, 1961; Доровских, 1988).

Паразитофауна плотвы из р. Северная Двина

Вид паразита	21.06.2010 n = 15	18.07.2010 n = 15
Myxobolus musculi Keysselitz, 1908	11 (15.9)	10 (10.2)
M. muelleri Butschli, 1882	2 (0.47)	1 (0.33)
Apiosoma sp.	7 (58.7)	10 (259.9)
Dactylogyrus sphyrna Linstow, 1878	1 (0.13)	2 (0.13)
D. similis Wegener, 1910	2 (0.2)	–
D. nanus Dogiel et Bychowsky, 1934	6 (0.7)	–
D. crucifer Wagener, 1857	14 (9.8)	8 (1.06)
Gyrodactylus prostae Ergens, 1936	1 (0.07)	–
Phyllodistomum folium (Olbers, 1926)	1 (0.07)	–
Rhipidocotyle campanula L. (Dujardin, 1845)	–	2 (0.13)
Diplostomum spathaceum L. (Rudolphi, 1819)	10 (3.53)	15 (13.2)
Rhabdochona denudata (Dujardin, 1845)	5 (0.8)	3 (0.2)
Unionidae gen. sp. L.	–	1 (0.07)

Примечание. Перед скобками число зараженных рыб данным видом паразита; в скобках – индекс обилия; n – число вскрытых рыб.

Трематоды *Phyllodistomum folium*, паразитирующие в мочеточниках рыб, попадают в организм хозяина при проглатывании церкарий, плавающих среди планктона в толще воды. Метацеркариями *Diplostomum spathaceum* заражены почти все особи плотвы, а *Rhipidocotyle campanula* – всего 2 экз. рыб. Церкарии этих трематод активно поражают своих хозяев.

Нематод *Rhabdochona denudata* плотва получает при питании личинками насекомых, служащих паразиту промежуточными хозяевами.

Личинки двустворчатых моллюсков *Unionidae* gen. sp. активно инвазируют рыб.

Паразитофауна плотвы из р. Северная Двина характеризуется невысоким разнообразием по сравнению с другими районами бассейна реки. В бассейне р. Вычегда у плотвы обнаружено 40 видов паразитов (Доровских, 1988), в Кубенском озере – 39 и в р. Сухона – 29 (Дулькин, 1941; Кудрявцева, 1957; Доровских, 1988; Радченко, 2005; Доровских, Степанов, 2011). Возможно, это связано со значительно большей изученностью рыб из этих водоемов.

Во всех этих районах у плотвы встречено семь видов паразитов: *Dactylogyrus sphyrna, D. similis, D. nanus, D. crucifer, Phyllodistomum folium, Rhabdochona denudata* и *Unionidae* gen. sp. Они образуют ядро паразитофауны (по: Доровских, 2002) плотвы Северодвинского бассейна.

Таким образом, паразитофауна плотвы из р. Северная Двина в районе г. Котлас насчитывает 13 видов из шести систематических групп.

Литература

Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 122 с.

Воронин В.Н. Миксоспоридии и актиноспоридии – звенья одного жизненного цикла // Проблемы ихтиопаразитологии и ихтиопатологии в современных условиях. ТМ., 2001. Вып. 329. С. 67-73.

Доровских Г.Н. Паразиты рыб бассейна среднего течения р. Вычегды (Фауна, экология, зоогеография): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1988. 25 с.

Доровских Г.Н. Паразиты пресноводных рыб Северо-востока европейской части России (Фауна, экология паразитарных сообществ, зоогеография): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2002. 69 с.

Доровских Г.Н., Степанов В.Г. Паразитофауна карповых рыб *Cyprinidae bonaparte*, 1832 из водоемов северо-востока европейской части России. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского ун-та, 2011. 186 с.

Дулькин А.Л. Гельминтофауна рыб Кубенского озера // Труды Вологодского сельскохозяйственного института. Вологда, 1941. Вып. 3. С. 127-130.

Кудрявцева Е.С. Систематический обзор паразитов рыб реки Сухоны и Кубенского озера // Уч. зап. Вологодского пед. ин-та, 1957. Т. 20. С. 69-136.

Малахова Р.П. Сезонные изменения паразитофауны рыб некоторых озер Карелии (Кончозеро) // Труды Карельского филиала АН СССР, 1961. Т. 30. С. 55-77.

Пугачев О.Н. Паразиты пресноводных рыб Северной Азии (Фауна, экология паразитарных сообществ, зоогеография): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 1999. 50 с.

Радченко Н.М. Ихтиопаразитологический мониторинг крупных озер Вологодской области. Вологда: ВоГТУ, 2005. 108 с.

Сидоров Г.П. Паразитофауна некоторых промысловых рыб средней Печоры и Вычегды в зоне проектируемых водохранилищ // Изв. Коми филиала географ. общ-ва СССР, 1970. Т. 2. Вып. 3(13). С. 87-90.

Wolf K., Markiw M.E. Biology contravenes taxonomy in the *Myxozoa*: new discoveries show alternation of invertebrate and vertebrate hosts // Science, 1984. Vol. 225. P. 1449-1452.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ ПРА РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ В 2010 ГОДУ

Л.В. Воробьева, В.П. Иванчев[1], В.П. Семерной
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова
[1] Окский государственный природный биосферный заповедник
E-mail: vorobjeva.lada@yandex.ru

Река Пра – главная река Мещерской низменности, левый приток Оки. Ее протяженность – 167 км, начало берет в Московской области в оз. Свято-верхнее, затем проходит через мещерские озера. Пра – типичная сильно закоряженная река Мещеры с низкими берегами, сильно меандрирующим руслом. Зарастание прибрежно-водной растительностью крайне незначительно, представлено в основном хвощем и стрелолистом (Иванчев, Иванчева, 2010).

Отбор проб на р. Пра Рязанской области проводился в период с 22 июля по 3 августа и с 23 по 26 сентября 2010 г. на станциях (участках реки): верхнее течение – участок при впадении реки в оз. Шагара и в черте г. Спас-Клепики, среднее течение – участок близ с. Слобода, нижнее течение – станции близ пос. Брыкин Бор, устьевая зона – станции у кордона Окского заповедника Липовая Гора.

Пробы отбирались с помощью коробчатого дночерпателя Экмана-Берджа с площадью захвата 1/100 м^2, затем промывались через сетку из мельничного газа № 23. Отмытый грунт фиксировался 4%-ным формалином. Разбор и определение организмов проводилось на кафедре экологии и зоологии ЯрГУ.

Состояние бентосных сообществ оценивалось по следующим параметрам: общая численность (N, экз./м^2), общая биомасса (B, г/м^2), индекс сапробности Пантле-Букк в модификации Сладечека (S_1), индекс видового разнообразия Шеннона (H, бит/экз.) (Дзюбан, 1968; Семерной, 2005).

В р. Пра при летних сборах обнаружено 58 видов и родов водных беспозвоночных, из них личинок хирономид – 35 видов (61% от общего числа видов), олигохет – 8 (14), моллюсков – 4 (7), пиявок – 2 (4), ручейников – 2.

В сентябрьских пробах обнаружено 60 видов водных беспозвоночных, из них личинок хирономид – 32 вида (53% от общего числа видов), олигохет – 10 (17), пиявок – 4 (7), моллюсков – 4 (7).

Станции (лето): 1 – Шагара, 2 – Спас-Клепики, 3-4 – среднее течение (Слобода), 5-9 – Брыкин Бор, 10-12 – Липовая Гора.

Станции (осень): 1 – Шагара, 2 – Спас-Клепики, 3 – Слобода, 4-6 – Брыкин Бор, 7-9 – Липовая Гора.

Из таблицы видно, что в августе наиболее распространенными организмами в р. Пра были хирономиды *Procladius* подр. *holotanypus, Lipiniella araenicola*, *Paralauterborniella nigrohalteralis*; олигохеты *Tubifex newaensis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*. Роль остальных организмов в целом по реке незначительна, хотя они могут доминировать на отдельных станциях.

В сентябре наиболее распространены в целом по реке *Procladius* подр. *holotanypus, Clinotanypus nerwosus,* причем только в верхнем и среднем течении, в устьевой зоне эти виды отсутствуют, в несколько меньшей степени – *Glyptotendipes glaucus* и *Chironomus dorsalis*. Из олигохет наибольшая частота встречаемости у *Tubifex newaensis, Isochaetides michaelseni, Limnodrilus hoffmeisteri*, в меньшей степени – *Tubifex tubifex*. Наидиды – *Nais pardalis, Ripistes parasita* – достигают своей наивысшей численности на устьевом участке.

Преобладают организмы загрязненных и умеренно загрязненных мезосапробных вод (Финогенова, 1976; Баканов, 2000).

Согласно значениям сапробности по индексу Пантле-Букк, для р. Пра летом бета-мезосапробная зона наблюдается на оз. Шагара (2.25), олигосапробная – в районе пос. Брыкин Бор (1.3-1.7), на одной из станций близ кордона Липовая Гора (1.8), альфа-мезосапробная – на станции в среднем течении (3.8) и на одной из станций устьевой зоны (Липовая Гора) (3.2).

Осенью для всех станций, кроме оз. Шагара, индекс снизился до 1.4 (олигосапробная зона) и Липовая Гора 2 индекс упал до 2.0 – бета-мезосапробный показатель. Наблюдается повышение индекса Пантле-Букк: в районе пос. Брыкин Бор до 3.8 и на Липовой Горе до 3-3.5, что соответствует альфа-мезосапробной и бета-мезосапробной зонам.

Индекс Шеннона летом соответствует загрязненным водам на всех станциях (1.9-2.8), кроме станций в г. Спас-Клепики (грязная) (0.7), Брыкин Бор 3 и Липовая Гора 2 (чистая) (3.1-3.4). Осенью этот показатель возрастает в верхнем и среднем течении и в устьевой зоне до значений, характерных для чистой воды (более 3). Изменение индекса Шеннона в районе пос. Брыкин Бор носит противоречивый характер.

Средняя численность организмов изменяется от 1183 экз./м^2 в августе до 1902 – в сентябре, средняя биомасса – от 871 г/м^2 в августе до 18 – в сентябре. Высокий летний показатель биомассы обусловлен массовым развитием моллюсков *Viviparus viviparus* и крупных двустворчатых родов *Unio* и *Anodonta* на одной из станций в районе кордона Липовая Гора. Для верхнего и устьевого участков р. Пра характерно повышение численности, биомассы, видового разнообразия и индекса Шеннона в сентябре по

Встречаемость гидробионтов по станциям в разные сезоны года в р. Пра

№ п/п	Таксоны	Лето	Осень
	Сем. *Chironomidae*		
1.	*Polypedilum bicrenatum* Kieffer, 1921	Ст. 4, 5, 6	–
2.	*P. nubeculosum* (Meigen, 1804)	Ст. 6, 9	–
3.	*P. convictum* (Walker, 1856)	Ст. 8	Ст. 2, 5
4.	*P. scaelaenum* (Schrank, 1803)	Ст. 8	Ст. 2, 3, 4
5.	*Glyptotendipes gripekoveni* (Kieffer, 1913)	Ст. 6, 7	–
6.	*G. glaucus* (Meigen, 1818)	Ст. 7, 9, 11	Ст. 1, 2, 5, 6, 9
7.	*G. imbecillus* (Walker, 1856)	Ст. 7	–
8.	*G. mancunianus* (Edw ards, 1929)	Ст. 10	Ст. 1
9.	*G. barbipes* (Staeger, 1839)	Ст. 1	Ст. 1, 2, 3
10.	*Tanytarsus pallidicornis* (Walker, 1856)	Ст. 1, 3, 4, 5, 8	–
11.	*T. verrali* Goetghebuer, 1928	Ст. 1	–
12.	*T. usmaensis* Pagast, 1931	Ст. 3, 4	–
13.	*T. excavatus* Edw ards, 1929	Ст. 3	–
14.	*Paralauterborniella nigrohalteralis* (Malloch, 1915)	Ст. 3, 4, 5, 6, 8, 11	Ст. 2, 3, 9
15.	*Paratanytarsus confusus* Palmen, 1960	Ст. 6	Ст. 2, 8, 9
16.	*P. austriacus* (Kieffer, 1924)	Ст. 11	Ст. 6
17.	*Chironomus sp.*	Ст. 4, 9	–
18.	*Ch. dorsalis* Meigen, 1818	–	Ст. 4, 5, 6, 7
19.	*Ch. nudiventris* Meigen, 1818	–	Ст. 6, 9
20.	*Procladius* подр. *holotanypus* Roback, 1882	Ст. 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11	Ст. 1, 2, 3, 4, 5, 6
21.	*P.* подр. *psilotanypus* Kieffer, 1906	Ст. 1	Ст. 5, 6
22.	*Derotanypus sp.*	Ст. 9	–
23.	*Cladopelma* гр. *lateralis* Kieffer, 1921	Ст. 5, 9	Ст. 2
24.	*Dicrotendipes nervosus* (Staeger, 1839)	Ст. 7, 8, 10	Ст. 2, 8
25.	*D. tritomus* (Kieffer, 1916)	–	Ст. 7
26.	*Harnishia fuscimana* Kieffer, 1921	Ст. 4, 5, 8, 10, 11	Ст. 2, 8
27.	*Lipiniella araenicola* (Shilova, 1961)	Ст. 3, 4, 5, 7, 8	–
28.	*L. secunda* Shilova	Ст. 3	–
29.	*L. moderata* Kalugina, 1970	Ст. 4	Ст. 4, 5
30.	*Demicryptochirinonus vulneratus* (Zetterstedt, 1838)	Ст. 3, 7	Ст. 4, 7, 8, 9
31.	*Cryptochirinomus* гр. *defectus* (Walker, 1856)	Ст. 4, 7, 8	Ст. 2, 4, 9
32.	*Micropsectra sp.*	Ст. 1, 3	–
33.	*Clinotanypus nerwosus* Meigen, 1818	Ст. 1	Ст. 1, 2, 3, 4, 5
34.	*Cladotanytarsus* гр. *mancus* (Walker, 1856)	Ст. 3, 4	Ст. 3, 4, 9
35.	*C.* гр. *vandervulpi* Kieffer, 1921	–	Ст. 9
36.	*Nanocladius sp.*	Ст. 3, 4, 6	–
37.	*Ablabesmyia monilis (L. 1758)*	Ст. 3	–
38.	*Stempelinella minor (Edwards, 1929)*	Ст. 4	–
39.	*Microchironomus tener* (Kieffer, 1918)	–	Ст. 5
40.	*Psectrotanypus varius* (F., 1787)	–	Ст. 4
41.	*Orthocladius sp.*	–	Ст. 2
42.	*Cricotopus* гр. *sylvestris* van der Vulp, 1874	–	Ст. 2
43.	*Microtendipes pedulus* (De Geer, 1776)	–	Ст. 5, 6
44.	*Saetheria sp.*	–	Ст. 8
45.	*Endochironomus tendens* (F., 1775)	–	Ст. 1, 2
46.	*Eukiefferella discoloripes* Thienemann, 1926	–	Ст. 8
47.	*Guttipelopia guttipennis* (van der Vulp, 1861)	–	Ст. 2
48.	*Parachironomus arcuaticus* (Goetghebuer, 1919)	–	Ст. 1, 2
	Класс Oligochaeta		
49.	*Tubifex newaensis* (Michaelsen, 1902)	Ст. 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11	Ст. 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9
50.	*T. tubifex* (O. F.Muller, 1773)	Ст. 3, 8, 9, 11	Ст. 2, 3, 6, 8, 9
51.	*Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862	Ст. 1, 2, 5, 9, 10, 11, 12	Ст. 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9
52.	*L. udekemianus* Claparede, 1862	Ст. 2, 9, 11	Ст. 6, 9
53.	*Ripistes parasita* (Shnidt, 1847)	Ст. 3, 6	Ст. 8, 9
54.	Enchytraeidae *gen. sp.*	Ст. 7, 8, 10, 11	–
55.	*Lumbriculus variegatus* (O. F.Muller, 1773)	Ст. 5, 11	Ст. 1, 5
56.	*Isochaetides michaelseni* (Lastockin, 1937)	Ст. 3, 4, 10	Ст. 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9
57.	*Ophidonais serpentina* (Mueller, 1773)	–	Ст. 8
58.	*Nais pardalis* Piquet, 1906	–	Ст. 2, 3, 8, 9
59.	*Spirosperma ferox* (Eisen, 1879)	–	Ст. 1, 9
	Класс Hirudinea		
60.	*Glossiphonia complanata* (Linne, 1758)	Ст. 1, 10	Ст. 1

Окончание таблицы

№ п/п	Таксоны	Лето	Осень
61.	*Helobdella stagnalis* (Linne, 1758)	Ст. 1	Ст. 1, 2, 3, 7
62.	*Erpobdella octoculata* (Linne, 1758)	–	Ст. 8
63.	*Hemiclepsis marginata* (O. F.Muller, 1714)	–	Ст. 2
	Класс INSECTA		
	Отр. Odonata		
64.	*Epitheca bimaculata* (Charpenter, 1825)	Ст. 9	–
65.	*Orthetrum cancellatum* (Linne, 1758)	–	Ст. 1
66.	*Somatochlora metallica* (van der Linden, 1885)	–	Ст. 1
	Отр. Ephemeroptera		
67.	*Caenis horaria* (L., 1758)	Ст. 9	Ст. 2, 6, 9
	Отр. Trichoptera		
68.	*Ecnomus tenellus* (Rambur, 1842)	Ст. 8	–
69.	*Hydropsyche angustipennis* (Curtis, 1834)	Ст. 3	Ст. 8, 9
70.	*Rhyacophila pascoei* (Mc Lachlan, 1879)	–	Ст. 1, 8
	Отр. Diptera		
71.	*Tabanus sp.*	Ст. 8, 10	Ст. 2
72.	*Culicoides sp.*	Ст. 10	Ст. 6, 7, 8, 9
73.	*Palpomia sp.*	–	Ст. 1, 2
74.	*Chaoborus sp.*	Ст. 1	–
	MOLLUSCA		
	Класс Bivalvia		
75.	*Pisidium sp.*	Ст. 7, 11	Ст. 1, 9
76.	*Sphaerium sp.*	–	Ст. 2, 6, 7, 9
77.	*Unio sp.*	Ст. 5, 10	Ст. 6
78.	*Anodonta sp.*	Ст. 10	–
	Класс Gastropoda		
79.	*Viviparus viviparus* (Linne, 1758)	Ст. 10, 11	Ст. 1, 8, 9
	Nematoda		
80.	Nematoda *gen. sp.*	Ст. 7, 8, 9, 11	Ст. 2
	CRUSTACEA		
81.	*Asellus aquaticus* (Linne, 1758)	–	Ст. 8

сравнению с августом. Противоположная тенденция наблюдается для участка, расположенного в среднем течении, где осенняя проба показывает явное ухудшение состояния бентоса, обеднение видового состава, снижение численности и разнообразия. Для станций, находящихся близ пос. Брыкин Бор, не наблюдается значительных изменений состояния бентосных биоценозов в сентябре по сравнению с августом, за исключением станции 2, где осенью повышаются показатели численности, биомассы и разнообразия.

Из вышеизложенного можно сделать выводы.

1. В р. Пра обнаружен 81 вид беспозвоночных, в том числе 58 видов в августе и 60 – в сентябре. Наиболее распространенные виды – олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Tubifex tubifex*, хирономиды *Procladius* подр. *holotanypus* – виды альфа-мезосапробы, обитатели загрязненных местообитаний. Однако в р. Пра достаточно высока доля организмов, характерных для умеренно загрязненных зон, которая повышается в устьевой зоне по сравнению с верхним течением. По составу бентосных беспозвоночных р. Пра можно отнести к умеренно загрязненным.

2. В верхнем и устьевом участках р. Пра количественные характеристики макрозообентоса показывают улучшение его состояния осенью по сравнению с летним периодом. В районе пос. Брыкин Бор заметных изменений не наблюдается, в среднем течении состояние бентоса осенью хуже, чем летом.

3. По совокупности количественных показателей исследуемый водоток можно отнести к категории умеренно загрязненных, с участками слабого или сильного загрязнения.

Литература

Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод, 2000. № 1. С. 68-77.

Иванчев В.П., Иванчева Е.Ю. Круглоротые и рыбы Рязанской области и прилежащих территорий. Рязань, 2010. 292 с.

Рекомендации по методике количественного учета пресноводных беспозвоночных / Под ред. Н.А. Дзюбана. Л., 1968. 22 с.

Семерной В.П. Санитарная гидробиология. Учебное пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2005. 203 с.

Финогенова Н.П., Алимов А.Ф. Оценка степени загрязнения вод по составу донных животных // Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 56-63.

ПАРАЗИТОФАУНА И КОМПОНЕНТНОЕ СООБЩЕСТВО *PHOXINUS PHOXINUS* (L.) ИЗ НИЗОВИЙ РЕКИ ШАЙТАНОВКА (БАССЕЙН ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ПЕЧОРА)

Л.Е. Гаврилина, А.А. Ситар
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: sitaraa@yandex.ru

У гольяна из бассейна верхней Печоры отмечено 68 видов паразитов (Доровских и др., 2009), сделаны описания компонентных сообществ, найден эпителиоподобный вариант пигментной меланомы (Доровских и др., 2006, 2007). В большем числе опухоли у рыб зарегистрированы в конце июня – первой половине июля и в конце августа (Доровских и др., 2007). В августе у гольяна отмечен рост числа опухолей, биомассы и численности паразитов, в другие периоды весенне-летнего сезона года такой однозначности в их встречаемости не наблюдали (Доровских, Шергина, 2009). Показано (Доровских и др., 2006), что у гольяна 1+ с опухолями набор паразитов и их количественная представленность одинаковы с двухлетними хозяевами без опухолей, тогда как у молоди гольяна с опухолями и без них видовой состав паразитов различен. Сбор материала для этой работы произведен в районе устья р. Левобережной Гаревки, впадающей в верховья р. Печора. Уровень поражения опухолями гольяна здесь не превышает 3%. Гольян с опухолями был отловлен из участка реки значительной протяженностью и относился к разным группировкам. Последнее, естественно, отразилось на составе его паразитофауны. Позже (Доровских и др., 2007), в приустьевом участке р. Шайтановка (правый приток верхней Печоры), обнаружены скопления гольяна с экстенсивностью поражения меланомой до 36.8%. В связи с этим появилась возможность исследовать паразитофауну и компонентные сообщества паразитов рыб с опухолями и без опухолей, относящихся к одному стаду.

Сбор материала произведен в начале июля 2010 г. из низовий р. Шайтановка, в районе кордона, где находится стоянка лодок (пункт сбора 1) и «заливчик» (пункт сбора 2). Всего исследовали 53 экз. гольяна возрастом 1+, из них 23 экз. рыб с опухолями. Обработка материала проведена по общепринятым методикам. Описание компонентного сообщества паразитов рыб сделано по опубликованной схеме (Доровских, 2002).

У гольяна из р. Шайтановка обнаружено 13 видов паразитов (табл. 1), относящихся к шести систематическим группам: Myxosporidia – 1 вид, Monogenea – 6, Cestoda – 1, Trematoda – 2, Nematoda – 2, Acantocephala – 1. Все исследованные рыбы поражены метацеркариями *Diplostomum phoxini*, в меньшей степени гольян заражен личинками *Raphidascaris acus*. Остальные виды паразитов встречены в единичных экземплярах. *Myxobolus musculi*, *Dactylogyrus borealis*, *Gyrodactylus aphyae*, *Gyrodactylus laevis*, *Allocreadium isoporum*, *Diplostomum phoxini*, *Raphidascaris acus* и *Neoechinorinchus rutili* формируют ядро паразитофауны гольяна, т.е. сово-

Таблица 1

Паразитофауна *Phoxinus phoxinus* (L.) из низовий р. Шайтановка

Вид паразита	Пункт сбора 1		Пункт сбора 2	
	Гольян без опухолей	Гольян с опухолями	Гольян без опухолей	Гольян с опухолями
	1+ (n = 15)	1+ (n = 12)	1+ (n = 15)	1+ (n = 11)
Myxobolus musculi Keysselitz, 1908	–	–	1(0.13)	–
Dactylogyrus borealis Nybelin, 1936	–	–	1(0.07)	–
Gyrodactylus aphyae Malmberg, 1957	?(1.06)	?(0.93)	?(13.73)	?(1.06)
Gyrodactylus macronychus Malmberg, 1957	-	?(0.06)	?(0.13)	–
Gyrodactylus limneus Malmberg, 1957	?(0.40)	?(0.06)	?(0.06)	–
Gyrodactylus laevis Malmberg, 1957	?(1.60)	?(0.33)	–	–
Gyrodactylus magnificus Malmberg, 1957	?(0.20)	?(0.13)	–	?(0.13)
Schistocephalus nemachili Dudinina, 1959	1(0.27)	–	–	–
Allocreadium isoporum Looss, 1894	1(0.40)	–	1(1.40)	1(0.82)
Diplostomum phoxini L. Faust, 1918	15(153.20)	15(81.00)	13(64.07)	10(67.63)
Raphidascaris acus Bloch, 1779	15(12.20)	5(1.50)	12(8.60)	8(3.73)
Rhabdochona phoxini Moraves, 1968	5(0.53)	2(1.25)	3(1.27)	1(1.64)
Neoechinorinchus rutili Muller, 1780	–	–	–	1(0.91)
Всего видов	9	8	9	7

Примечание: перед скобками – количество зараженных рыб (экз.); в скобках – индекс обилия (экз.); ? – паразиты собраны из осадка в материальной банке, в которых рыба хранилась до вскрытия.

купность видов, встречающихся у хозяина на большей части его ареала (Доровских, 2002). Остальные пять видов отмечены у широкого круга хозяев.

В пункте сбора 1 у гольяна возрастом 1+ без опухолей и с опухолями обнаружено девять и восемь видов паразитов соответственно (табл. 1). Здесь наблюдается 100%-ная зараженность рыбы метацеркариями *Diplostomum phoxini*. У гольяна, не пораженного опухолями, отмечена единичная находка плероцеркоида *Schistocephalus nemachili*.

Паразитофауна гольяна, не пораженного и пораженного новообразованиями, из пункта сбора 2 представлена девятью и семью видами паразитов соответственно (табл. 1). Общими для обеих выборок гольяна стали представители классов Monogenea, Trematoda, Nematoda. Скребень *Neoechinorinchus rutili* обнаружен только у рыб с опухолями.

В составе паразитофауны гольяна без опухолей и с опухолями существенных различий не обнаружено.

В сообществах паразитов здорового и пораженного опухолями гольяна возрастом 1+ по своим характеристикам могут быть отнесены к незрелым (табл. 2). Для них характерны высокие значения индекса доминирования; низкие – индексов выравненности видов и Шеннона; имеется ярко выраженный вид доминант – *Diplostomum phoxini*. В рассматриваемых сообществах преобладают автогенные виды и виды-специалисты.

В сообществе паразитов гольяна без опухолей и с опухолями из пункта сбора 1 отмечено по три группы паразитов (табл. 2). Суммы оши-

Таблица 2

Характеристика компонентных сообществ паразитов *Phoxinus phoxinus* (L.) из низовий р. Шайтановка

Показатели	Пункт сбора 1		Пункт сбора 2	
	Гольян без опухолей	Гольян с опухолями	Гольян без опухолей	Гольян с опухолями
	1+	1+	1+	1+
Исследовано рыб	15	12	15	11
Общее число:				
видов паразитов	7	5	9	7
особей паразита	2514	1000	1321	806
Общее значение условной биомассы	391.6	153.6	221.3	124.8
Количество видов:				
автогенных	5	4	8	6
аллогенных	2	1	1	1
Доля:				
особей автогенных видов	0.086	0.028	0.273	0.077
биомасса автогенных видов	0.073	0.030	0.335	0.086
особей аллогенных видов	0.914	0.972	0.727	0.923
биомасса аллогенных видов	0.927	0.970	0.665	0.914
Количество видов-специалистов	4	4	6	4
Доля:				
особей видов-специалистов	0.926	0.982	0.900	0.947
биомасса видов- специалистов	0.923	0.988	0.936	0.956
Количество видов-генералистов	3	1	3	3
Доля:				
особей видов-генералистов	0.074	0.018	0.100	0.053
биомасса видов-генералистов	0.077	0.012	0.064	0.044
Доминантный вид:				
по числу особей	D. p.	D. p.	D. p.	D. p.
по значению биомассы	D. p.	D. p.	D. p.	D. p.
Характеристика доминантного вида	ал/с	ал/с	ал/с	ал/с
Индекс Бергера- Паркера:				
по числу особей	0.914	0.972	0.727	0.923
по биомассе	0.899	0.970	0.665	0.914
Выравненность видов:				
по числу особей	0.176	0.097	0.383	0.178
по биомассе	0.182	0.108	0.447	0.215
Индекс Шеннона:				
по числу особей	0.343	0.155	0.841	0.346
по значению биомассы	0.354	0.173	0.981	0.418
Сумма ошибок уравнений регрессии	0.107	0.194	0.204	0.122

Примечание. D.p. – *Diplostomum phoxini*, ал – аллогенный вид, с – вид-специалист.

бок уравнений регрессии, описывающих разброс значений условных биомасс видов в составе сообщества, не превышают критического значения 0.250 (Доровских, 2002). По численности и биомассе в сообществе лидирует *Diplostomum phoxini,* преобладают автогенные виды и виды-специалисты (табл. 2). Индексы доминирования Бергера-Паркера высокие, индексы Шеннона и выравненности видов – низкие.

В «графической структуре» паразитарного сообщества из пункта сбора 2 у рыб без новообразований виды по значениям своих условных биомасс поделились на две группы, в сообществе паразитов гольяна, пораженного опухолями, – на три (табл. 2). Суммы ошибок уравнений регрессии ниже критического. По численности и биомассе лидирует *Diplostomum phoxini,* преобладают автогенные виды и виды-специалисты. Сообщества паразитов гольяна без опухолей имеют средние значения индексов Бергера-Паркера и выравненности видов, высокие – индекса Шеннона. У гольяна с опухолями значения индекса доминирования Бергера-Паркера высокие, низкие – индекса выравненности видов, средние – индекса Шеннона.

Компонентные сообщества гольяна без опухолей и с опухолями из низовий р. Шайтановка состоят из трех групп видов. Суммы ошибок уравнений регрессии, описывающих разброс значений биомасс видов, входящих в сообщество, не превышают критического значения 0.250. По численности и биомассе лидирует *Diplostomum phoxini,* преобладают автогенные виды и виды-специалисты.

Литература

Доровских Г.Н. Паразиты пресноводных рыб северо-востока европейского части России (Фауна, экология паразитарных сообществ, зоогеография): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2002. 69 с.

Доровских Г.Н., Седрисева В.А., Степанов В.Г., Бознак Э.И. Встречаемость опухолей *Phoxinus phoxinus* (L.), их влияние на организм гольяна, его паразитофауну и компонентное сообщество его паразитов // Паразитология, 2006. Т. 40. Вып. 3. С. 225-243.

Доровских Г.Н., Степанов В.Г., Шергина Н.Н. Паразитофауна гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из водоемов северо-востока европейской части России. Сыктывкар, 2009. 114 с.

Доровских Г.Н., Турбылева В.А., Вострикова А.В., Шергина Н.Н. Встречаемость опухолей у гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из бассейнов рек Северная Двина и Печора // Биология внутренних вод, 2007. № 4. С. 76-82.

Доровских Г.Н., Шергина Н.Н. Сезонная встречаемость, локализация, размеры и микобиота опухолей у гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из бассейнов рек Северная Двина и Печора // Проблемы ихтиопаразитологии в начале XXI века (к 80-летию создания лаборатории болезней рыб ФГНУ ГосНИОРХ). СПб, 2009. С. 64-70.

ЭКОЛОГИЯ И МОРФОЛОГИЯ ЛЯГУШЕК ЛЕСОСТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

М.В. Горбатова
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: chamomile-m@mail.ru

Изучению земноводных лесостепных экосистем европейской части России посвящены некоторые работы (Климов, 1996; Недосекин и др., 1996; Ткаченко, Хицова, 2004). Несмотря на это, мы сочли необходимым внести вклад в изучение лягушек Придонья при предоставившейся возможности во время полевой практики.

Полевые исследования лягушек осуществлялись нами на протяжении двух летних сезонов 2010 и 2011 гг. в лесостепных экосистемах Липецкой и Воронежской областей. Основные наблюдения и учеты численности проводились на территориях государственного природного заповедника «Галичья Гора» (Липецкая область) и биоцентра «Веневитиново» Воронежского гос. университета (Воронежская область).

Протяженность учетного маршрута, заложенного на береговых участках р. Дон, составила 1 км. Было выбрано три участка, отличающихся растительным покровом:

1) пологий открытый песчаный берег шириной менее 1 м, на котором водная растительность представлена нитчатыми водорослями;

2) каменистый заиленный берег с хорошо развитой водной и прибрежной растительностью;

3) береговой участок р. Дон с повышенной степенью рекреационных воздействий и нарушенной растительностью.

С целью морфологического обследования лягушки отлавливались на шести выбранных площадках по 100 м^2 каждая. Отловленные сачком животные помещались во влажный мешок. Морфометрическая обработка их осуществлялась в лабораторных условиях. Животные после обработки возвращались в места их обитания.

Основные изучаемые нами морфометрические параметры были следующими:

L. – расстояние от кончика морды до центра клоакального отверстия,

L.c. – расстояние от кончика морды до края затылочного отверстия,

Lt.c. – максимальная ширина головы у основания нижних челюстей,

D.r.o. – расстояние от кончика морды до переднего края глаза,

Sp.c.r. – расстояние между внутренними краями темных носовых полосок у переднего края глаза,

D.n.o. – расстояние от ноздри до переднего края глаза,

L.o. – наибольшая длина глазной щели,

Lt.p. – наибольшая ширина верхнего века,

Sp.p. – наименьшее расстояние между внутренними краями верхних век,

Sp.n. – расстояние между ноздрями,

L.tym. – наибольшая длина барабанной перепонки,

F. – длина бедра от клоакального отверстия до наружного края сочленения,

T. – длина голени,

D.p. – длина первого пальца задней ноги от дистального основания внутреннего пяточного бугра до конца пальца,

D.t. – длина среднего (третьего) пальца задней ноги,

C.int. – наибольшая длина внутреннего пяточного бугра в его основании.

Все размеры в настоящей работе приведены в миллиметрах.

Нами были отловлены и обработаны 104 особи озерной лягушки с территории заповедника, шесть особей съедобной и восемь – озерной лягушек, отловленных на территории биоцентра.

В районах наших исследований было отмечено пять видов лягушек: озерная – *Rana ridibunda,* прудовая – *R. lessonae,* съедобная – *R. esculenta,* остромордая – *R. arvalis* и травяная – *R. temporaria* (Нумеров и др., 2010). Из них изучены две формы: озерная и съедобная.

Распространение лягушек на обследованных территориях приурочено к водоемам, в том числе р. Дон. Озерная лягушка экологически наиболее пластична. Она держится в водоемах со стоячей водой или выбирает участки реки со слабым течением. Далеко от водоема обычно не удаляется. Предпочитает береговые участки с хорошо развитым растительным покровом, который использует в качестве укрытий. На открытых песчаных берегах встречается редко. Съедобная лягушка обитает в основном в стоячих водах с относительно высокой температурой. Может встречаться во влажных лесах и вдали от водоема.

Учеты численности лягушек, проведенные в различных участках, позволили нам получить следующие результаты. Относительная численность озерной лягушки на открытом песчаном берегу р. Дон на территории заповедника составила в период с 21 июля по 8 августа 2010 г. в среднем 25 ос./км, а в июле 2011 г. – 19. На заиленном каменистом берегу р. Дон относительная численность озерной лягушки в те же сроки 2010 г. составила в среднем 447 ос./км, в 2011 г. – 223. Более низкие показатели численности озерной лягушки в 2011 г. можно объяснить, по-видимому, засушливой погодой с высокими дневными и ночными температурами в этот год по сравнению с предыдущим.

В первой половине 2000-х гг. показатели относительной численности озерной лягушки варьировали здесь от 109.5 до 1510.0 ос./км (Ушаков, 2005). Эти высокие показатели численности лягушек можно также, по-видимому, связать с более засушливым летом 2010 и 2011 гг. с высокими температурами по сравнению с предыдущими годами.

Результаты морфологического обследования отловленных лягушек представлены в табл. 1-3. Самки озерной лягушки оказались несколько крупнее самцов (табл. 1).

Таблица 1

Основные статистические показатели морфометрических параметров озерной лягушки без учета возраста (Липецкая область, заповедник)

Морфометрический параметр*	max	min	$\bar{x}$	σ	± m
L.	93.0/99.0	19.0/43.0	65.7/71.3	13.62/17.07	1.55/3.82
L.c	33.9/27.6	5.3/12.1	16.7/18.1	4.32/3.98	0.49/0.89
Lt.c	34.2/35.7	7.4/14.4	22.9/24.4	4.98/6.06	0.57/1.36
F.	13.4/17.1	2.5/6.4	8.7/10.4	1.88/2.82	0.21/0.63
T.	8.8/9.2	1.7/2.3	5.6/5.9	1.70/1.82	0.19/0.41
D.t.	8.0/7.0	2.0/3.0	4.6/4.8	0.92/1.26	0.11/0.28
D.r.o.	17.1/14.7	4.4/6.4	9.0/10.1	1.97/2.39	0.22/0.54
Sp.c.r.	8.8/9.2	1.7/2.3	5.7/5.9	1.72/1.75	0.20/0.39
D.n.o.	8.0/7.0	3.2/3.0	4.7/5.0	0.85/1.29	0.10/0.29
L.o.	9.2/9.8	4.0/5.0	6.9/7.4	1.05/1.43	0.12/0.32
Lt.p.	6.1/6.4	2.5/3.1	4.3/4.9	0.79/1.03	0.09/0.23
Sp.p.	5.5/4.2	1.9/2.4	5.5/3.1	0.75/0.44	0.09/0.10
Sp.n.	6.2/6.9	3.1/3.1	4.7/4.8	0.74/1.16	0.08/0.26
L.tym.	7.0/6.9	2.8/3.6	4.8/5.3	0.82/0.96	0.09/0.22
D.p.	16.7/17.7	5.6/7.2	12.0/12.8	2.14/3.02	0.24/0.68
C.int.	4.9/5.3	1.9/2.1	3.4/3.8	0.64/1.02	0.07/0.23

* В числителе – показатели самцов (n = 77), в знаменателе – самок (n = 20).

Сравнение морфометрических параметров озерной лягушки различных популяций (табл. 1 и 2) показало, что особи данного вида в экосистемах заповедника несколько превосходят по размерам лягушек экосистем биоцентра. Эта разница в размерах, по-видимому, не достоверна и, возможно, связана с тем, что в относительно малую выборку лягушек территории биоцентра попали молодые особи, по размерам уступающие взрослым. Съедобные лягушки (табл. 3) в среднем оказались по размерам несколько мельче озерных.

В заключение можно сказать, что для обследованных территорий лесостепных экосистем Липецкой и Воронежской областей вполне обычными видами лягушек являются озерная и съедобная. Распространение лягушек приурочено к водоемам различного

типа, численность достаточно заметно меняется по годам и зависит, по-видимому, от климатических особенностей года, в частности, от температуры и влажности.

Автор выражает благодарность директору заповедника «Галичья Гора» Н.Я. Скользневу за предоставленную возможность прохождения полевой практики на базе заповедника и студентам биолого-почвенного факультета Воронежского гос. университета за помощь в сборе материала.

Литература

Климов А.С. Класс земноводные Amphibia // Природные ресурсы Воронежской области. Позвоночные животные. Кадастр. Воронеж: Биомик, 1996. С. 36-40.

Недосекин В.Ю., Климов С.М., Сарычев В.С., Александров В.Н. Позвоночные животные Липецкой области и их охрана: Учебное пособие. Липецк, 1996. 79 с.

Нумеров А.Д., Климов А.С., Труфанова Е.И. Полевые исследования наземных позвоночных: Учебное пособие. Воронеж: Полиграфический центр ВГУ, 2010. 301 с.

Ткаченко А.В., Хицова Л.Н. О распространении и численности некоторых амфибий и рептилий Воронежской области // Состояние и проблемы экосистем среднерусской лесостепи / Тр. биол. учеб.-науч. центра «Веневитиново» Воронежского гос. ун-та. Воронеж, 2004. Вып. 17. С. 49-54.

Ушаков М.В. Фауна земноводных и пресмыкающихся заповедника «Галичья Гора» // Состояние особо охраняемых природных территорий европейской части России: Сб. научных статей, посвященный 70-летию Хоперского государственного природного заповедника. Воронеж, 2005. С. 437-441.

Таблица 2

Основные статистические показатели морфометрических параметров половозрелых особей озерной лягушки без учета половой принадлежности (Воронежская область, биоцентр)

Морфометрический параметр	max	min	$\bar{x}$	σ	± m
L.	52.5	45.8	48.6	2.66	1.00
L.c.	15.5	12.9	14.24	1.08	0.41
Lt.c.	17.3	14.7	16.14	0.85	0.32
F.	22.4	20.0	22.20	1.74	0.66
T.	25.5	21.5	23.89	1.60	0.60
D.p.	16.5	8.4	10.90	3.62	1.37
D.r.o.	8.0	6.6	7.26	0.50	0.19
L.o.	8.2	3.0	5.91	2.07	0.78
L.tp.	4.0	3.4	3.71	0.23	0.09
Sp.p	7.7	5.8	6.77	0.71	0.27
L.tym	4.7	3.5	4.07	0.49	0.18
C.int	3.0	2.4	2.63	0.21	0.08

Таблица 3

Основные статистические показатели морфометрических параметров половозрелых особей съедобной лягушки без учета половой принадлежности (Воронежская область, биоцентр)

Морфометрический параметр	max	min	$\bar{x}$	σ	± m
L.	63.0	47.8	58.7	5.59	2.28
L.c.	22.9	17.8	21.3	1.83	0.74
Lt.c.	24.0	18.7	21.6	1.81	0.74
F.	28.4	25.0	26.9	1.23	0.50
T.	31.5	25.0	28.7	2.71	1.11
D.p.	27.1	17.0	21.4	3.29	1.34
D.r.o.	11.0	8.3	9.8	0.99	0.40
L.o.	12.4	3.0	4.8	3.74	1.53
L.tp.	5.7	4.0	4.7	0.71	0.29
Sp.p	6.7	5.6	6.3	0.37	0.15
L.tym	5.3	4.2	5.0	0.39	0.16
C.int	5.5	3.5	4.3	0.78	0.32

ВЕСЕННЯЯ МИГРАЦИЯ РЖАНКООБРАЗНЫХ ПТИЦ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫСОЛА (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Е.В. Данилова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: hvdan@rambler.ru

Наблюдения за миграцией ржанкообразных птиц проведены в низовьях р. Сысола 5 апреля–31 мая 2010 г. по методике Э.В. Кумари (1955). Зарегистрировано шесть подсемейств: Larinae, Charadriidae, Vanellinae, Tringinae, Calidrinae и Nimeninae.

На весеннем пролете отмечено 17 видов ржанкообразных птиц. Во время миграции доминировали сизая и озерная чайки, субдоминантами были чибис, турухтан и большой веретенник. Численность остальных видов не превышала 1% (рис. 1).

Семейство Laridae

Подсемейство Larinae

Первые сизые чайки (*Larus canus*) прилетели 8 апреля в районе исследования, когда на полях еще лежал снег, а на реке появились забереги, окончание пролета отмечали 22 мая (см. таблицу). Массовый пролет птиц проходил четырьмя волнами. Наиболее интенсивно птицы летели с конца апреля по начало мая. Чайки мигрировали стаями от 10 до 150 особей на высоте от 100 до 150 м на север, реже – на юг.

Озерную чайку (*Larus ridibundus*) в районе исследования наблюдали 16 апреля (см. табли-

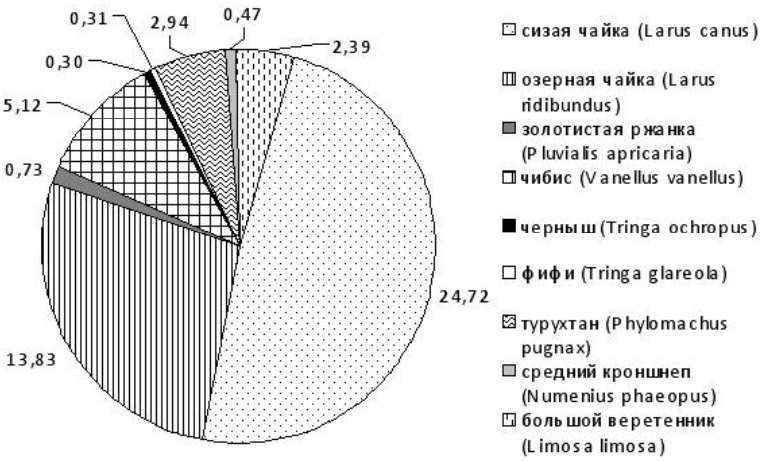


Рис. 1. Доля (%) видов ржанкообразных птиц на пролете в низовьях р. Сысола весной 2010 г.

цу). Массовый пролет проходил с 1 по 8 мая. Последние птицы регистрировались 24 мая. Чайки мигрировали стаями (10 и 100 особей) на высоте 100 м на север. Серебристая чайка (*Larus argentatus*) появлялась 25 апреля (см. таблицу). Птицы летели поодиночке и парами.

Подсемейство Sterninae

Наиболее поздними, 20 мая, и немногочисленными мигрантами были речные крачки (*Sterna hirundo*).

Семейство Scolopacidae

Подсемейство Numeniinae

Средний кроншнеп (*Numenius phaeopus*) отмечен 19 апреля. Этого кулика обычно наблюдали на сенокосных лугах ранним утром или вечером перед закатом парами и стаями до семи особей. Птицы летели на высоте 150 м на север. Большой кроншнеп (*Numerius arquata*) появился вслед за средним кроншнепом 26 апреля и летел парами.

Небольшие стайки и пары большого веретенника (*Limosa limosa*) зарегистрировали 1 мая. Птицы останавливались на заливных лугах и полях. В большом количестве кулики летели 6 мая (стаи до 114 особей). Пролет куликов закончился 12 мая (см. таблицу).

Подсемейство Trinaginae

В этом подсемействе наиболее ранний мигрант – мородунка (*Xenus cinereus*). Ее прилет наблюдался 26 апреля (см. таблицу), окончание пролета – 24 мая. Черныш (*Tringa ochropus*) прилетел 30 апреля. Пик миграции проходил 1 мая. Пролет завершился 11 мая. Фифи (*Tringa glareola*) появился 2 мая, последних птиц отметили 21 мая.

Большой улит (*Tringa nebularia*) небольшими стаями (три-четыре особи), парами или поодиночке мигрировал с 6 мая. Окончание пролета отмечалось 12 мая. Перевозчик (*Actitis hypoleucos*) начал миграцию 6 мая, его окончание наблюдалось 16 мая. Травник (*Tringa tetanus*) появился 7 мая. Птицы летели поодиночке, парами и стаями (три-четыре, реже по шесть особей). Окончание пролета – 24 мая.

Подсемейство Calidrinae

Турухтан (*Phylomachus pugnax*) появился в районе наблюдения 2 мая (см. таблицу). Птицы останавливались на карьерах и заливных лугах. Пик миграции пришелся на 11 мая. Окончание миграции регистрировалось 24 мая. Птицы летели на высотах 80-100-150 м на север и восток стаями по 10-20 и 89 особей.

Белохвостые песочники (*Calidris teminckii*) появились 6 мая и закончили пролет 15 мая.

Семейство Charadriidae

Чибисы (*Vanellus vanellus*) в районе исследования появились, когда поля еще были под снегом, с появлением небольших проталин – 5 апреля (см. таблицу). Массовая миграция наблюдалась 21-22 апреля. Птицы летели до 49 особей на высоте 100-150 м. Окончание пролета – 21 мая.

Золотистая ржанка (*Pluvialis apricaria*) наблюдалась на пролете с 23 мая. Кулики мигрировали стаями (до 63 особей) на высоте 150 м в северо-восточном направлении.

Таким образом, пролет ржанкообразных птиц проходил в три этапа. В первую волну летели

Сроки весеннего пролета ржанкообразных птиц в бассейне р. Сысола в 2010 г.

Вид	Начало пролета	Массовый пролет	Окончание пролета
Сизая чайка (*Larus canus*)	8 апреля	21 апреля/ 30 апреля– 2 мая/6-7 мая/ 9 мая	22 мая
Серебристая чайка (*Larus argentatus*)	25 апреля	–	–
Озерная чайка (*Larus ridibundus*)	16 апреля	1-2 мая/8 мая	24 мая
Речная крачка (*Sterna hirundo*)	20 мая	–	–
Золотистая ржанка (*Plumayialis apricaria*)	23 мая	–	–
Чибис (*Vanellus маяanellus*)	5 апреля	21-22 апреля	21 мая
Кулик-сорока (*Haematopus ostralegus*)	8 мая	–	–
Черныш (*Tringa ochropus*)	30 апреля	1 мая	11 мая
Фифи (*Tringa glareola*)	2 мая	21 мая	21 мая
Большой улит (*Tringa nebularia)*	6 мая	–	12 мая
Травник (*Tringa tetanus)*	7 мая	–	24 мая
Мородунка (*Xenus cinereus*)	26 апреля	–	24 мая
Перевозчик (*Actitis hypoleucos*)	6 мая	–	16 мая
Белохвостый песочник (*Calidris teminckii*)	6 мая	–	15 мая
Турухтан (*Phylomachus pugnax*)	2 мая	11 мая	24 мая
Средний кроншнеп (*Numenius phaeopus*)	19 апреля	–	12 мая
Большой кроншнеп (*Numerius arquata*)	26 апреля	–	12 мая
Большой веретенник (*Limosa limosa)*	01 мая	6 мая	12 мая

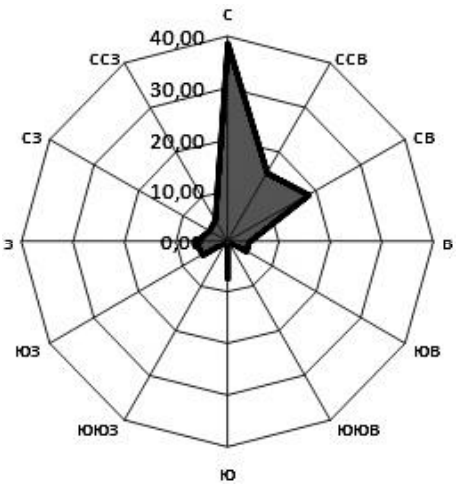


Рис. 2. Направление весеннего пролета ржанкообразных птиц в в низовьях р. Сысола в 2010 г.

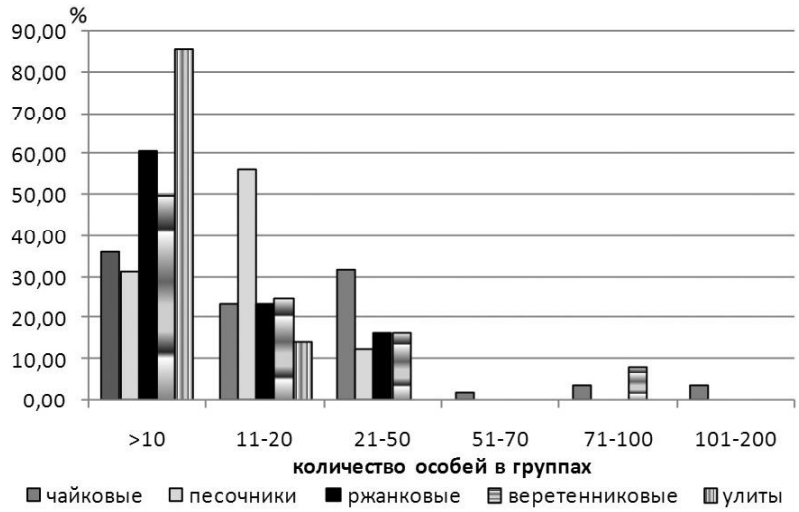


Рис. 3. Количество ржанкообразных птиц в группах на весеннем пролете в низовьях р. Сысола в 2010 г.

чибис, сизая и озерная чайки. Во вторую – сизая и озерная чайки, черныш, большой веретенник и турухтан; в третью – фифи, турухтан и золотистая ржанка.

В районе исследования основное направление миграции ржанкообразных – северное (рис. 2). Наибольшее число птиц летело на север, северо-восток и восток. Наличие южного направления может быть обусловлено «обратной» миграцией, связанной с непогодой на трассе пролета и поиском отдыха.

Для ржанкообразных птиц характерна миграция парами, небольшими стаями (до 10-50 особей). Наиболее крупными скоплениями (до 100-200 особей) пролетали сизая и озерная чайки и большой веретенник (рис. 3).

Рис. 4. Высота пролета ржанкообразных птиц на весеннем пролете в низовьях р. Сысола в 2010 г.

Высота весенней миграции для каждого подсемейства имела свои особенности. Чайки летели на высоте 100 м, кулики (средний кроншнеп, большой веретенник и чибис) – 100-150 м, средние по величине кулики (турухтаны и ржанки) мигрировали до 200 м, а черныш и фифи – до 100 м (рис. 4).

Литература

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

ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР ВОЛЧЬИХ (МЕГОРСКИЙ БАССЕЙН) ЗА ПЕРИОД 2002–2011 ГОДЫ

З.В. Евтушенко
Северный филиал Полярного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича
E-mail: evtushenko@pinro.ru

Озера Волчьи, относящиеся к бассейну р. Мегра, находятся в центральной части Беломорско-Кулойского п-ова и расположены в длинной узкой котловине ледникового генезиса. Общая протяженность обоих водоемов составляет 6.5 км, они соединены протокой шириной около 8 м, длиной порядка 15 м и глубиной около 1 м. Озера слабопроточные, разгрузка поступающих вод верхнего озера происходит через протоку в нижнее озеро, в северную часть которого впада-

ет и на расстоянии порядка 200 м вытекает р. Волчья. Общая площадь озер составляет 130 га. Максимальная глубина (32 м) обнаружена в южной части нижнего озера, средняя глубина по гидробиологическим станциям составляет 15.9 м (Отчет..., 2002).

Исследованные озера располагаются в 1.5 км к северу от района алмазоразработок (месторождения им. В.П. Гриба), где с 2007 г. ведутся поисково-разведочные работы, а с 2013 г. предполагается начало промышленной разработки месторождения. Проводимые работы, неизбежно затрагивают водные экосистемы, при этом антропогенная нагрузка на площадь водосбора озер неуклонно возрастает. Это может привести к изменению составляющих абиотических и биотических компонентов, а именно – водного режима и гидрохимических показателей воды, видового состава ихтиофауны и уровня развития ее кормовой базы, а также численности рыб и их продуктивности. Это свидетельствует об актуальности и практической значимости проведенного исследования, результаты которого дают возможность проследить динамику основных количественных показателей зоопланктона (численность и биомасса) под воздействием природных и антропогенных факторов.

Материалом для написания работы послужили данные, собранные на исследуемых озерах за десятилетний период (с 2002 по 2011 г.). Зоопланктонные пробы отбирались малой сетью Джеди (газ № 49) с диаметром входного отверстия 0.10 м. Пробы фиксировались 4%-ным раствором формалина. В лабораторных условиях обработка проб проводилась согласно стандартным методикам (Методические..., 1989). Организмы идентифицировались с помощью определителей (Рылов, 1948; Мануйлова, 1964; Кутикова, 1970). Математическая обработка полученных данных проведена с использованием программного обеспечения АСОГД (автор и разработчик А.Р. Хазов, 2000). Всего собрано и обработано 86 зоопланктонных проб.

Известно, что зоопланктонные сообщества очень чутко реагируют на антропогенное воздействие и могут выступать в качестве индикаторной группы при соответствующих изменениях окружающей среды.

Качественный (или видовой) состав зоопланктона в исследованных озерах оказался довольно разнообразным и насчитывал в годы исследований до 46 видов и форм (индекс Шеннона составил 3.59 бит/экз.). Выявленные видовой состав и обилие форм зоопланктонных сообществ оказались сопоставимыми с планктонной фауной других озер бассейна р. Мегра (Западное Мегорское и Большое Восточное Мегорское). В составе зоопланктона озер Волчьих были выявлены виды-индикаторы олиготрофных условий и чистоты вод. В этом отношении следует отметить организмы *Kellicottia longispina*, *Conochilus sp, Cyclops scutifer, Cyclops strenuus.*

Численность зоопланктона в летний вегетационный период была довольно высокой и превышала 10 тыс. экз./м^3. Однако, в отдельные годы (2004 и 2007 гг.) из-за неблагоприятных гидрологических условий (вследствие затяжной весны) она была гораздо ниже. За весь период наблюдений наиболее широко были представлены веслоногие ракообразные (Copepoda). В качестве субдоминантной группы выступали коловратки (Rotatoria), которые доминировали в 2003 и 2010 гг., когда значения их численности составляли 62.5 и 54.2% соответственно от общей. В то же время несмотря на высокую численность они не принимали большого участия в формировании биомассы зоопланктонного сообщества. В целом по озерам наибольшую численность создавали науплиальные и копеподидные стадии *Cyclops scutifer*, *Cyclops strenuus, Daphnia longiremis, Daphnia cristata, Bosmina obtusirostris, Asplanchna priodonta, Kellicottia longispina, Conochilus* sp. При этом наблюдалась межгодовая смена доминирующих видов.

Уровень развития биомассы зоопланктона за период исследований также претерпевал колебания от 0.1-0.28 до 0.6-0.74 г/м^3. В целом, главную роль в формировании биомассы играли веслоногие ракообразные (Copepoda). В отдельные годы (2007, 2009 и 2011 гг.) значительную ее долю составляли ветвистоусые рачки (Cladocera). Общую биомассу всего зоопланктона формировали в первую очередь *Cyclops scutifer, Cyclops strenuus, Daphnia longiremis, Asplanchna priodonta*. Наибольшая плотность зоопланктона отмечалась в 2002 и 2003, а также в 2009-2011 гг., что, по всей видимости, было связано с благоприятными гидрологическими условиями (см. таблицу).

Следует отметить, что структура зоопланктонного сообщества в годы с минимальной и максимальной численностью организмов значительно различалась. В 2007 г. (минимальная численность) наблюдались практически одинаковые числовые значения для групп Cladocera и Copepoda, численность коловраток была невелика и, вследствие небольших размеров, они практически не принимали участия в формировании биомассы (рис. 1).

Напротив, в 2010 г. (максимальная численность) наблюдалось массовое развитие организмов этой группы, за счет чего и сложилась максимальная среднегодовая численность. В качестве субдоминантной группы выступали веслоногие ракообразные, которые формировали большую часть биомассы. Ветвистоусые ракообразные были незначительны по численности и биомассе (рис. 2).

Таким образом, в результате исследования выявилась динамика количественных показателей с резко выраженными минимальными значениями в 2004 и в 2007 гг. Это могло быть связано с неблагоприятными гидрологическими условиями, которые сформировались из-за затяжной

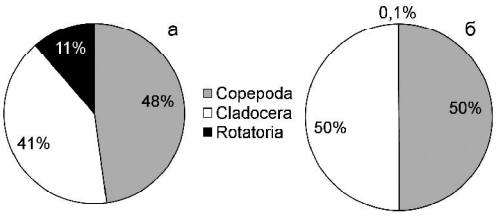


Рис. 1. Структура зоопланктонного сообщества в год с минимальной численностью организмов (2007 г.): а – по численности, б – по биомассе.

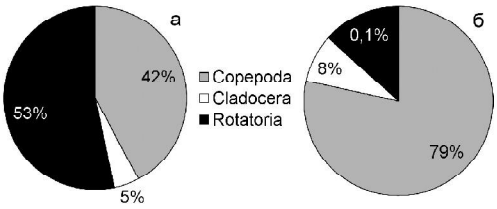


Рис. 2. Структура зоопланктонного сообщества в год с максимальной численностью организмов (2010 г.): а – по численности, б – по биомассе.

Средняя численность и биомасса зоопланктона за период 2002-2011 гг.

Год	Copepoda		Cladocera		Rotatoria		Всего	
	экз./м^3 / %	г/м^3 / %	экз./м^3 / %	г/м^3 / %	экз./м^3 / %	г/м^3 / %	экз./м^3	г/м^3
2002	17498 / 62.6	0.52 / 80.6	1344 / 4.9	0.11 / 16.9	10542 / 32.5	0.01 / 2.5	29384	0.64
2003	9560 / 35.7	0.19 / 73.1	480 / 1.8	0.01 / 3.8	16720 / 62.5	0.06 / 23.1	26760	0.26
2004	5969 / 65.5	0.11 / 89.4	186 / 2.0	<0.01 / 1.9	2963 / 32.5	0.01 / 8,7	9118	0.13
2005	12630 / 82.5	0.25 / 89.3	850 / 5.6	0.02 / 7.1	1820 / 11.9	0,01 / 3.6	15300	0.28
2007	2088 / 47.8	0.05 / 50	1790 / 40.9	0.05 / 50	493 / 11.3	<0.01 / <0.1	4371	0.1
2009	18603 / 50.9	0.4 / 59.7	7909 / 21.6	0.25 / 37.3	10038 / 27.5	0.02 / 3.0	36550	0.67
2010	22579 / 41.4	0.47 / 78.4	2422 / 4.4	0.05 / 8.3	29590 / 54.2	0.08 / 13.3	54591	0.6
2011	27390 / 70	0.57 / 77	5087 / 13	0.15 / 20.3	6623 / 17	0.02 / 2.7	39100	0.74

холодной весны. По всей видимости, произошло смещение сроков вегетации фитопланктона, что в свою очередь привело к более позднему развитию зоопланктона. Значительное превышение количественных показателей зоопланктона из сборов 2010-2011 гг. над значениями прошлых лет связано с гидрологической стабильностью и прогревом воды в эти годы.

В целом, исследования, проведенные в течение 10-летнего периода в районе поисково-разведочных работ при алмазоразработках, показали, что структура и количественные показатели зоопланктона озер Волчьих характерны для озер бассейна р. Мегра. В составе зоопланктона в сравнительно высоких количествах встречаются виды – индикаторы чистоты водных объектов. Наблюдаемая динамка минимальных и максимальных показателей развития зоопланктона определяется, прежде всего, погодными условиями конкретных лет. В период проведения геологоразведочных и поисковых работ на площади водосбора Волчьих озер пока не выявлено негативного воздействия на их водные экосистемы.

Работа выполнена в рамках мониторинговых исследований, проводимых на территории Верхотинской геологоразведочной площади по заявке ЗАО «Архангельскгеолдобыча».

Литература

Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.

Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки (*Cladocera*) фауны СССР. М.-Л.: Наука, 1964. 327 с.

Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989. 43 с.

Отчет о НИР СевПИНРО по теме 13-1-2002 «Рекогносцировочные исследования и разработка системы мониторинга водных экосистем Верхотинской геологоразведочной площади (бассейны рек Мегра и Сояна)» / Руководитель темы с.н.с., к.б.н. И.И. Студенов. Архангельск, 2002. 79 с.

Рылов В.М. Фауна СССР. Ракообразные. *Cyclopoida* пресных вод. М.-Л.: АН СССР, 1948. Т. III. Вып. 3. 318 с.

Хазов А.Г. Анализ гидробиологических данных и его программная реализация. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2000. 154 с.

СЛУЧАЙ ЗАБОТЫ БЕЛУХИ (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*) О ПОТОМСТВЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ (СОЛОВЕЦКОЕ РЕПРОДУКТИВНОЕ СКОПЛЕНИЕ, БЕЛОЕ МОРЕ)*

А.И. Желудкова
Северный (Арктический) Федеральный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: *ki-delf@mail.ru*

Несмотря на высокую заботу о потомстве для морских млекопитающих характерна высокая смертность новорожденных. Однако факты гибели детенышей наблюдались преимущественно в условиях неволи. Летом 2011 г. нами впервые удалось пронаблюдать за поведением самки белухи (*Delphinapterus leucas*) с мертвым новорожденным.

* Материал собран при экспедиции ИО РАН им. П.П. Ширшова.

Наблюдения проводились в месте репродуктивного скопления белух у мыса Белужий (район о-ва Соловецкий в Белом море) с наблюдательного пункта (НП) – вышки, максимальная высота которой достигала 12 м. Данная конструкция находилась на границе морской литорали в непосредственной близости от места, куда приплывали животные. Для визуального наблюдения использовался бинокль марки БПЦ (Увеличение 7-15×35 zoom). Съемки видео осуществлялись на цифровой фотоаппарат Coolpix L110 (12.1 megapixels, 15× zoom, HD Movie).

Самка белого окраса с мертвой особью появилась в скоплении 4 июля и приплывала к мысу каждый день до 10 июля включительно. Впервые за время наблюдений самка с мертвым новорожденным была замечена 4 июля в 14:37 (облачность составляла 30%, ветер западный, волнение не превышало 1 балла). Самка непрерывно подталкивала тело мертвой особи мордой впереди себя. У мертвой особи были признаки новорожденного, а именно наличие четких складок на теле, светло-коричневая окраска, большая голова. Самка с мертвым новорожденным впервые приплыла к скоплению в сопровождении пяти особей белухи разного окраса и возраста: белой (половозрелая) с темно-серой (неполовозрелый), светло-серой (потенциально половозрелый) с новорожденным, еще одной белой. Самка с мертвым детенышем направляла группу, плывя чуть впереди. Одна из половозрелых (белая) особей оттолкнула плывущую рядом серую особь, чтобы плыть рядом с самкой с мертвым детенышем. Затем эта же половозрелая особь занырнула под самку и плыла рядом с самкой с мертвым новорожденным. Возможно, половозрелая особь играла в данной группе роль так называемой тетки, помогающей беременной особи своего вида. Данная группа смешивалась с остальными особями скопления, однако рядом с самкой с мертвым детенышем периодически находился кто-то из данной группы.

5 июля в 16:17 самка с мертвым новорожденным плавала медленно, в 16:34 она была впервые замечена плавающей отдельно от остальных особей (в течение 1 мин. 31 с.).

6 июля в 4:00 (облачность 10%, ветер южный слабый, волнение 0 баллов) самка с мертвым детенышем плавала очень медленно, одна. Через 7 мин. к ней присоединились две серые особи. В этот же день самка с мертвым детенышем минимум еще шесть раз отдалялась от других особей и плавала одна. Максимальное время, когда самка с новорожденным плавала одна, составило 09 мин. 57 с.

7 июля самка выталкивала детеныша вяло, плавала в группе с остальными особями.

8 июля в 14:47 (облачность 5%, ветер восточный сильный, волнение 1.5 балла). На протяжении двух часов (17:47-20:00) самка с мертвым детенышем к югу от НП, головой к берегу, спокойно плавала и оставалась практически на одном месте.

9 июля самка с мертвым детенышем плавала спокойно, держалась обособленно от остальных особей.

10 июля в 20:15 (облачность 0%, ветер южный, волнение 1 балл) самка с мертвым новорожденным плавала отдельно от других особей, при попытке последних приблизиться к ней никак не отреагировала, после чего группа белух уплыла вперед, покинув самку. С 20:09 до 21:53 она плавала одна, к югу от НП, головой к берегу, затем уплыла в открытое море, без остальных особей.

В последующие дни самка с мертвым детенышем не наблюдалась, ее дальнейшая судьба неизвестна, кроме сведений от туристов, которые наблюдали ее 11 июля в 40 км от о-ва Соловецкий.

Общая картина наблюдений такова, что за все время наблюдений самка удерживала детеныша на поверхности воды, непрерывно подталкивая его мордой впереди себя. Ее поведение было довольно стереотипным: спокойное перемещение по акватории с периодическими занырами. Примечательно, что здоровые детеныши, в том числе и новорожденный, периодически с ней контактировали тактильно. Можно отметить, что на третий день детеныш увеличился в размерах примерно в 1.5-2 раза. С 4 по 10 июля самка с мертвым детенышем постепенно отдалялась от общего скопления, меньше контактировала с особями из последнего, плавала одна. Так, если 5 июля время, когда самка с мертвым новорожденным плавала одна, составляло 1 мин. 31 с., то 8 июля оно уже составило 2 ч. 13 мин., а 10 июля белуха практически все время плавала одна головой к берегу и не шла на контакт с другими особями.

Фиксировались дыхательные паузы белухи. Первые четыре дня дыхательная пауза самки составляла в среднем 11.8-22.2 с., а к 10 июля уменьшилась до 7.5 с. Хотя самка и продолжала удерживать детеныша над водой, выталкивания его на поверхность стали более редкими. Это может указывать на переутомление белухи от длительного ношения детеныша.

Данные о китообразных с мертвыми детенышами известны преимущественно в условиях неволи, однако в естественной среде упоминания о поведении самок с мертвым детенышем также встречаются.

Так, например, у берегов Эверглейдс (национальный парк в США) наблюдали взрослую афалину, выталкивающую из воды дельфиненка около 1 м длиной, погибшего три дня назад от покусов акулы (Томилин, 1974).

В другом случае в июле 2007 г. Хуан Гонсальво из НИИ «Тетис» (Италия), наблюдающий за афалинами (*Tursiops truncatus*), обратил внимание на мать с мертвым новорожденным. Последняя поднимала труп над поверхностью воды, «в очевидной попытке заставить его дышать». Самка афалины плавала с мертвым

новорожденным в течение двух дней. Предположительно, детеныш был убит другим дельфином, о чем свидетельствовал синяк на нижней челюсти (Целиков, 2011).

В нашем случае точно неизвестно, от чего погиб детеныш, внешних видимых повреждений обнаружено не было.

Таким образом, впервые удалось пронаблюдать поведение самки с мертвым детенышем в естественной среде обитания у белухи. Наши наблюдения еще раз свидетельствуют о высокой привязанности между матерью и детенышем.

Литература

Томилин А.Г. В мире китов и дельфинов. М.: Знание, 1980. 224 с.

Целиков Д. Китообразные понимают, что они смертны [Электронный ресурс] // НАУКА 21 ВЕК: Научно-популярный журнал. Дата обновления: 04.09.11. URL: http://nauka21vek.ru/archives/18458 (дата обращения: 10:26 30.03.12).

К ПОЗНАНИЮ ФАУНЫ НАСЕКОМЫХ КОМПЛЕКСНОГО ЗАКАЗНИКА «ПОНЪЮ-ЗАОСТРЕННАЯ»

А.Н. Зиновьева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: zinovjeva@ib.komisc.ru

Исследования проводились в июне 2010 г. в пойме рек Понъю и Заостренная Интинского р-на Республики Коми. По природно-зональному районированию данная территория относится к подзоне крайнесеверной тайги (Юдин, 1954). Насекомых собирали при помощи энтомологического сачка, кошением по травянистой и кустарниковой растительности, для сбора почвенных беспозвоночных были установлены ловушки Барбера (1931), также использовали визуальный учет и ручной метод сбора насекомых. Обилие видов оценивалось по пятибалльной логарифмической шкале (Песенко, 1982).

В результате проведенных исследований выявлено 59 видов насекомых из 49 родов и 24 семейств. В таксономическом отношении наиболее полно представлены жесткокрылые, включающие 36 видов из восьми семейств. Меньше видов отмечено среди клопов, остальные отряды включают один-четыре вида (табл. 1). Среди беспозвоночных в березняке кустарничково-зеленомошном с примесью ели и кедра, в еловокедрово-лишайниково-зеленомошном лесу, на галечниках отмечена многоножка *Monotarsobius curtipes* (сем. *Lithobiidae*).

Амфибиотические насекомые в заказнике представлены поденками и стрекозами. Личинки поденок *Siphlonurus aestivalis* обнаружены в зрелом состоянии в старице р. Понъю. По данным В.М. Садырина и Ю.В. Лешко (2007), этот немногочисленный на европейском Северо-Востоке вид встречается также в Европе и Сибири. Одонатофауна заказника включает три семейства: коромысла, бабки и настоящие стрекозы. Большинство видов широко распространены на европейском северо-востоке России и типичны для крайнесеверной тайги. По данным А.Г. Татаринова и О.И. Кулаковой (2009), коромысло голубое (*Aeschna juncea*) и бабка металлическая (*Somatochlora metallica*) повсеместно встречаются в тундровой и таежной зонах региона, а также на Урале. Северная граница ареала стрекозы обыкновенной (*Sympetrum vulgatum*) ограничена лесотундрой, поэтому эти стрекозы обычны, а местами многочисленны в заказнике. Стрекоза красная (*Leucorrhinia rubicunda*) – типичный таежный вид.

Полужесткокрылые, или клопы объединяют 10 видов из семи родов и пяти семейств. Соотношение водных, околоводных и наземных представителей в семействах примерно равное (табл. 2). Среди водомерок отмечено три вида, слепняков – два, клопы-прыгуны, хищники-крошки и наземники представлены одним видом. Многочисленны Saldidae, малочисленных и редких видов среди клопов не выявлено (табл. 2). Обнаруженные антокориды, мириды и лигеиды приурочены к луговым местообитаниям. Хищный *Anthocoris nemorum* населяет лиственные деревья и кустарники, чаще *Salix* sp., реже травостой. Встречается от подзоны южной тайги до южной тундры. Широко распространенные в регионе *Lygus wagneri* и *Stenodema holsata* обитают на цветках, стеблях и листьях травянистых растений, *Acompus rufipes* характерен для лесной подстилки и детрита. По данным В.Г. Пучкова (1960), этот вид питается семенами *Valeriana* sp. Перезимовавшие имаго в мае-июне спариваются, самки откладывают яйца в чашечки валерианы (Пучкова, 1956). Встреча-

Таблица 1

Таксономический состав насекомых комплексного заказника «Понъю-Заостренная»

Название отряда	Число		
	семейств	родов	видов
Trihoptera	(1)	(1)	(1)
Ephemeroptera	1	1	1
Odonata	3	4	4
Homoptera	2	(2)	(2)
Heteroptera	5	7	8 (2)
Coleoptera	8	30	26 (10)
Hymenoptera	1	1	(1)
Diptera	4	1 (3)	2 (3)
Итого: 8	24 (1)	44 (6)	41 (19)

Примечание. В скобках указано число не определенных до вида насекомых.

Таблица 2

Видовой состав, баллы обилия и биотопическое распределение насекомых комплексного заказника «Понъю-Заостренная»

Название семейства	Название вида	Местообитание								
		Пойма р. Понъю							Пойма р. Заостренная	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	Отряд Ephemeroptera – поденки									
Siphlonuridae	*Siphlonurus aestivalis* Et.	–	–	–	–	–	–	3	–	–
	Отряд Odonata – стрекозы									
Aeschnidae	*Aeschna juncea* (L.)	–	–	–	–	–	–	3	–	–
Corduliidae	*Somatochlora metallica* (Lind.)	–	–	–	–	–	–	4	–	–
Libellulidae	*Leucorrhinia rubicunda* (L.)	–	–	–	–	–	–	2	–	–
	Sympetrum vulgatum (L.)	–	–	–	–	–	–	3	–	–
	Отряд Homoptera – равнокрылые									
Ortheziidae	sp.	–	–	–	–	–	1	–	–	–
Cicadidae	sp.	–	–	–	–	3	–	–	–	–
	Отряд Heteroptera – полужесткокрылые									
Gerridae	*Gerris lacustris* (L.)	–	–	–	–	–	3	–	–	–
	Gerris odontogaster (Zett.)	–	–	–	–	–	2	–	–	–
	Gerris lateralis Schum.	–	–	–	–	–	2	–	–	–
Saldidae	*Saldula saltatoria* (L.)	–	–	–	–	–	–	–	–	4
	Saldula sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	4
Anthocoridae	*Anthocoris nemorum* (L.)	–	–	–	–	–	–	–	2	–
Miridae	*Lygus wagneri* Rem.	–	–	–	–	3	–	–	3	–
	Orthops sp.	–	–	–	–	3	–	–	3	–
	Stenodema holsata (F.)	–	–	–	–	–	–	–	3	3
Lygaeidae	*Acompus rufipes* (Wolff.)	–	–	–	–	3	–	–	–	3
	Отряд Coleoptera – жесткокрылые									
Carabidae	*Agonum piceum* (L.)	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Agonum versutum Gyll.	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Amara brunnea Gyll.	2	–	–	–	–	–	–	–	–
	Bembidion biguttatum (F.)	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Bembidion sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Calathus micropterus Duft.	1	1	–	–	–	–	–	–	–
	Cychrus caraboides L.	–	–	–	3	–	–	–	–	–
	Dromius agilis F.	–	–	–	–	1	–	–	–	–
	Elaphrus angusticollis F. Sahlb.	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Pterostichus strenuus Pz.	3	3	4	–	–	–	–	–	–
	Pterostichus sp.	–	3	–	–	–	–	–	–	–
Staphylinidae	*Aleochara* sp.	1	–	–	–	–	–	–	–	–
	Atheta sp.	–	–	–	1	–	–	–	–	2
	Conosoma littoreus (Zinn.)	–	–	–	–	–	–	–	–	2
	Eusphalerum lapponicum (Mnnh.)	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Olophrum boreale Pk.	–	–	–	3	–	–	–	–	–
	Scaphysoma sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	1
	Stenus sp.	–	–	–	–	–	3	–	–	3
Elateridae	*Mosotalesus impressus* (F.)	–	–	3	–	–	–	–	3	–
Coccinellidae	*Coccinella septemmaculata* (Deg.)	–	–	–	–	1	–	–	–	–
	Coccinella sp.	–	–	–	–	3	–	–	–	–
	Hippodamia sp.	–	–	–	–	–	–	–	2	–
Oedemeridae	*Oedemera* sp.	–	–	–	–	3	–	–	3	2
Cerambycidae	*Brachyta interrogationis* (L.)	–	–	–	–	3	–	–	–	–
	Pogonocherus fasciculatus (Deg.)	–	–	–	–	3	–	–	3	–
Chrysomelidae	*Altica tamaricis* Schruk.	–	–	–	–	1	–	–	–	–
	Bromius obscurus (L.)	–	–	–	–	–	–	–	3	–
	Cercyonops caraganae Gebl.	–	–	–	–	4	–	–	–	–
	Chrysolina fastuosa (Scop.)	–	–	–	–	2	–	–	2	–
	Chrysolina graminis (L.)	–	–	–	–	2	–	–	1	–
	Galleruccella lineola (F.)	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Gonioctena pallida (L.)	–	–	–	–	4	–	–	–	–
	Phratora laticollis (Sffr).	–	–	–	–	2	–	–	–	–
	Prasocuris phellandrii (L.)	–	–	–	–	–	–	–	–	4
Curculionidae	*Otiorrhynchus nodosus* (Mull).	–	–	1	–	–	–	–	–	–
	Otiorrhynchus sp.	–	3	3	–	–	–	–	–	–
	Отряд Hymenoptera – перепончатокрылые									
Formicidae	*Formica* sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	3
	Отряд Diptera – двукрылые									
Limoniidae	sp.	–	–	–	–	3	–	–	–	–
Tabanidae	*Hybomitra lundbecki* Lyn.	–	–	–	–	3	–	–	–	–
	Hybomitra lurida (Fall.)	–	–	–	–	4	–	–	–	3
Otitidae	sp.	–	–	–	–	2	–	–	–	–
Anthomyiidae	sp.	–	–	–	–	3	–	–	–	–
Итого:		4	4	4	3	21	5	5	11	19

Примечание. I – березняк кустарничково-зеленомошный с примесью ели и кедра, II – елово-кедрово-лишайниково-зеленомошный лес, III – елово-кедрово-лишайниково-зеленомошный лес с преобладанием зеленых мхов, IV – елово-березовый лес, V – разнотравный луг, VI – бугристое болото, VII – старица, VIII – разнотравный луг, IX – галечник. Баллы обилия видов: 1 – редкий; 2 – малочисленный; 3 – обычный, 4 – многочисленный, прочерк – отсутствие вида.

ется в подзоне средней и южной тайги, на Северном и Приполярном Урале. Заказник является северной точкой обнаружения вида в регионе. Хищные околоводные клопы – типичные обитатели прибрежных сообществ: галечников и песчаных отмелей. В целом, разнообразие полужесткокрылых в период исследований не высокое и представлено лишь перезимовавшими особями.

Жуки заказника включают 36 видов из 30 родов, принадлежащих к восьми семействам. Наибольшим разнообразием характеризуются жужелицы и жуки-листоеды (11 и девять видов). Усачи представлены двумя видами. Щелкуны, божьи коровки, узкокрылки и долгоносики состоят из одного вида (табл. 2). Наиболее разнообразно представлена колеоптерофауна галечника р. Заостренная, где выявлено 13 видов жуков. Среди жужелиц *Bembidion biguttatum* и *Elaphrus angusticollis* характерные обитатели прибрежных сообществ. Ряд видов – *Agonum piceum, Pterostichus strenuus* – тяготеет к заболоченным лесным сообществам, *Dromius agilis* – к луговым. Остальные жужелицы типичны для лесных местообитаний. Щелкун *Mosotalesus impressus* – обычный для таежной зоны вид. По данным А.А. Медведева (2005), всеядные личинки вида развиваются в подстилке разных (но не заболоченных) типов сосняков, ельников, смешанных лесов, встречаются также в сосновых пнях, гнилой древесине лежащих подо мхом деревьев хвойных пород. Жизнедеятельность усача вершинного соснового (*Pogonocherus fasciculatus*) связана со многими хвойными деревьями, произрастающими в заказнике. Усач заселяет вершины и сучья ослабленных деревьев сосны, кедра, реже – ели и пихты. Может заселять стволики елового подроста, ксилофаг. Личинки прокладывают ходы под корой, окукливаются в древесине в июле-августе, зимуют имаго (Татаринова и др., 2007). Большая часть жесткокрылых – обычные, широко распространенные в таежной зоне насекомые; *Amara brunnea, Conosoma littoreus*, некоторые виды листоедов малочисленны; *Calathus micropterus*, *Dromius agilis*, *Otiorrhynchus nodosus* – единично встречающиеся в заказнике насекомые.

Двукрылые представлены пятью видами из четырех семейств, среди которых видовая принадлежность установлена только у Tabanidae. Болотницы (Limoniidae) включают мелких и крупных комаров с тонкими ногами и стройным телом (Савченко, 1989). Личинки лентокрылок (Otitidae) – небольших мух – развиваются в гнилых органических остатках и под корой деревьев. Цветочницы (Anthomyiidae) – мелкие и средней величины мухи, встречающиеся на цветах, листьях растений, стволах деревьев, навозе (Нарчук, 2003). Слепни (Tabanidae) – наиболее изученное в регионе семейство двукрылых. Эти мухи средних и крупных размеров являются хорошими летунами, встречаются с середины июня по август. По данным Е.Н. Габовой (1976), основным фактором начала лёта слепней является температура воздуха. В дни первых их появлений температура воздуха (максимальная за сутки) была выше 20 °С. Начало лёта наступало через пять-восемь дней после зацветания черемухи. Семейство представлено видами рода *Hybomitra* sp., самки которых являются кровососами.

Работа выполнена в рамках международной программы по сохранению биологического разнообразия особо охраняемых природных территорий ПРООН/ГЭФ (2010-2013 гг).

Автор выражает благодарность сотрудникам отдела экологии животных Института биологии Коми НЦ УрО РАН М.М. Долгину, А.А. Колесниковой и А.Г. Татаринову за помощь в определении стрекоз и жуков.

Литература

Габова Е.Н. К фауне и биологии слепней (Diptera, Tabanidae) Коми АССР // Энтомол. обозрение, 1976. Т. 45. Вып. 2. С. 311-320.

Медведев А.А. Жуки-щелкуны. СПб.: Наука, 2005. 158 с. (Фауна европейского северо-востока России. Жуки-щелкуны. Т. VIII. Ч. 1).

Нарчук Э.П. Определитель семейств двукрылых насекомых фауны России и сопредельных стран. СПб., 2003. 248 с.

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

Пучков В.Г. К экологии некоторых малоизученных видов настоящих полужесткокрылых (Heteroptera) // Энтомол. обозрение, 1960. Т. XXXIX. Вып. 2. С. 300-311.

Пучкова Л.В. Яйца настоящих полужесткокрылых (Hemiptera-Heteroptera). II. Lygaeidae // Энтомол. обозрение, 1956. Т. XXXV. Вып. 2. С. 262-284.

Савченко Е.Н. Комары лимонииды фауны СССР: Определитель надвидовых таксонов с каталогизированным обзором видов. Киев, 1989. 380 с.

Садырин В.М., Лешко Ю.В. Поденки (Ephemeroptera). СПб.: Наука, 2007. 276 с. (Фауна европейского северо-востока России. Поденки (Ephemeroptera). Т. VI).

Татаринов А.Г., Кулакова О.И. Стрекозы. СПб.: Наука, 2009. 213 с. (Фауна европейского северо-востока России. Стрекозы. Т. X).

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

Юдин Ю.П. Геоботаническое районирование Коми АССР // Производительные силы Коми АССР. Растительный мир. М.-Л.: Изд-во академии наук СССР, 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 323-360.

Barber H. Traps for cave-inhabiting insects // J. Elisha Mitchel Sci. Soc., 1931. Vol. 46. P. 259-266.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ВНУТРИВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БЕЛЯНОЧЕК РОДА *LEPTIDEA* (LEPIDOPTERA, PIERIDAE) НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

О.И. Кулакова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: iduna@rambler.ru

Семейство Белянок и Желтушек (Pieridae) в фауне булавоусых европейского северо-востока России представлено 17 видами из трех подсемейств и семи родов. В большинстве своем это широко распространенные и многочисленные в регионе виды, среди которых всем известные «огородные белянки»: брюквенница (*Pieris napi*), репница (*Pieris rapae*), капустница (*Pieris brassicae*), а также боряшница (*Aporia crataegi*), зорька (*Anthocharis cardamines*) из типового подсемейства Pierinae, лимонница (*Gonepteryx rhamni*), торфяниковая желтушка (*Colias palaeno*) из подсемейства Coliadinae.

Подсемейство Беляночек (Dismorhphinae) объединяет более 100 видов, распространенных преимущественно в тропических областях Америки. Многие из них хорошо известны в связи с явлением мимикрии, открытым Г. Бейтсом в XIX в., как раз при изучении способности этих чешуекрылых подражать своим внешним видом несъедобным представителям семейства Геликонид (Heliconidae).

В Палеарктике (северная часть Евразии) из подсемейства Беляночек встречается всего пять-семь мелких и средних размеров светлоокрашенных видов бабочек, относящихся к одному роду *Leptidea*. Наиболее широко среди них распространена горошковая беляночка, или горчичница (*Leptidea sinapis*). На европейском северо-востоке России по типу ландшафтно-зонального распределения она является широко лесным видом и встречается по всей таежной зоне, а по интразональным местообитаниям локально заходит в полосу лесотундры и на Полярный Урал. Региональные популяции относятся к номинативному подвиду *Leptidea sinapis sinapis*, типовым местонахождением которого является Швеция.

К.Ф. Седых (1974) указал для региона еще одного представителя рода – беляночку Морзе (*Leptidea morsei*). Этот вид также известен как восточная горошковая беляночка, так как основная часть его ареала располагается в Сибири и на Дальнем Востоке. Кроме того, существует фрагмент ареала в центральной Европе (Карпаты, Балканы). Самые северные находки вида в восточной Европе достоверно были сделаны на юге Архангельской, в Вологодской и Кировской областях, также известны немногочисленные изоляты в Московской области. Существование популяций *Leptidea morsei* на территории Республики Коми долгое время исследователями ставилось под сомнение, так как данный вид очень похож на вид *Leptidea sinapis*. Основным внешним отличием является форма вершины переднего крыла: у первого вида она слегка угловатая, а у последнего – округлая. Кроме того, имеются четкие различия в строении копулятивных органов.

Нами были проведены специальные исследования материала по роду *Leptidea*, собранного в различных локалитетах Республики Коми, а также проанализирован при участии Л.Г. Большакова (г. Тула) материал с севера Архангельской области, предоставленный для изучения И.Н. Болотовым. Исследовались особенности крылового рисунка, гениталии самцов и самок. В результате установлено, что на севере Русской равнины *Leptidea morsei* распространена до 66° с.ш. Таким образом, в ходе наших исследований было установлено, что *Leptidea morsei* имеет резко суживающийся западный участок ареала в виде своеобразного «выброса» от Урала в таежную зону европейской России, при сохранении реликтовых изолятов в лесной зоне центра Русской равнины. Камеральное изучение структуры крылового рисунка бабочек в выборках *Leptidea morsei* позволило установить, что региональные популяции наиболее близки к подвиду *Leptidea morsei morseides*, описанному с территории южной Сибири, а не к *Leptidea morsei major*, как считалось ранее.

В конце 80-х гг. XX в. немецким энтомологом Райссингером было проведено тщательное исследование очень большого объема материала по *Leptidea sinapis* из различных областей западной и центральной Европы. Оказалось, что здесь распространены виды-двойники. Они абсолютно одинаковы по структуре крылового рисунка, т.е. по данному признаку принадлежат к одному фенону, но отличаются по строению копулятивных органов. Новый вид получил название беляночки настоящей (*Leptidea reali*).

В процессе поиска *Leptidea reali* в других областях очень скоро было установлено, что ареал вида охватывает центральную часть Русской равнины, юг Урала, Кавказ, Центральную Азию. Самые северные находки *Leptidea reali* в восточной Европе известны в Московской, Ярославской и Ленинградской областях (Каталог..., 2008). Более того, были выявлены экологические особенности беляночки настоящей, несмотря на симпатричность и симбиотопичность *Leptidea sinapis* и *Leptidea reali* на большей части ареала. В частности были установлены более ранние сроки вылета имаго *Leptidea reali* в природных сообществах, примерно на 7-10 дней, и разная трофическая приуроченность гусениц видов-двойников (Дневные..., 2005).

В 2007 г. мы приступили к детальному изучению распространения и соотношения в природных сообществах беляночек рода *Leptidea*. В ходе полевых исследований и генитального анализа материала было установлено, что в большинстве исследованных локалитетов в одних и тех же местообитаниях встречаются смешанные группировки, включающие два вида *Leptidea sinapis* и *Leptidea morsei*. Обе беляночки летают с середины мая до конца июля в разреженных березовых и елово-березовых лесах, на лесных опушках, лесных полянах, дорогах и просеках. В ходе исследований на территории средней тайги обнаружено одно местонахождение вида *Leptidea reali* в заказнике «Седьюсский» вблизи г. Ухта.

Однако после детального изучения генитальных структур количественными методами было установлено, что такие признаки, как длина эдеагуса и форма саккуса в копулятивных органах самца, длина яйцевой сумки у самок, на основе которых традиционно проводится дифференциация видов-двойников *Leptidea sinapis* и *Leptidea reali*, подвержено заметной индивидуальной изменчивости. Также обнаружены биометрически промежуточные фенотипы. Это поставило под сомнение надежность использования различий структуры копулятивных органов в видовом диагнозе.

В последние годы было установлено, что набор хромосом у особей *Leptidea reali* с территории западной Европы значительно отличается от кариотипа восточноевропейских популяций (Dinca et al., 2011). По мнению исследователей, последние должны быть отнесены к особому виду *Leptidea juvernica*, а название *Leptidea reali* сохранить лишь для популяций с территории Испании и Франции. Это еще сильнее осложняет таксономический анализ рода. Таким образом, проблема наличия, количества видов беляночек р. *Leptidea* и границ их распространения на европейском северо-востоке России сохраняется. Совершенно очевидно, что решение данного вопроса возможно лишь с применением молекулярно-генетического метода, который связан с определением нуклеотидной последовательности отдельных участков митохондриального генома (мтДНК).

Работа выполнена при поддержке проекта молодого ученого Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Выявление видов-двойников и решение проблем систематики беляночек р. Leptidea (Lepidoptera, Pieridae) на европейском северо-востоке России с причинением методов анализа изменчивости митохондриальной ДНК».

Литература

Дневные бабочки (Hesperioidea и Papilionoidea, Lepidoptera) Восточной Европы / *И.Г. Плющ, Д.В. Моргун, К.Е. Довгайло* и др. CD определитель, база данных и пакет программ «Lysandra». Минск, 2005.

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

Седых К.Ф. Животный мир Коми АССР. Беспозвоночные. Сыктывкар: Коми книжн. изд-во, 1974. 192 с.

Dinca V., Lukhtanov V.A., Talavera G., Vila R. Unexpected layers of cryptic diversity in wood white Leptidea Butterflies // Nature Communications, 2011. № 2. Vol. 234. P. 1-8.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ МИКРО- И МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМАХ «РЫБА–ПАРАЗИТЫ РЫБ» И «РЫБА–ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ» НА ПРИМЕРЕ ВОДОТОКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В.В. Мазур
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: opioni@syktsu.ru

Изучение минерального состава водных организмов и донных отложений в зависимости от различных эколого-физиологических и эколого-биохимических особенностей гидробионтов является особенно важным для понимания причин устойчивости организма в постоянно меняющихся условиях внешней среды. Выявление общих закономерностей распределения и миграции элементов в водной экосистеме имеет большое значение не только в экологическом, но и технологическом и санитарно-гигиеническом аспектах.

Впервые для Республики Коми получены материалы по содержанию тяжелых металлов и макроэлементов в организмах рыб и донных отложениях из верховьев рек Печора, Большая Шайтановка и Човью. Выявлены особенности миграции металлов в водных экосистемах.

Цель работы – исследование накопления и миграции микро- и макроэлементов (Fe, Mg, Ca, Mn, Cu, Pb, Zn и Cd) в гидробионтах и донных отложениях из рек Човью, Печора и Большая Шайтановка.

Задачи исследования:

– определение содержания микро- и макроэлементов в рыбе и донных отложениях из рек Човью, Печора и Большая Шайтановка;

– определение коэффициентов накопления металлов в биологических объектах и степень миграции в водных экосистемах;

– выявление особенностей миграции отдельных элементов в системе «рыба–паразиты рыб» из указанных водотоков.

Пробы были взяты из 12 точек, в том числе шесть – из верховьев р. Печора, пять – из Большой Шайтановки и одна – из р. Човью.

Объекты исследования – гольян *Phoxinus phoxinus* (L.) (тушка), хариус *Thymallus thumallus* (L.) (мышцы, печень), цестоды *Proteocephalus thymalli* из кишечника хариуса и плероцеркоиды гольяна *Schistocephalus sp.*

Определение содержания элементов в пробах проводили при помощи энергодисперсионной рентгеновской приставки Oxford INCA Energy 250 на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6380 LV (Воронежский государственный университет). Концентрации металлов в пробах выражали в мкг/г сухой массы.

Рассчитывали коэффициент накопления КН = КНб/КНд, где КНб и КНд – концентрации элементов соответственно в биопробе (мкг/г) и в донных отложениях (мкг/г) (Черная, Ковальчук, 2010).

В компонентах экосистемы р. Печора были обнаружены такие опасные тяжелые металлы, как Cd и Pb. Учитывая, что к основным источникам загрязнения окружающей среды кадмием относятся горнодобывающая и нефтеперерабатывающая промышленности, которые в Республике Коми расположены на севере, следует, что для р. Печора в верхнем течении основной вклад в поступление тяжелых металлов обеспечивают природные источники.

На основании проведенных исследований показано, что степень миграции кадмия и свинца ниже по сравнению с другими металлами, что согласуется с многочисленными исследованиями (Yigit, Altingag, 2006; Kumar et al., 2011 и др.). К элементам, имеющим высокие КН и соответственно миграционные свойства, можно отнести Zn, Cu и Ca.

Несомненно, большая величина коэффициента накопления некоторых металлов по отношению к донным отложениям связана с тем, что гольян является бентофагом.

Необходимо отметить, что в гидробионтах из р. Большая Шайтановка не обнаружено таких металлов, как Pb, Cd, Fe и Mn, что свидетельствует о хорошей экологической ситуации данного водотока.

Рыбы не являются концентраторами тяжелых металлов и макроэлементов из донных отложений в старице р. Большая Шайтановка, несмотря на большие концентрации металлов в донных отложениях по сравнению с остальными участками данной реки.

В районе стоянки лодок р. Большая Шайтановка характерна аккумуляция Cu, Zn и Ca из ДО, причем наиболее интенсивно в рыбе концентрируется Zn. Вероятно, указанные элементы имеют схожие механизмы усвоения и аккумуляции в организме гольяна. Деконцентрация Mg в тушке рыбы свидетельствует о вероятном поступлении указанного металла в организм гольяна из воды.

Для исследуемых участков в 3.0 и 5.0 км от устья р. Большая Шайтановка наблюдаются заметные сходства миграционных особенностей металлов. Так, для Mg характерно деконцентрирование по всем направлениям миграции. Cu и Zn имеют низкий коэффициент перехода к рыбе из донных отложений. Кальций накапливается в рыбе из донных отложений.

Особый интерес вызвали результаты, обнаружившие наличие кадмия в гольяне и донных отложениях р. Човью. В тушках гольяна кроме кадмия также обнаружены Cu и Zn в концентрациях, превышающих соответствующие нормативы ПДК для пищевых продуктов. Следует отметить, что превышение предельно-допустимой концентрации в данном случае означает небезопасность употребления рыбы из р. Човью в пищу человеком и не отражает состояние здоровья рыб.

Концентрация тяжелых металлов и макроэлементов в рыбе не постоянна и меняется в течении года. Так, в июле в рыбе присутствует максимальная концентрация Ca и не обнаружены Al и Cd. Концентрация Al в весенний и осенний период достоверно не различима ($p < 0.05$). Cd присутствует в гольяне в октябре в концентрации в 4.5 раз превышающей соответствующую концентрацию в мае.

Показано, что для Ca и Cu наблюдается макро- и микроконцентрирование соответственно. В данном случае показано, что медь и кальций гольян получает из донных отложений, что связано с его особенностями добывания пищи, а остальные металлы, в том числе и Cd, в организм рыбы попадают из воды.

Исследование содержания микроэлементов в гольяне и хариусе и их кишечных паразитах показало, что наибольшая концентрация металлов характерна для паразитов гольяна, наименьшая – для мышц хариуса.

Результаты исследования содержания микроэлементов (Pb, Cd, Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Mg) в мышцах хариуса европейского из р. Большая Шайтановка выявили, что из исследуемых металлов присутствует только магний в концентрации 20 мкг/г, что согласуется с исследованиями А.А. Барабаш и др. (2005), в которых установлено, что для рыбы накопление Mg происходит в съедобных тканях (т.е. в мышцах).

Для гольяна и хариуса имеется общая тенденция в концентрировании Cu, Zn и Mg в теле паразитов. Так, плероцеркоиды гольяна содержат в 1.8 раз больше Cu, в 1.5 раз – Zn и в 3.6 раз – Mg, чем гольян из этого же участка, в котором были обнаружены паразиты. Концентрации Cu и Zn в цестодах хариуса по сравнению с тканью печени больше в 1.5 и 2.1 раза соответственно. Содержание Mg в печени хариуса и цестодах одинаково и составляет 30 мкг/г.

Наблюдается общая закономерность в накоплении меди, цинка и магния в печени и цестодах хариуса: Cu → Zn → Mg. Для гольяна и его

паразитов данной закономерности не обнаружено. Так, для гольяна концентрация микроэлементов уменьшается в ряду: Zn → Cu → Mg, а для плероцеркоидов – Cu → Mg → Zn. Распределение меди, цинка и магния в рыбе и паразитах имеет общую тенденцию (коэффициенты ранговой корреляции: k_{Mg-Zn}= 0.95; k_{Cu-Zn}= 0.8; k_{Cu-Mg}= 0.65).

КН доказывают тесную взаимосвязь в функционировании органов паразитов рыб и их хозяев. Так, цестоды хариуса являются микроконцентраторами Mg и Cu, и макроконцентраторами Zn. Только для Ca характерно деконцентрирование, связанное с физиологическими особенностями строения организма паразитов.

Исследования показали, что кишечные паразиты рыб являются концентраторами микроэлементов в организме. Экосистема р. Човью в настоящий момент подвергается интенсивной антропогенной нагрузке. Рыба из данного водотока не пригодна для употребления в пищу из-за содержания высоких концентраций тяжелых металлов, в частности, особенно токсичного кадмия. Концентраторами ТМ являются донные отложения. Миграционные способности зависят от природы металла и их функциональной роли в организме гидробионта.

Литература

Барабаш А.А., Мирошникова Е.П., Родионова Г.Б. и др. Микроэлементный состав рыбы, выращенной в различных условиях // Вест. Оренбургского гос. ун-та, 2005. № 2. С. 14-15.

Черная Л.В., Ковальчук Л.А. Содержание тяжелых металлов в тканях пиявок, обитающих в озерах Южного Урала // Вест. Оренбургского гос. ун-та, 2010. № 12 (118). С. 65-68.

Kumar B., Mukherjee D.P., Kumar S. et al. Bioaccumulation of heavy metals in muscle tissue of fishes fromselected aquaculture ponds in east Kolkata wetlands // Annals of Biological Research, 2011. Vol. 2. Iss. 5. P. 125-134.

Yigit S., Altindag A. Concentration of heavy metals in the food web of Lake Egirdir, Turkey // Journal of Environmental Biology, 2006. Vol. 27. Iss. 3. P. 475-478.

ПАРАЗИТОФАУНА ГОЛЬЯНА *PHOXINUS PHOXINUS* (L.) ИЗ РЕКИ КЫЛТЫМЬЮ (ОКРЕСТНОСТИ ГОРОДА СЫКТЫВКАР)

Е.А. Павлович
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: jane55.88@mail.ru

К настоящему времени накоплен значительный объем знаний о паразитофауне гольяна (Ивашевский, Доровских, 1993; Доровских, Голикова, 1998, 2001, 2004а; Степанов, 2003; Доровских, Степанов, 2006, 2007, 2008а, 2010, 2011 и др.). Сведения о паразитофауне гольяна р. Кылтымью имеются в работах Л.А. Коданевой (1984) и Е.А. Голиковой (1977-1999). Поскольку исследования паразитофауны гольяна р. Кылтымью проводились более 10 лет назад, было интересно выяснить ее состояние на данный момент.

Отлов рыбы производился в период с мая по август 2011 г. из р. Кылтымью (приток р. Сысола) в районе с. Морово. Сбор и обработка материала проведены по общепринятой методике (Быховская-Павловская, 1985). Всего исследовано 183 экз. гольяна.

По литературным данным, в р. Кылтымью отмечено 23 вида паразитов (табл. 1). В ходе нашего исследования было найдено 18 видов, что составляет 78% от общего списка (Голикова, 2005). Впервые у гольяна из данного водоема встречены трематоды *Phyllodistomum folium*, а также рачки *Argulus foliaceus* и *Lernaea cyprinacea*.

Наибольшее число видов паразитов отмечено в начале июня – 14, наименьшее – семь видов – в конце июля. Максимальный уровень зараженности гольяна моногенеями составил 24.5%, миксоспоридиями – 26.7, трематодами – 61.6, нематодами – 86.7, скребнями – 6.7, рачками – 6.7%. Среди паразитов наибольшее видовое разнообразие наблюдается у моногеней и трематод. Нематоды и скребни представлены одним видом.

По нашим данным, в р. Кылтымью найдено два вида миксоспоридий. Среди них доминирующим является *Myxobolus musculi*. Пик его численности приходится на середину июня. Зараженность им рыб в этом месяце составляет 40%. Максимальное значение индекса обилия отмечено в конце мая и конце июня и составляет 0.80 экз. на рыбу. Нами не найден *M. lomi*, отмеченный в исследованиях, проведенных в 2010 г. Уровень зараженности гольяна миксоспоридиями *Myxobolus cybinae* невысок и в течение сезона не превышает 13%, однако в начале сентября резко увеличивается до 33%. В исследованиях, проведенных ранее (табл. 1), этот вид миксоспоридий отмечен в единичном случае. В целом, изменений зараженности миксоспоридиями гольяна в течение сезона не наблюдается.

Из класса моногеней отмечено шесть видов. Уровень зараженности моногенеями гольяна невысокий. В среднем ими заражены две-три рыбы. Период максимального разнообразия видов приходится на конец мая–начало июня, отмечено пять видов. К осени видовое разнообразие снижается до двух видов. На протяжении всего срока наблюдения многочисленными ви-

Таблица 1

Паразитофауна гольяна из р. Кылтымью

Вид паразита	1998-1999 г. N = 166 (Голикова, 2005)	2010 г. N = 117 (наши данные)	2011 г. N = 153 (наши данные)
1. *Eimeria carpelli*	+	0	0
2. *Myxobolus musculi*	+	+	+
3. *M. cybinae*	+	+	+
4. *M. albovae*	+	0	0
5. *M. lomi*	+	+	0
6. *Trichodina intermedia*	+	0	0
7. *Apiosoma piscicolum phoxini*	+	+	+
8. *Dactylogyrus borealis*	+	+	0
9. *Pellucidhaptor merus*	+	+	+
10. *Gyrodactylus macronychus*	+	+	+
11. *G. aphyae*	+	+	+
12. *G. limneus*	0	+	+
13. *G. magnificus*	+	+	+
14. *G. laevis*	+	+	+
15. *Paradiplozoon zeller*	+	0	0
16. *Rhipidocotyle campanula*	+	+	+
17. *Allocreadium isoporum*	+	0	+
18. *Sphaerostomum bramae*	+	0	0
19. *S. globiporum*	+	+	+
20. *Diplostomum phoxini*	+	+	+
21. *Ichthyocotylurus platycephalus*	+	0	0
22. *Apatemon cobitidis*	0	+	+
23. *Phyllodistomum folium*	0	0	+
24. *Raphidascaris acus*	+	+	+
25. *Neoechinorhynchus rutili*	+	0	+
26. *Ergasilus* sp. larva	+	0	0
27. *Argulus foliaceus*	0	0	+
28. *Lernaea cyprinacea*	0	0	+

дами являлись *Gyrodactylus aphyae* и *Gyrodactylus laevis*. Максимальный уровень заражения ими приходится на середину июня. Остальные виды встречались реже и в небольших количествах. В нашем исследовании не был найден *Dactylogyrus borealis*, отмеченный в более ранних исследованиях (табл. 1). При сравнении с ранее полученными данными достоверных различий в уровне зараженности нет. Видовой состав моногеней не изменился.

Класс трематод представлен шестью видами: *Rhipidocotyle campanula*, *Sphaerostomum globiporum*, *Diplostomum phoxini*, *Apatemon cobitidis*, *Allocreadium isoporum* и *Phyllodistomum folium*, который впервые отмечен для исследуемой реки. Не были обнаружены трематоды *Sphaerostomum bramae*, которые зафиксированы в ранних исследованиях (табл. 1). Трематод можно разделить на паразитов, которые активно заражают хозяев, к ним относятся *Rhipidocotyle campanula*, *Diplostomum phoxini* и *Apatemon cobitidis* и пассивно заражающих (через пищу) – *Sphaerostomum globiporum*, *Allocreadium isoporum*. У трематод, активно заражающих хозяев, уровень зараженности рыб выше (табл. 2). Так, например, экстенсивность заражения гольяна *Diplostomum phoxini* во все даты сбора составляет 100%, экстенсивность заражения *Rhipidocotyle campanula* колеблется в пределах от 60 до 100%. Для *Sphaerostomum globiporum*, который заражает гольяна пассивно, уровень зараженности не превышает 26% с июля по август, а в сентябре увеличивается до 46%. Индекс обилия колеблется в пределах от 0.07 до 0.75 экз. на рыбу. Уровень зараженности трематодами *Allocreadium isoporum* в течение сезона постепенно снижается с 46 (конец мая) до 13% (середина июля). В выборках, собранных в конце июля–начале сентября, отсутствует. В исследованиях, проведенных нами в 2010 г. (табл. 1), *Allocreadium isoporum* не обнаружен. Трематоды *Phyllodistomum folium* найдены в единичном случае в начале июня. При сравнении с полученными ранее данными уровень зараженности гольяна трематодами увеличился.

В гольяне мы нашли лишь одного представителя класса нематод – *Raphidascaris acus*. Заражает хозяина посредством питания. Максимальный уровень заражения гольяна этим видом отмечен в конце июня и середине августа и составляет 86%. Индекс обилия достигает максимума в начале августа (3.27 экз.), затем постепенно снижается и в начале сентября составляет 2.80 экз. на рыбу (табл. 2). Из сравнения с исследованиями, проведенными ранее (табл. 1), видно, что уровень зараженности гольяна нематодой *Raphidascaris acus* заметно увеличился. Это, видимо, связано с тем, что в связи с заилением дна реки количество бентосных организмов, следовательно, и первых промежуточных хозяев, увеличилось, что привело к повышению уровня зараженности рыб нематодой.

В более ранних исследованиях р. Кылтымью был зафиксирован один вид рачка *Ergasilus* sp. larva. В наших исследованиях он не обнаружен. Найдены рачки *Argulus foliaceus* и *Lernaea cyprinacea*, не отмеченные ранее для гольяна из исследуемой реки.

Таким образом, в р. Кылтымью обнаружено 18 видов паразитов. Видовой состав паразитофауны гольяна из р. Кылтымью не изменился. Уровень зараженности гольяна паразитами при сравнении с полученными ранее данными увеличился. Впервые у гольяна из данного водоема отмечены трематоды *Phillodistomum folium*, а также рачки *Argulus foliaceus* и *Lernaea cyprinacea*.

Таблица 2

Значение зараженности гольяна обыкновенного с мая по сентябрь 2011 г.

Название вида	Даты отлова											
	26.05	6.06	14.06	21.06	29.06	5.07	16.07	25.07	2.08	17.08	26.08	6.09
	Экстенсивность инвазии (Индекс обилия)											
Myxobolus musculi	26.7 (0.80)	13.3 (0.27)	11.8 (0.12)	40.0 (0.53)	20.0 (0.80)	33.3 (0.53)	20.0 (0.53)	6.3 (0.06)	6.7 (0.07)	26.7 (0.27)	–	26.7 (0.27)
M. cybinae	–	–	11.8 (0.53)	13.3 (0.20)	–	6.7 (0.40)	–	–	13.3 (0.47)	13.3 (1.33)	–	33.3 (1.67)
Pellucidhaptor merus	13.3 (0.13)	13.3 (0.13)	5.9 (0.06)	–	–	–	–	–	6.7 (0.07)	6.7 (0.07)	6.7 (0.07)	6.7 (0.07)
Gyrodactylus macronychus	6.7 (0.07)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
G. aphyae	33.3 (0.47)	26.7 (0.40)	41.2 (4.00)	13.3 (2.20)	6.7 (0.20)	–	–	–	–	–	6.7 (0.07)	–
G. limneus	–	6.7 (0.07)	11.8 (0.12)	6.7 (0.07)	–	6.7 (0.07)	6.7 (0.07)	–	–	–	–	–
G. magnificus	26.7 (0.47)	13.3 (0.13)	–	–	6.7 (0.07)	–	6.7 (0.07)	–	–	–	–	–
G. laevis	20.0 (0.40)	33.3 (0.40)	47.1 (0.65)	40.0 (0.47)	33.3 (0.47)	20.0 (0.33)	20.0 (0.47)	–	6.7 (0.07)	–	–	6.7 (0.07)
Rhipidocotyle campanula	93.3 (7.07)	60.0 (4.00)	64.7 (5.06)	66.7 (8.73)	86.7 (5.67)	93.3 (4.60)	80.0 (6.53)	100 (12.31)	80.0 (7.00)	100 (11.93)	100 (19.20)	93.3 (8.47)
Allocreadium isoporum	46.7 (3.40)	46.7 (6.07)	76.5 (2.12)	6.7 (0.47)	20.0 (0.20)	20.0 (0.20)	13.3 (0.27)	–	–	–	–	–
Sphaerostomum globiporum	6.7 (0.07)	–	5.9 (0.35)	13.3 (0.47)	13.3 (0.60)	20.0 (0.33)	13.3 (0.27)	18.8 (0.75)	20.0 (0.60)	26.7 (0.73)	20.0 (0.67)	46.7 (0,53)
Diplostomum phoxini	100 (68.4)	100 (69.8)	100 (58.7)	100 (39.3)	100 (36.0)	100 (27.0)	100 (57.93)	100 (121.8)	100 (87.67)	100 (85.53)	100 (54.73)	100 (58.47)
Apatemon cobitidis	26.7 (0.27)	26.7 (0.80)	5.9 (0.06)	20.0 (1.0)	–	13.3 (0.13)	60.0 (1.07)	31.3 (1.13)	20.0 (0.53)	20.0 (0.40)	6.7 (0.07)	20.0 (1.33)
Phyllodistomum folium	–	6.7 (0.53)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Raphidascaris acus	53.3 (2.13)	60.0 (2.53)	52.9 (1.59)	73.3 (1.93)	86.7 (2.87)	66.7 (2.13)	60.0 (1.67)	68.8 (3.13)	66.7 (3.27)	86.7 (3.20)	73.3 (3.00)	66.7 (2.80)
Neoechinorhynchus rutili	6.7 (0.07)	6.7 (0.07)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Argulus foliaceus	–	6.7 (0.07)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Lernaea cyprinacea	–	–	–	–	6.7 (0.07)	–	–	–	–	–	–	–

Литература

Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб – руководство по изучению. Л., 1985. 121 с.

Голикова Е.А. Экология паразитов гольяна обыкновенного и их сообществ в условиях малых рек бассейна Вычегды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2005. 271 с.

Голикова Е.А. Паразиты как биоиндикаторы состояния среды // Биоразнообразие наземных и почвенных беспозвоночных на Севере. Сыктывкар, 1999. С. 49-50.

Доровских Г.Н., Голикова Е.А. Особенности заражения паразитами *Phoxinus Phoxinus* (L.) из двух малых рек бассейна реки Вычегда // Актуальные вопросы медицинской паразитологии: V Всерос. науч. конф. СПб., 1998. С. 63.

Доровских Г.Н., Голикова Е.А. Сезонная динамика структур компонентных сообществ паразитов гольяна речного *Phoxinus Phoxinus* (L.) // Российский фонд фундаментальных исследований. Региональный конкурс «Урал-2001» в Республике Коми (отчеты 2001-2003 гг.). Сыктывкар, 2004а. С. 215-250.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА АТМОСФЕРУ И ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА В ОКРЕСТНОСТЯХ СЫКТЫВКАРА

Е.Е. Расова
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: karagjoz@yandex.ru

Предприятия теплоэнергетики в городах являются лидерами по выбросам в атмосферу загрязняющих веществ, наносящим вред здоровью человека и другим живым организмам. Основными поставщиками тепла в Сыктывкаре и его окрестностях являются 90 котельных установок, работающих на газе, мазуте, угле. Загрязнения связаны с выбросами бенз(а)пирена и формальдегида, диоксидов серы и азота, взвешенных веществ.

Пчелы, их продукты жизнедеятельности – это биотесты на экологическую чистоту воздуха. Апимониторинг – одно из перспективных направлений биологического мониторинга. Рабочие пчелы, проводя длительное время в воздушной среде и посещая сотни цветков в течение дня, накапливают в своих телах поллютанты.

Пчеловодство в нашем регионе базируется на приусадебном секторе. Известно около 30 частных пасек в населенных пунктах Морово, Иб, Пажга, Лемъю, Студенец. Северная граница пчеловодства Республики Коми – это Усть-Вымский р-н (Артеев, 2011). Крестьянские (фермерские) хозяйства, а также сельскохозяйственные организации, специализирующиеся на разведении пчел, в нашем регионе не развиты.

Цель настоящей работы – оценка воздействия компонентов выбросов котельных на состояние жизни пчел и качество их продуктов.

Задачи:

1. Оценка вклада теплоэнергетики в загрязнение атмосферного воздуха в г. Сыктывкар.

2. Выявление состояния пчеловодства в Республике Коми.

3. Анализ возможности использования пчел в качестве объектов биоиндикации.

Объектами данного исследования являются загрязнение атмосферного воздуха выбросами котельных установок, пчелы и продукты пчеловодства.

Предмет исследования – взаимосвязь между загрязнением атмосферного воздуха выбросами котельных и состоянием пчел, а также качеством их продуктов.

Основным поставщиком тепла в г. Сыктывкар является «ТГК-9» Коми «Сыктывкарские тепловые сети». На балансе предприятия находятся Центральная водогрейная котельная (ЦВК) и 17 котельных малой мощности. Из них 14 работают на природном газе, одна – на мазуте, одна – на угле и одна – на мазуте и на угле. Сыктывкарская ЦВК работает 41 год и обеспечивает теплом и горячей водой около 90% потребителей столицы региона.

Проведены расчеты загрязнения атмосферного воздуха котельными «ФАН» («Филиал академии наук»), «Нижний Чов» и ЦВК, сжигающими различное топливо: мазут, уголь и природный газ соответственно. Для этого использована унифицированная программа расчета загрязнения атмосферного воздуха «Эколог». Расчет выполнен для следующих веществ: NO_x, SO_2, CO, бенз(а)пирен, твердые вещества, и включает следующие этапы:

1. Определение метеорологических характеристик и коэффициентов, определяющих условия рассеивания загрязняющих веществ.

2. Определение фоновых концентраций по стационарным постам наблюдения, расположенным по ул. Первомайской и Октябрьскому проспекту.

3. Определение размеров расчетной площадки: для котельных «ФАН» и «Нижний Чов» – 500×500, для ЦВК – 3000×3200 м с шагом 50 м по длине и ширине.

Расчет выполнен при различных направлениях и скоростях ветра и максимальных значениях выбросов загрязняющих веществ. Для ЦВК, использующей мазут в качестве резервного топлива, расчет проведен в двух вариантах: сжигание в котлах природного газа и одновременное сжигание природного газа и мазута. Сравнение вклада котельных в загрязнение атмосферного воздуха приведено в диаграммах (рис. 1, 2).

Величина валового выброса всех загрязняющих веществ в год наибольшая – для ЦВК, наименьшая – для «ФАН». Все котельные выбрасывают в атмосферный воздух NO_x, CO, бенз(а)пирен. ЦВК лидирует среди котельных по объему выбросов данных веществ в год, так как обладает наибольшей производительной мощно-

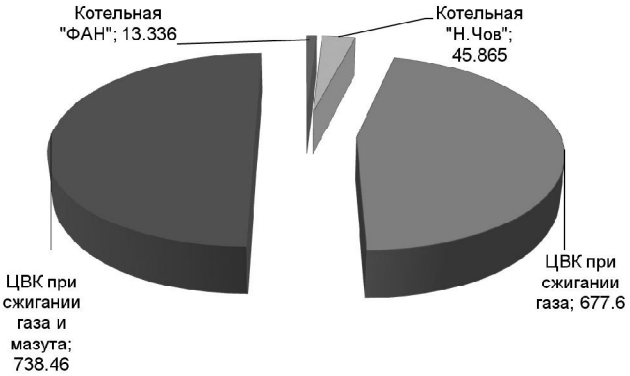


Рис. 1. Суммарный выброс загрязняющих веществ котельными «Сыктывкарских тепловых сетей», т/год.

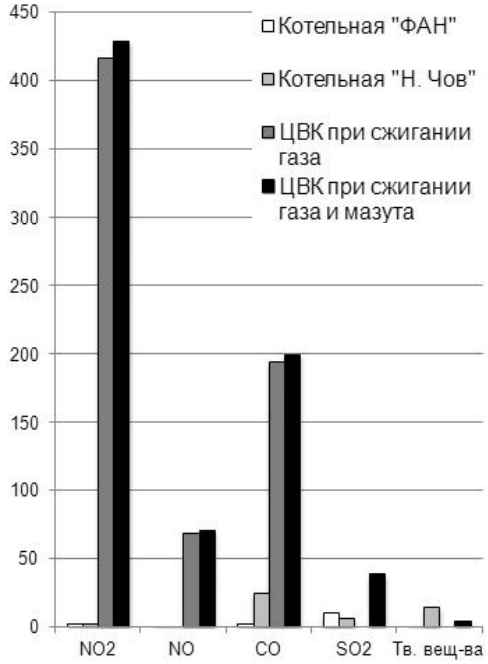


Рис. 2. Выбросы отдельных загрязняющих веществ котельными «Сыктывкарских тепловых сетей», т/год.

стью. Фактически ЦВК круглый год работает на природном газе. В аварийной ситуации (отсутствие подачи газа) при сжигании мазута в атмосферу может попадать значительное количество SO_2 и твердые вещества. Наибольшее количество твердых веществ поступает в атмосферу от котельной «Нижний Чов», что связано с использованием угля. Наибольшие концентрации загрязняющих веществ от ЦВК достигаются на расстоянии 1.7 км, для двух других котельных эти расстояния не превышают 200 м.

Особенности использования пчел в биомониторинге определяются следующими факторами:

1. Чувствительность пчел к загрязнителям позволяет использовать их как реакционные и как аккумулятивные индикаторы.

2. Концентрация химических элементов в тканях пчел и их продуктах зависит от содержания их в окружающей среде.

Физиологической особенностью пчел является их способность извлекать нежелательные элементы из кормовых субстратов, запасаемых на безвзяточный период в гнезде. Это ведет к накоплению остаточных количеств пестицидов, тяжелых металлов (ТМ) и других контаминантов в организме рабочих пчел. Они попадают в продукты их жизнедеятельности, а в конечном итоге – в организм человека. Предположено, по аналогии с другими организмами, оксиды азота и серы влияют на дыхательную, кровеносную, нервную и пищеварительную системы пчел. Это снижает их иммунитет к различным заболеваниям и ведет к ослаблению пчелиных семей. Токсиканты препятствуют распространению в воздухе цветочного аромата. Это не позволяет пчелам обнаруживать растения и делать кормовые запасы (Саттаров и др., 2011). SO_2 и NO_x способствуют увеличению интенсивности туманов, что усиливает накопление токсичных примесей в приземном слое воздуха. Пыль и зола, образующиеся при сгорании угля и мазута, содержат ТМ. Известны данные о гибели пчел вблизи теплоэлектростанций, использующих уголь с повышенным содержанием мышьяка (Омаров и др., 2008). Удаленность пасеки от источников выбросов влияет на характер воздействия токсичных веществ.

Работы многих авторов содержат сведения о накоплениях в теле пчел и продуктах пчеловодства ТМ – меди, цинка, никеля, свинца и др. Установлено, что с возрастом их содержание в организмах насекомых возрастает (Лебедев, Мурашова, 2003). Степень накопления и токсический эффект для разных веществ различны. Известно, что накопление свинца и кадмия нарушает процесс физиологического старения пчел, что выражается в ускоренном увеличении массы разных отделов тела (Еськов и др., 2008).

Продукты пчеловодства неодинаково накапливают ТМ. Мед является одним из наиболее экологически чистых продуктов, что связано с особенностями его получения пчелами, а пыльца, перга и прополис в наибольшей мере подвержены загрязнению (Лебедев, Мурашова, 2003; Русакова и др., 2006).

Климатические условия нашего региона не способствуют интенсивному развитию пчеловодства. Как сказано в Государственном докладе, «в РК из пяти лишь два года бывают благоприятными для медосбора». Среди наиболее известных пород пчел в республике распространена темная лесная или среднерусская пчела (*Apis mellifera mellifera*), для которой характерна хорошая зимостойкость и устойчивость к ряду заболеваний. При этом есть ряд недостатков: сильная агрессивность, высокая ройливость.

По данным Росстата за 2009 г., производство меда в Республике Коми составляет не более 3 т/год (самый низкий показатель среди субъектов РФ).

Анализ состава пчелиной обножки в наибольшей мере дает информацию о загрязнении окружающей среды. Высокий потребительский спрос на обножку определяет высокие требования к качеству этого продукта. Совместно с процедурой обязательной сертификации пчелиной обножки возможно проводить мониторинг без дополнительных затрат (Осинцева, 2004). Пыльцевые зерна растений обладают разной способностью адсорбировать на своей поверхности поллютанты окружающей среды. Важный критерий апимониторинга с применением пчелиной обножки – палинологический анализ, позволяющий определить спектр доминирующих пыльценосов данной территории и их роль в накоплении загрязнителей.

Таким образом, анализ проблемы загрязнения атмосферы выбросами поллютантов предприятиями теплоэнергетики г. Сыктывкар позволяет сделать следующие выводы:

1. Выбросы котельных содержат компоненты, которые при больших концентрациях в воздухе отрицательно воздействуют на пчел и качество их продуктов. Объем и состав выбросов зависит от производительной мощности и продуктов сжигания. Особенный вред может нанести пчелам близкое соседство пасек с котельными, сжигающими уголь и мазут.

2. В окрестностях г. Сыктывкар оценку качества атмосферы по наблюдениям за состоянием пчелиных семей и качеством продуктов пчеловодства возможно проводить в районе дачного кооператива «Дырнос», селах Лозым, Иб и Выльгорт.

3. Среди объектов апимониторинга наиболее перспективно использование пчелиной обножки.

Литература

Артеев А. Место работы – пасека // Республика, 2011. № 124. С. 15.

Еськов Е.К., Ярошевич Г.С., Еськова М.Д. и др. Аккумуляция тяжелых металлов в теле пчел // Пчеловодство, 2008. №2. С. 14-16.

Лебедев В.И., Мурашова Е.А. Экологическая чистота продуктов пчеловодства // Пчеловодство, 2003. № 4. С. 42-44.

Омаров Ш.М., Атаев М.Г., Магомедова З.Ш. Продукты пчеловодства как индикатор качества экосистемы // Вестник международной академии наук (Русская секция), 2008. № 2. С. 16-19.

Осинцева Л.А. Пчелиная обножка – индикатор состояния окружающей среды // Пчеловодство, 2004. № 3. С. 10-11.

Русакова Т.М., Бурмистрова Л.А., Репникова Л.В. и др. Исследования токсичных элементов // Пчеловодство, 2006. № 9. Режим доступа: http://www.beekeeping.orc.ru/Arhiv/a2006/n906_10.htm.

Саттаров В.Н., Уктаров В.Р., Борисов И.М. и др. Влияние стационарных источников экотоксикантов на среду обитания медоносных пчел в Республике Башкортостан // Пчеловодство, 2011. № 2. С. 8-9.

ФОРМИРОВАНИЕ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Р.Р. Рафиков
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: rafikov@ib.komisc.ru

Гидростроительство, как заметный фактор воздействия на окружающую среду, вызывает значительные перестройки во многих компонентах водных экосистем. Сукцессии затрагивают не только видовое богатство, структуру рыбного населения, но и их биологические показатели. Изучение процессов формирования рыбного населения искусственных водоемов способствует более адекватной оценке их экологической обстановки, а также позволяет контролировать сукцессионные процессы, исходя из хозяйственных нужд человека.

К числу таких водоемов относятся Нювчимское и Кажимское водохранилища. Оба водоема расположены в бассейне р. Сысола. Созданы они были во второй половине XVIII в. как источники водоснабжения и, в первую очередь, для чугуно-литейного производства, а так же как источник энергии для привода турбин, мельниц и т.д. Однако Нювчимское водохранилище вследствие прорыва дамбы полностью потеряло свое значение как водоем в 1979 г. Спустя 19 лет оно было восстановлено, и на период исследования его возраст составлял два года.

Средняя площадь Нювчимского водохранилища около 180 га. Оно представляет собой водоем долинного типа с вытянутыми заливами вдоль устьевых участков рек Нювчим и Дендель. Наиболее глубокий участок расположен непосредственно у плотины. Южный и северный склоны дна более пологие, вследствие чего они представляют собой хорошую нагульную зону.

Средняя площадь Кажимского водохранилища около 324 га. Преобладающие глубины от 2 до 3 м, максимальные глубины располагаются узкой полосой вдоль русла р. Кажим и составляют 8.8 м у плотины. При меженном уровне воды выше уреза обнажаются песчаные пляжи шириной от 2 до 10 м. Дно повсеместно твердое, песчаное, обычны илы мощностью до 0.1-0.2 м. Высшая водная растительность занимает не более 8% акватории.

Фауну рыб водохранилищ определяют, прежде всего, виды, населяющие реки, на базе которых и образованы водохранилища. Видовая структура рыб Кажимской и Нювчимской речных систем довольно схожа, что объясняется их общим происхождением. Рыбная часть сообщества р. Кажим включает 12 видов, однако при обследовании специалистами Института биологии Кажимского водохранилища было выявлено семь видов. За длительный период существования водоема из состава рыбного населения выпали реофильные виды рыб (сиг, хариус, язь, обыкновенные гольян и подкаменщик). Основу весенне-летних сетных уловов составляют ерш, окунь, плотва (табл. 1). Щука, налим, елец и голец усатый встречаются достаточно редко. В 1980-1990-х гг. нестабильный гидробиологический режим водоема, а также значительно возросший рыболовный пресс оказали сильное негативное влияние на состояние популяций рыб.

Таким образом, Кажимское водохранилище представляет собой типичный окунево-плотвичный водоем. В настоящее время используется рыбаками любителями, а также для садкового выращивания форели. Структура рыбного населения сформирована, однако на 2011 г. запланирован капитальный ремонт с заменой деревянных конструкций железобетонными, а также ремонт самой дамбы. Работы рассчитаны на два года. В результате планируется подъем уровня воды. Следовательно, различные динамические процессы вновь коснутся устоявшегося сообщества.

Нювчимское водохранилище, как говорилось выше, вследствие прорыва дамбы полностью потеряло свое значение как водоем в 1979 г., но в 1998 г. восстановлено. Поскольку рыбохозяйственные и ихтиологические работы не были предусмотрены, формирование ихтиофауны пошло неуправляемым путем за счет аборигенных видов рыб. Как правило, для крупных водохранилищ на стадии залития характерно развитие

фитофильной группы рыб (Водохранилища..., 1986). Однако в Нювчимском водохранилище наблюдалась несколько иная ситуация. Ложе, сформированное руслами рек Нювчим и Дендель, прекрасно подошло налиму в качестве нерестилища, в результате чего, первым вступив в воспроизводство, данный вид получил преимущество для последующего увеличения численности и расселения по водоему. По результатам исследования 2000 г., налим занимает явное доминирующее положение по отношению к остальным промысловым видам рыб водохранилища (табл. 1). Это стало возможно вследствие высокой плодовитости данного вида и, как показали исследования, раннего полового созревания (на втором-третьем году жизни). Возможно, низкая численность других видов рыб, которые могли бы уничтожить часть икры налима, также сыграло свою роль.

В то же время контрольный лов прибрежных мелководных участков, проведенный мальковым тягловым неводом с ячеей в приводе 4 мм, показал наличие скоплений молоди плотвы, что свидетельствует об успешном нересте фитофильной группы рыб (табл. 2).

При повторном исследовании непромысловой части рыбного населения, проведенном летом 2011 г. с помощью того же тяглового невода с ячеей в приводе 4 мм, было выявлено изменение не только соотношения отдельных видов, но видовой структуры в целом (табл. 2). Не были отмечены реофильные виды (обыкновенные гольян и подкаменщик, пескарь) и усатый голец, т.е. произошло значительное снижение численности этих видов, а возможно, и вовсе их выпадение из состава рыбной части сообщества Нювчимского водохранилища.

Доминирующее положение по численности закрепил за собой ерш, поскольку, имея хотя и широкую нишу, редко включается в рацион питания хищных рыб. Доля плотвы оказалась незначительной, что, по-видимому, связано с увеличением доли хищников в водоеме. Данное предположение подтверждается появлением в неводных уловах окуня и щуки.

Примечательно появление такого вида, как верховка, которая не была отмечена при исследовании рек, на базе которых сформировано водохранилище. Такие индивидуальные особенности, как короткий жизненный цикл и порционный нерест могут способствовать дальнейшему увеличению ее численности. Развитие верховки в конечном итоге должно привести к относительному повышению рыбопродуктивности водоема, поскольку она может стать основным компонентом в питании хищных видов рыб.

По данным гидробиологических исследований, в Нювчимском водохранилище средняя численность и биомасса бентоса была гораздо выше, чем в Кажимском, и составила 21.6 тыс. экз. и 12.7 г/м^2(из них 61.8% массы – моллюски). С точки зрения повышения рыбопродуктивности вполне обосновано вселение в данный водоем более ценных рыб бентофагов. Из таковых без каких либо подготовительных мероприятий можно порекомендовать карася. Из хищных видов рыб перспективным может оказаться судак, поскольку в спектр его питания входят такие рыбы, как верховка, ерш, плотва, окунь.

Таблица 1

Видовой состав сетных уловов рыбной части сообщества Кажимского и Нювчимского водохранилищ, %

Вид рыб	Водохранилище	
	Кажимское	Нювчимское
Окунь	40.0	0.5
Плотва	35.0	8.0
Ерш	22.0	6.0
Щука	3.0	0.5
Налим	–	85.0

Проведенные исследования показали, что Кажимское водохранилище представляет собой типичный окунево-плотвичный водоем с устоявшейся структурой рыбного населения. При формировании рыбной части сообщества Нювчимского водохранилища отмечена крайне низкая численность реофилов на начальном этапе, а также успешный нерест плотвы, что вполне закономерно (Стрельников и др., 1984). Из особенностей можно выделить нехарактерную структуру промысловой части рыбного населения, где место доминанта занял налим. Повторное исследование непромысловой части рыбного населения показало значительные изменения: выпали реофильные виды, произошла смена доминанта. Возросла доля фитофильных хищных рыб. Обнаружена ранее не отмеченная верховка. С целью повышения рыбопродуктивности возможны мероприятия по вселению в Нювчимское водохранилище карася и судака.

Таблица 2

Видовой состав неводных уловов рыбной части сообщества Нювчимского водохранилища, %

Вид	Год	
	2000	2011
Плотва	89.1	2.8
Ерш	8.0	61.5
Окунь	–	10.8
Щука	–	10.1
Верховка	–	15.0
Голец усатый	1.5	–
Обыкновенный гольян	0.4	–
Пескарь	0.4	–
Обыкновенный подкаменщик	0.4	–
Налим	0.2	0.3

По-видимому, рыбное население Нювчимского водохранилища находится на втором этапе формирования, когда происходит завершение развития видовой структуры рыб, и в дальнейшем происходят лишь численные колебания в сообществе.

Как правило, такие водохранилища имеют комплексное назначение и могут использоваться для организации рыбного хозяйства, баз отдыха, нужд сельского хозяйства. Нювчимское водохранилище «реанимировано» в целях сохранения исторического наследия и, к сожалению, в рыбохозяйственных целях использовано не было, несмотря на имеющееся обоснование. На данный момент используется компанией «БиоРесурс» для садкового выращивания форели, а также рыбаками-любителями.

Искренне благодарю заведующего лабораторией ихтиологии и гидробиологии ИБ Коми НЦ УрО РАН А.Б. Захарова за предоставленные материалы.

Исследования проведены в рамках госконтракта с Министерством сельского хозяйства и продовольствия № 5 «Биологическое обоснование использования водных объектов Республики Коми для организации пастбищного и садкового рыбоводства» и проекта «Восстановление рыбных ресурсов на искусственных водоемах в бассейнах малых рек Республики Коми» (руководитель темы А.Б. Захаров).

Литература

Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / Отв. ред. Г.В. Воропаев, А.Б. Авакян. М.: Наука, 1986. 367 с.

Стрельников А.С., Володин В.М., Сметанин М.М. Формирование ихтиофауны и структуры популяций рыб в водохранилищах // Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 161-204.

ПОДВИДОВАЯ СПЕЦИФИКА ПЕНОЧКИ-ТЕНЬКОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР)

Н.П. Селиванова, Д.А. Шипилина[1]
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: selivanova@ib.komisc.ru
[1] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: daria.shipilina@gmail.com

Основу орнитофауны Республики Коми составляют представители европейского, сибирского и арктического типов фауны, а также широко распространенные виды птиц. Незначительное число видов имеет средиземноморское, тибетское и китайское происхождение. В силу особенностей расположения территории на стыке Европы и Азии характер орнитофауны региона определяют европейские (23%) и сибирские виды птиц (22%). Пограничный эффект отчетливо проявляется и на подвидовом уровне. На территории между Тиманским кряжем и западным макросклоном Урала обитают европейские и сибирские формы рябчика (*Tetrastes bonasia bonasia – septentrionalis*), серого журавля (*Grus grus grus – lilfordi*), большого кроншнепа (*Numenius arquata arquata – orientalis*), филина (*Bubo bubo ruthenus – sibiricus*), воробьиного сыча (*Glaucidium passerinum. passerinum – orientale*), белоспинного дятла (*Dendrocopos leucotos leucotos – uralensis*), малого дятла (*Dendrocopos minor minor – kamtschatkensis*), трехпалого дятла (*Picoides tridactylus tridactylus – crissoleucus*), полевого жаворонка (*Alauda arvensis arvensis – dulcivox*), обыкновенного скворца (*Sturnus vulgaris vulgaris – poltaratskyi*), белой трясогузки (*Motacilla alba dukhunensis – alba*), кукши (*Perisoreus infaustus infaustus – rogosowi*), сойки (*Garrulus glandarius glandarius – brandtii*), кедровки (*Nucifraga caryocatactes caryocatactes – macrorhynchos*), пеночки-теньковки (*Phylloscopus collybita abietinus – tristis*), малой мухоловки (*Ficedula parva parva – albicilla*), зарянки (*Erithacus rubecula rubecula – tataricus*), сероголовой гаички (*Parus cinctus cinctus – lapponicus*), обыкновенного поползня (*Sitta europaea europaea – asiatica*), обыкновенной пищухи (*Certhia familiaris familiaris – daurica*), тростниковой овсянки (*Emberiza schoeniclus schoeniclus – passerina*). Изучение внутривидового разнообразия популяций этих полиморфных видов представляет значительный интерес с зоогеографической точки зрения, позволяя выявлять закономерности формирования и особенности функционирования фауны региона.

Проблему акустической и генетической дифференциации в зоне симпатрии мы рассматривали на примере пеночки-теньковки, представленной в регионе восточно-европейской (*Phylloscopus collybita abietinus*) и сибирской формами (*Ph. c. tristis*), а также переходными вариантами между ними. Аллопатрические популяции *abietinus* обитают на большей части Восточной Европы, *tristis* – гнездятся в Восточной Сибири. На территории от Северной Двины и Камы до Енисея встречаются особи с переходной окраской и «смешанной» песней, выделенные Н.А. Северцовым в 1873 г. в отдельный западноси-

бирский подвид – *Ph. c. fulvescens* (Степанян, 2003). На протяжении XX в. вопрос о его таксономическом статусе оставался спорным. Одни авторы признавали его в качестве подвида, другие считали результатом гибридизации *abietinus* и *tristis*. В начале XXI в. благодаря применению молекулярно-генетических методов и проведению анализа одновременно по нескольким категориям признаков, гибридизация межу восточноевропейской и сибирской теньковками была доказана на Южном Урале (Марова и др., 2009).

Территория республики на основании находок птиц со «смешанной» песней и промежуточными морфологическими признаками расположена в зоне перекрывания ареалов восточноевропейской и сибирской теньковок, однако сведения о границах распространения этих форм на ее территории крайне скудны. По данным В.Т. Бутьева и Е.А. Коблика, в бассейне р. Вычегда в 1984, 1986 гг. примерно половина птиц исполняла «смешанную» песню, другая половина – европейскую (Бутьев, Коблик, 1997). В 1988 г. здесь же отмечались птицы только со «смешанным» типом песни (Марова, Леонович, 1993). Более детальный анализ по длительности нот и интервалами между ними в песнях теньковок, обитающих на севере европейской части России, проводил А. Линдхольм (Lindholm, 2008). По его данным, в южной части республики (бассейн р. Вычегда) примерно половина самцов исполняет песню, характерную для формы *tristis*, другая половина – «смешанную» песню, с преобладанием нот, характерных для сибирской теньковки. Только одна запись из выборки была типична для восточноевропейской теньковки. Теньковки с Полярного Урала и Приуралья по результатам акустического анализа были отнесены автором к сибирской форме. Южнее, в Кировской области, теньковки с сибирскими элементами в песне отмечены только вблизи ее северной границы (в верховьях р. Кама), на остальной территории встречались восточноевропейские теньковки (Сотников, 2006). К западу от Республики Коми, в Архангельской области (Пинежский заповедник), по данным Маровой с коллегами (Marova et al., in press), теньковки характеризовались «смешанным» пением с преобладанием элементов, характерных для восточно-европейских теньковок.

На основании анализа данных литературы, границы распространения форм вида на территории Республики Коми пока могут быть оценены весьма условно. По всей видимости, территория региона расположена в восточной части зоны симпатрии, где обитают теньковки, исполняющие сибирскую или «смешанную» песню с преобладанием сибирских элементов; на юге республики, в бассейне р. Вычегда, отмечаются птицы с европейским вариантом песни.

Исследования с применением молекулярно-генетических методов в регионе не проводились. Но на основании данных генотипических исследований южно-уральской популяции, где 88.5% гибридных особей характеризовались сибирским миотипом (Марова и др., 2009), можно предположить, что и на территории республики наблюдается расселение формы *tristis* в западном направлении. В пользу продолжающейся гибридизации по всей северо-восточной части зоны симпатрии свидетельствуют факты регистраций сибирских и «западносибирских» теньковок в Европе в пролетный период, начиная с середины XX в.

Для надежной количественной оценки подвидовой специфики и определения границ распространения форм пеночки-теньковки на территории Республики Коми необходимо проведение комплексного анализа вокальных, фенотипических и генотипических признаков, который позволит оценить соответствие фенотипа, вокального типа и морфотипа исследуемых особей.

Литература

Бутьев В.Т., Коблик Е.А. Заметки по авифауне юга Республики Коми // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. Екатеринбург, 1997. С. 34-37.

Марова И.М., Леонович В.В. О гибридизации сибирской (*Phylloscopus collybita tristis*) и восточноевропейской (*Ph. c. abietinus*) теньковок в зоне их симпатрии // Гибридизация и проблема вида у позвоночных. М.: Изд-во МГУ, 1993. Т. 30. С. 147-163.

Марова И.М., Федоров В.В., Шипилина Д.А., Алексеев В.Н. Генетическая и вокальная дифференциация в гибридных зонах певчих птиц: сибирская и европейская теньковки (*Phylloscopus* [*collybita*] *tristis* и *Ph.* [*c.*] *abietinus*) на Южном Урале // ДАН, 2009. Т. 427. № 6. С. 848-850.

Сотников В.Н. Птицы Кировской области и сопредельных территорий. Т. 2. Воробьинообразные. Ч. 1. Киров, 2006. 446 с.

Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий. М., 2003. 808 с.

Lindholm A. Mixed song of Chiffcaffs in Northern Russia // Alula, 2009. № 3. P. 108-115.

Marova I., Shipilina D., Fedorov V., Ivanitskii V. Siberian and Eastern European Chiffchaffs: geographical distribution, morphological features, vocalization, phenomenon of mixed singing and evidences of hybridization in sympatry zone (in press).

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ *DIPLOSTOMUM PHOXINI* В ПОПУЛЯЦИЯХ ЗДОРОВОГО И ПОРАЖЕННОГО ОПУХОЛЯМИ ГОЛЬЯНА ОБЫКНОВЕННОГО *PHOXINUS PHOXINUS* (L.)

А.А. Ситар
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: sitaraa@yandex.ru

На протяжении более 20 лет широко проводятся популяционные исследования паразитов рыб. Подобные работы раскрывают природу влияния хозяино-паразитарных отношений на динамику численности паразитов, а также проводят статистическую оценку такого влияния (Бреев, 1972). Устойчивость отношений паразита и хозяина связана со множеством факторов, таких как доза заражения, проявление иммунной защиты, возраст, предрасположенность хозяев к заражению и др. (Иешко и др., 2008). Однако отсутствуют данные о влиянии новообразований на отношения хозяина и паразита в природных популяциях.

Сбор материала для данной работы осуществлялся 5 июля 2010 г. по общепринятой методике. Гольяна отлавливали в низовьях р. Шайтановка (правый приток верхней Печоры, в районе кордона), расположенной на территории Печоро-Илычского государственного природного заповедника.

У всех особей гольяна при вскрытии отмечали число диплостомид и их локализацию в каждом из отделов головного мозга. Материал просматривали под бинокуляром МБС-10 при увеличении 8×2. Всего вскрыто 56 экз. гольяна возрастом 0+...1+, из них здоровых – 30 экз., пораженных новообразованиями – 28. Во всех случаях экстенсивность заражения *Diplostomum phoxini* составила 100% при интенсивности инвазии 10-389 экз. (табл. 1).

Диплостомиды обнаружены у гольяна в переднем, среднем мозге, мозжечке и продолговатом мозге в области четвертого желудочка. Чаще всего метацеркарии локализуются в полостях головного мозга, но нередко проникают и в его стенки, нарушая целостность тканей. При этом они не вбуравливаются в ткани мозга снаружи, а попадают внутрь через отверстие ромбовидной ямки и распространяются далее по мозговому каналу (Сильвиев водопровод) в другие отделы мозга. Об этом свидетельствует высокий процент во всех выборках диплостомид, обнаруженных в четвертом желудочке (54-61%), а также выпадение отдельных метацеркарий из ромбовидной ямки при вскрытии.

Известно (Доровских, 1993), что разные размерно-возрастные группировки хозяина играют неодинаковую роль в поддержании численности паразитов, поэтому сравнили зараженность диплостомидами гольяна с разной длиной тела (табл. 1). Статистический анализ показал, что более мелкий гольян как здоровый, так и с меланомами, поражен диплостомидами слабее, чем рыбы крупных размеров (табл. 2).

Определение типа распределения частот встречаемости диплостомид у здорового гольяна и пораженного опухолями обоих размерных групп показало, что во всех четырех выборках характер распределения диплостомид соответствует нормальному распределению (табл. 3). Данный факт свидетельствует об одинаковой роли здорового и пораженного новообразованиями гольяна в поддержании численности диплостомид.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

1. Экстенсивность инвазии диплостомидами гольяна в низовьях р. Шайтановка составляет 100%.

2. Чаще всего метацеркарии локализуются в районе четвертого желудочка головного мозга хозяина.

3. Интенсивность инвазии статистически ниже у более мелких особей гольяна независимо от наличия или отсутствия новообразований на теле хозяина.

4. Характер распределения диплостомид в популяции здорового и пораженного опухолями гольяна в низовьях р. Шайтановка соответствует нормальному распределению.

Литература

Бреев К.А. Применение негативного биномиального распределения для изучения популяционной экологии паразитов // Методы паразитологических исследований. Л., 1972. Вып. 6. 70 с.

Таблица 1

Зараженность *Diplostomum phoxini* (L.) разных размерных групп здорового и пораженного опухолями гольяна из р. Шайтановка (Ст. Лодок) в июле 2010 г.

Показатель зараженности	Гольян без опухолей (0+)	Гольян без опухолей (1+)	Гольян с опухолями (0+)	Гольян с опухолями (1+)
Экстенсивность инвазии, %	100.0	100.0	100.0	100.0
Интенсивность инвазии, экз.	19-102	35-389	10-102	17-244
Индекс обилия, экз.	46.3±6.3	153.3±20.4	45.1±6.2	80.9±19.9
Число исследованных рыб, экз.	15	15	14	12

Таблица 2

Уровень значимости различий в зараженности диплостомидами гольяна здорового и пораженного новообразованиями разных размерных групп из р. Шайтановка (Ст. Лодок) в июле 2010 г.

Показатель зараженности	Показатель точности	Гольян без опухолей 0+...1+	Гольян с опухолями 0+...1+	Гольян (1+) без опухолей – с опухолями	Гольян (0+) без опухолей – с опухолями
Интенсивность инвазии, экз.	F	2.5	2.7	2.6	2.5
	P	<0.05	<0.05	>0.05	>0.05
Индекс обилия, экз.	$Л_ф$	0.224	0.131	0.232	0.065
	P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Таблица 3

Параметры распределения *Diplostomum phoxini* (L.) разных размерных групп здорового и пораженного опухолями гольяна из р. Шайтановка (Ст. Лодок) в июле 2010 г.

Показатель	n	M	m_M	s^2	s^2/M	K	$ч^2$	P, %	Тип распределения
Гольян без опухолей (0+)	15	46.3	6.3	1997.5	43.1	1.10	5.99	≤5	Нормальное
Гольян без опухолей (1+)	15	153	20.4	6212.4	40.5	3.88	3.84	≤5	Нормальное
Гольян с опухолями (0+)	12	45.1	6.2	935.8	20.7	2.29	7.81	≤5	Нормальное
Гольян с опухолями (1+)	14	80.9	19.9	4745.9	58.7	1.40	3.84	≤5	Нормальное

Доровских Г.Н. Распространение *Lernea cyprinacea* (Copepoda: Lernaeidae) в популяции карася // Паразитология, 1993. Вып. 1. С. 90-96.

Иешко Е.П., Аниканова В.С., Павлов Ю.Л. Особенности распределения численности цестоды *Ditestolepis diaphana* (*Cholodowsky* 1906) в популяции обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L., 1758) Карелии // Труды Карельского НЦ РАН. Петрозаводск, 2008. Вып. 13. С. 57-64.

ЧИСЛЕННОСТЬ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ РУСЛОВОЙ ЧАСТИ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ю.И. Соломатин
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: solomatin1988@gmail.com

Изучение видового разнообразия экосистем и численности организмов, входящих в их состав, – одно из важных направлений в экологических исследованиях, причем величина этих параметров часто считается показателем лучшего или худшего состояния системы. Исследования, нацеленные на оценку состояния рыбных запасов водоемов или их участков необходимы для обеспечения их рационального использования.

Чебоксарское водохранилище относится к русловым водоемам. Оно было образовано в 1980 г. и в течение последующих двух-трех лет планировалось полностью заполнить его, доведя уровень воды до 68 м БС (Балтийская система). К настоящему времени уровень воды так и не доведен до проектной отметки и составляет 63 м БС, что, по мнению многих исследователей, является оптимальным вариантом. В целом, водоем обладает низкой промысловой рыбопродуктивностью (Минин и др., 2001). Уровенный режим в Чебоксарском водохранилище весьма специфичен, для него характерны значительные колебания – как сезонные, так и межгодовые.

Настоящая работа включает в себя оценку численности и видового разнообразия русловой части Чебоксарского водохранилища в 2009-2010 гг. и сравнительный анализ с данными предыдущих исследований.

Материалом для работы послужили результаты тралово-акустических съемок на русловых участках Чебоксарского водохранилища, проведенных в летний период вышеупомянутых лет. Отлов рыбы осуществлялся по различным горизонтам с помощью пелагического и донного тралов. Основу всех уловов пелагическим тралом по численности (80-100%) составляла молодь разных видов рыб; уловы донным тралом были представлены исключительно взрослыми особями.

Для оценки видового разнообразия ихтиофауны использован индекс Шеннона (*H*). Для каждого вида определялась его доля (%) по отношению к численности всех видов. Показателем доминирования (*Пд*) конкретного вида служила его доля (от 0 до 1) по отношению к численности всех видов. Сравнение значений исследуемых показателей проводилось для дна (придонного горизонта) и пелагиали отдельно.

Таблица 1

Видовой состав и численность рыб придонного горизонта в Чебоксарском водохранилище

№	Виды рыб	Численность, экз./м^2			
		1980-е гг.*	1990-е гг.*	2000-2004 гг.*	2009-2010 гг.
1	Лещ	36.44	18.62	19.99	16.01
2	Судак	0.64	0.24	0.21	0.24
3	Стерлядь	14.21	1.48	0.14	0.30
4	Щука	0.32	0.02	0.01	0.00
5	Сом	0.87	0.20	0.34	0.18
6	Жерех	0.33	0.01	0.00	0.00
7	Налим	0.47	0.05	0.01	0.00
8	Берш	0.39	0.22	0.57	0.72
9	Язь	0.62	0.05	0.00	0.00
10	Густера	8.01	6.24	5.69	5.48
11	Плотва	0.96	0.53	0.27	0.00
12	Синец	5.26	1.93	2.20	0.00
13	Белоглазка	8.13	1.48	1.26	3.55
14	Чехонь	1.99	0.82	0.43	0.12
15	Ёрш	1.24	0.01	0.01	0.00
16	Окунь	0.31	0.00	0.00	0.00
17	Подуст	0.70	0.00	0.00	0.00
Всего		80.89	31.90	31.13	26.60
Пд		0.45	0.58	0.64	0.60
Н		–	–	–	0.97

Примечание. * литературные данные (Минин, 2005).

В работе использованы следующие показатели (экз./га): численность отдельных видов и общая численность.

В работах других исследователей показано, что численность и биомасса рыбного населения прибрежной зоны Чебоксарского водохранилища значительно превышают таковые в русловой зоне (Минин, 2012). В то же время рыбные ресурсы прибрежной зоны промыслом недоиспользуются, а освоение их в русловой части, напротив, относительно полное, в первую очередь, у щуки, судака и леща. (Блинов, Клевакин, 1998; Минин, 2012).

Начиная с конца 1990-х гг. численность рыбного населения в придонной зоне русловой части водохранилища находится на относительно постоянном уровне – порядка 30 экз./га (табл. 1). Именно в 1990-х гг. произошло резкое снижение количественных показателей для большинства видов. Так, например, численность леща – вида, составляющего основу уловов донным тралом, сократилась вдвое. Численность таких видов, как стерлядь, щука и чехонь уменьшилась еще значительнее (в 2.5-11 раз) и продолжала снижаться в последующие годы. Несмотря на то, что в период проведения настоящего исследования достоверных изменений в численности рыб не было обнаружено, именно в 2009-2010 гг. зафиксировано наиболее значительное уменьшение количества видов рыб. Если в начале 2000-х гг. число видов уменьшилось с 17 (в 1980-х гг.) до 13, то к концу 2000-х – до восьми. Такие виды, как щука, налим, плотва, синец и ерш полностью отсутствовали в придонном горизонте во время проведения данного исследования. Значения индекса видового разнообразия Шеннона также оказались весьма низкими и составляли в зависимости от станции от 0 до 1.9 (лишь единожды на одной из станций было зафиксировано значение 2.3) при среднем значении в 1.0. Показатель доминирования также претерпел наибольшие изменения в 1990-е гг.: доля леща увеличилась с 0.45 (в 1980-е гг.) до 0.60 (с 1990-х по настоящее время).

Переходя к анализу уловов пелагическим тралом, сразу стоит отметить, что мы не имели возможности сравнить собственные данные с данными прошлых лет, поскольку подобные исследования на Чебоксарском водохранилище раньше не проводились.

В пелагиали русловой части изучаемого водоема обнаружено всего семь видов рыб, более 80% уловов составляли два вида: тюлька и окунь (табл. 2). При этом преимущество тюльки по сравнению с окунем (44 и 38% соответственно), по всей видимости, должно оказаться гораздо более существенным при проведении более длительных исследований. Относительно высокое среднее значение численности окуня в период проведения настоящего исследования связано с весьма значительным количеством особей этого вида только в 2009 г. и лишь на единичных станциях. При этом все особи окуня были представлены сеголетками, для которых русловые участки водохранилищ не являются привычными местами нагула (время проведения исследования). В связи с вышесказанным, значения численности и доля окуня в 2009-2010 гг. были усреднены, как и в случае с остальными видами. Значения индекса видового разнообразия Шеннона оказались даже ниже, чем в случае с придонным горизонтом: ни на одной из станций они не превышали 1.9, составляя в среднем менее 0.6. А вот общая численность оказалась даже несколько выше, чем у дна, и составила 44 экз./га.

Таким образом, в ходе нашей работы было установлено, что численность и видовое разнообразие рыбного населения русловой части Чебоксарского водохранилища в 2009-2010 гг. не претерпели серьезных изменений, и, начиная с конца 1990-х гг., находятся на относительно постоянном уровне. Положено начало изучению пелагической части русловой зоны водохранилища. Данные, полученные в результате настоящего исследования, могут оказаться весьма

полезными при возможном заполнении рассматриваемого водоема до отметки 68 м БС, а также послужить отправной точкой для дальнейших исследований в случае осуществления этого проекта.

Таблица 2

Видовой состав и численность рыб в пелагиали Чебоксарского водохранилища в 2009-2010 гг.

№	Виды рыб	Численность, экз./м^2	Доля вида, %
1	Тюлька	19.42	44.30
2	Окунь	16.64	37.97
3	Судак	0.83	1.90
4	Густера	0.28	0.63
5	Уклейка	0.55	1.27
6	Чехонь	5.27	12.03
7	Язь	0.83	1.90
Всего		43.83	100.00
Пд		0.44	
Н		0.57	

Литература

Блинов Ю.В., Клевакин А.А. Анализ уловов рыбы в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах на современном этапе развития // Тезисы VII Всероссийской конференции по проблемам промыслового прогнозирования. Мурманск, 1998. С. 42-43.

Минин А.Е., Блинов Ю.В., Клевакин А.А., Ненашев Г.А. Качественные и количественные изменения ихтиоценозов отдельных участков Чебоксарского водохранилища за период его существования // Тезисы VIII съезда Гидробиологического общества РАН. Калининград, 2001. Т. 1. С. 124-125.

Минин А.Е. Динамика развития ихтиоценоза Чебоксарского водохранилища за годы его существования и его влияние на вылов рыбы // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера: Матер. IV (XXVII) Междунар. конф. Вологда, 2005. Ч. 2. С. 20-22.

Минин А.Е. Формирование рыбных запасов и перспективы развития промысла на Чебоксарском водохранилище: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2012. 25 с.

НАСЕКОМЫЕ-ФИТОФАГИ НЕКОТОРЫХ ЭКДИСТЕРОИДСОДЕРЖАЩИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА SERRATULA

К.Г. Уфимцев, С.В. Пестов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: ufimtsev@ib.komisc.ru, pestov@ib.komisc.ru

Как известно, основной функцией экдистероидных гормонов у насекомых является регуляция процессов линьки и метаморфоза. В зависимости от уровня концентрации гормона они могут инициировать различные этапы линьки, вызывая лишь начало растворения старой кутикулы (аполизис) при низких концентрациях и индуцируя формирование новой кутикулы при высоком титре. На заключительных этапах экдизиса экдистероиды вместе с бурсиконом регулируют процессы склеротизации и меланизации покровов (Бакл, 1986; Буров, Сазонов, 1987). Исследования по выделению этих гормональных факторов из куколок тутового шелкопряда *Bombix mori*, проводимые в Германии с 1942 г., привели к выделению Бутенандтом и Карлсоном кристаллических веществ – экдизона (Е) и 20-гидроксиэкдизона (20Е) по современной номенклатуре (Butenandt, Karlson, 1954).

В настоящее время экдистероиды привлекают внимание ученых как группа природных соединений, которые обнаружены не только в животном, но и растительном мире. Несмотря на прогресс в области обнаружения и идентификации фитоэкдистероидов, биологическая и биохимическая роль их в растениях, а также механизм взаимодействия насекомое-растение до сих пор мало изучены и остаются гипотетическими (Дайнен, 1998). Одна из функций экдистероидов в растении, которой посвящено, пожалуй, наибольшее количество исследований, – их детеррентное действие. Для оценки вклада ФЭ в детеррентную активность растений по отношению к неадаптированным насекомым-фитофагам была разработана стратегия многоплановых исследований, учитывающая всю сложность взаимоотношений между растениями и насекомыми-фитофагами.

Одним из наиболее перспективных продуцентов фитоэкдистероидов является серпуха венценосная (*Serratula coronata* L.) – многолетнее растение из семейства сложноцветных (Asteraceae). Содержание 20Е в надземной части растений колеблется от 0.7 до 3.0%. В природе любой организм взаимодействует со своим абиотическим и биотическим окружением. Помимо климатических и эдафических факторов, обычно учитываемых при интродукции, важным является выявление консортивных связей между видами. В практическом плане большой интерес представляет определение роли насекомых двух групп – фитофагов и опылителей. Значение насекомых-фитофагов для растения неоднозначно. С одной стороны, можно говорить об отрицательном воздействии фитофагов на растения, поскольку они отчуждают часть фитомассы. С другой – биоповреждения могут приводить к индукции биосинтеза вторичных метаболитов, что имеет важное практическое значение.

Таблица 1

Доля поврежденных листьев растений рода Serratula в опытных посадках, % (2010 г.)

Группа повреждений	*S. quinquefolia*	*S. inermis*	*S. coronata*
Минирование	4.0	2.0	2.7
Дырчатые погрызы	18.0	12.0	1.3
Краевые погрызы	12.0	2.0	1.0
Скелетирование	8.0	1.0	–

Цель настоящего исследования – выявление эколого-биохимических взаимоотношений насекомых-фитофагов с экдистероидсодержащими растениями рода *Serratula*. Исследования проводились в июне-августе 2010-2011 гг. на опытных полях в окрестностях г. Сыктывкар. Насекомых собирали кошением энтомологическим сачком по растениям *S. coronata* L., *S. inermis* Gilib., *S. quinquifolia* M. Bieb. ex Willd., осмотром растений и ручным сбором. Падь тли собирали с помощью полимерных дисков диаметром 9 см, укрепленных на генеративных побегах ниже участков, пораженных тлями, с 15 растений ежедневно. Анализ образцов на содержание и компонентный состав экдистероидов проводили на аналитической системе ВЭЖХ «Varian», «Pro Star» (США).

В составе консортивного комплекса рода Serratula отмечено 66 видов насекомых, из которых 25% составляют фитофаги и 17 – опылители. Наиболее часто встречающимися фитофагами для трех представителей рода Serratula являются щитоноска пижмовая *Cassida vibex* L. и тля *Uroleucon jaceae* L.

Установлено четыре типа повреждений листьев серпухи: минирование (личинки двукрылых), дырчатые погрызы (личинки пилильщиков и личинки *C. vibex*), краевые погрызы (гусеницы чешуекрылых) и скелетирование (жуки-листоеды). Максимальная доля повреждений приходится на *S. quinquifolia* (табл. 1), в меньшей степени повреждаются растения вида *S. inermis*. Доля повреждений *S. coronata* минимальна.

Нами была прослежена динамика повреждения тлей *U. jacea* растений серпухи венценосной (рис. 1А). Максимальное число поврежденных растений в 2010 г. наблюдалось к концу фазы отрастания, которое держалось на таком уровне в течение всей фазы бутонизации. При переходе растений в фазу цветения доля поврежденных растений начала резко снижаться. Уменьшалось также и число тлей в колониях. В 2011 г. появление тли наблюдалось гораздо позже, доля поврежденных растений достигла своего максимума к фазе плодоношения и составила 50%. В 2010 г. максимальное число тлей *U. jaceae* (454 особи) на одно растение серпухи венценосной было зафиксировано в период бутонизации и начала цветения (рис. 1Б), когда в растении содержится максимальное количество фитоэкдистероидов. В 2011 г. число тлей на одно растение было максимальным в фазу плодоношения и не превышало 20 шт.

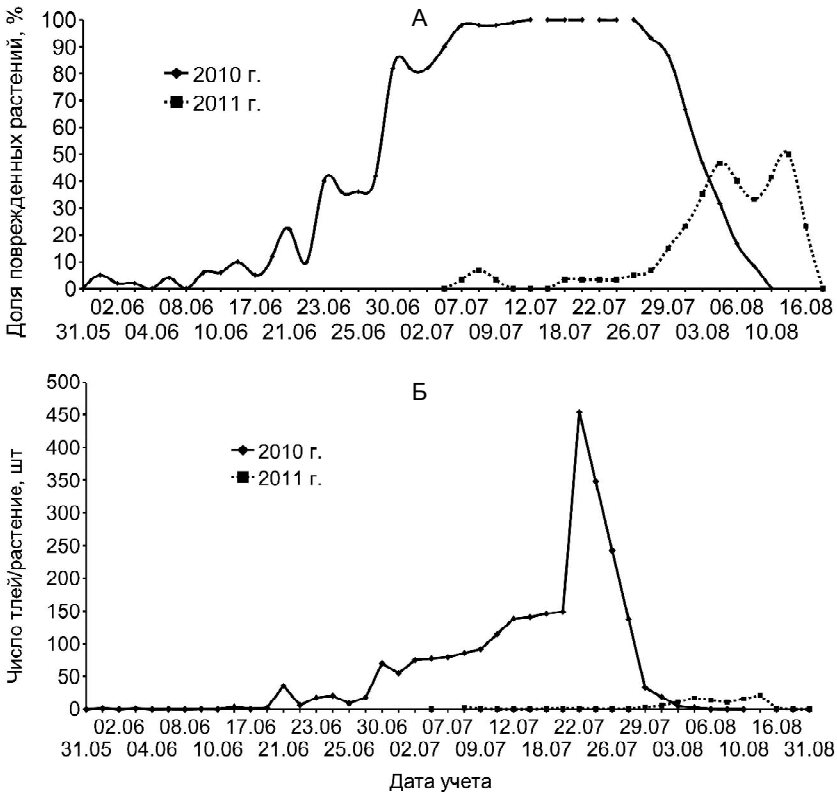


Рис. 1. Динамика численности тлей *U. jaceae* на растении *S. coronata* (А) и доля поврежденных ею растений (Б) в 2010 и 2011 гг.

В 2010 г. нами был проведен анализ участков стеблей серпухи венценосной, поврежденных тлей, на содержание и компонентный состав экдистероидов (табл. 2). Титр инокостерона (In) и 20E в фазу цветения возрастал почти в два раза. Анализ самой тли показал отсутствие в ней In в отличие от стеблей, поврежденных тлей. Содержание 20E в тле, взятой в разные фазы развития серпухи венценосной, примерно одинаково, однако был обнаружен E, концентрация которого в тле, взятой на фазе цветения, была гораздо выше, чем в тле, взятой с бутонизирующих растений. Анализ пади тлей показал наличие в ней E, 20E и In, при этом их концентрация в фазе цветения растений была выше, нежели на фазе бутонизации.

Первые единичные особи имаго *Cassida vibex* появлялись в конце мая. Яйцекладка происходит, по-видимому, в первой половине июля. К середине июня появляются первые личинки.

Окукливание отмечено нами в середине июля. Фаза куколки продолжается 7-10 дней. После чего появляются имаго. Вначале они активно питаются листьями тех же растений, что и личинки, к середине-концу августа начинают диапаузировать.

Нами были собраны личинки *Cassida vibex* на различных стадиях развития в период с 4 по 25 июля. Каждая личинка содержалась в индивидуальной чашке Петри. Ежедневно проводилось взвешивание личинки, корма и экскрементов. После окукливания рассчитывали среднюю массу личинки для каждых суток, начиная с момента окукливания. Рост личинок хорошо описывается экспоненциальной кривой, поэтому на основании регрессионного анализа можно рассчитать точку пересечения линии регрессии с осью абсцисс и таким образом оценить продолжительность стадии личиночного развития. По нашим расчетам, личинка листоеда *Cassida vibex* развивается около 20-22 сут. (рис. 1).

Из 48 видов консортивного комплекса растений трех видов рода Serratula насекомых фитофаги составляют 25%. Наиболее часто встречаемыми являются тля *Uroleucon jaceae* и листоед *Cassida vibex*. Выявлена динамика повреждаемости растений *S. coronata* тлей *U. jaceae* и изменение численности тлей в период вегетации растений. Листоедами *C. vibex* интенсивнее повреждаются листья *S. quinquefolia* (18%) и *S. inermis* (12%). Установлены особенности фенологии листоеда *C. vibex* и характеристики роста личинок. Показано, что основными экдистероидами поврежденных тлей участков стеблей *S. coronata* являются 20E и In, в то время как в самой тле обнаружены E и 20E, что может быть связано с деградацией 20E и In поступающих с пищей. Экдистероиды впервые обнаружены в нектаре трех видов рода Serratula.

Авторы выражают благодарность к.б.н., с.н.с. лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН С.О. Володиной и к.х.н., с.н.с. этой же лаборатории А.Г. Донцову за помощь в проведении работы.

Таблица 2

Содержание экдистероидов в стеблях растений *S. coronata*, поврежденных тлей *U. jaceae*, тле и ее пади (2010 г.)

Фаза развития	Массовая доля экдистероидов, %		
	E	20E	In
Поврежденные стебли			
Бутонизация	–	0.057±0.010	0.013±0.004
Цветение	–	0.098±0.005	0.024±0.001
Тля			
Бутонизация	0.063±0.009	0.021±0.007	–
Цветение	0.122±0.006	0.019±0.001	–
Падь тлей			
Бутонизация	0.006±0.003	0.050±0.019	0.019±0.009
Цветение	0.077±0.019	0.259±0.039	0.111±0.017

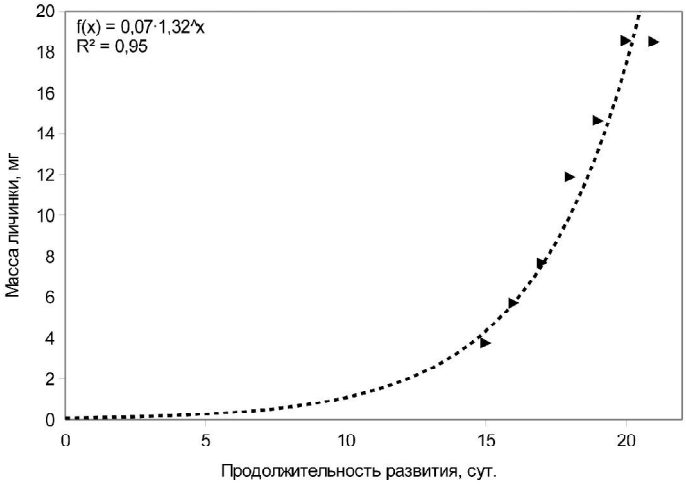


Рис. 2. Кривая роста массы тела личинок *Cassida vibex*.

Литература

Бакл Дж. Гормоны животных. М.: Мир, 1986. 85 с.

Буров В.Н., Сазонов А.П. Биологически активные вещества в защите растений. М.: Агропромиздат, 1987. 198 с.

Дайнен Л. Стратегия оценки роли фитоэкдистероидов как детеррентов по отношению к беспозвоночным-фитофагам // Физиология растений, 1998. Т. 45. № 3. С. 347-359.

Butenandt A., Karlson P. Uber die isolierung eines metamorphose – hormone der insecten in kristallisierter form // Z. Naturforschung, 1954. Bd. 9B. № 6. S. 389-391.

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАТОНКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕЙКОЦИТОВ КАРПООБРАЗНЫХ РЫБ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Е.А. Флерова, Е.С. Шарова
Ярославская государственная сельскохозяйственная академия
E-mail: katarinum@mail.ru

В изменяющихся под влиянием различных факторов условиях окружающей среды особую значимость приобретает изучение функционального состояния организма как в пределах нормы реакции, так и при возникающих патологиях. У костистых рыб, как и у высших позвоночных животных, особый интерес уделяется исследованию иммунной системы, в частности, ее клеточному звену, так как именно соотношение, количество и структура лейкоцитов тес-

нейшим образом связаны с функциональным состоянием организма. Чтобы выявить норму или патологию по вышеперечисленным показателям исследователю, прежде всего, необходимо правильно идентифицировать различные типы лейкоцитов. Тем не менее, несмотря на большое количество отечественных и зарубежных работ по морфологии лейкоцитов, сделанных на светомикроскопическом уровне, нет единообразия в их наименованиях (Калашникова, 1976). Кроме того, для близкородственных и/или одних и тех же видов рыб приводят лейкоцитарные формулы крови и иммунокомпетентных органов с различным составом лейкоцитов. Это вносит разноречивость в результаты исследований и затрудняет возможность сопоставления отдельных работ. По мнению многих авторов, знания о тонком строении клеток крови костистых рыб способны скорректировать существующие классификации лейкоцитов. По этой причине возрос интерес к электронно-микроскопическим исследованиям кроветворной ткани рыб. На данном этапе изучения этого вопроса большое внимание уделяется исследованию ультраструктуры этих клеток у промысловых видов костистых рыб (Балабанова, 2005). В то же время для сравнительной иммунологии, гистологии и цитологии большой интерес представляют данные о структуре лейкоцитов малоизученных представителей ихтиофауны. К таким видам относятся, например, гольцы семейства балиторовых Balitoridae (голец Кушакевича *Iskandaria kuschakewitschi* (Herzenstein 1890) и *Triplophysa sp.*) и представитель семейства карповых Cyprinidae – обыкновенная маринка *Schizotorax intermedius*.

Маринки и гольцы рода Triplophysa обитают в реках и озерах Центральной, Средней Азии и Казахстане, предпочитая мелководные участки с галечным дном. Обыкновенная маринка обнаружена в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Ареал гольца Кушакевича ограничивается бассейном р. Сырдарья (Берг, 1941).

Сведения о тонкой структуре лейкоцитов этих рыб в литературе отсутствуют.

Цель настоящей работы – изучение ультраструктуры клеток, образующих кроветворную ткань мезонефроса *Iskandaria kuschakewitschi*, *Triplophysa* sp. и *Schizotorax intermedius*.

В работе исследовали тонкое строение лейкоцитов мезонефроса трех видов костистых рыб отряд Карпообразные (Cypriniformes): *Iskandaria kuschakewitschi* (Herzenstein 1890), *Triplophysa* sp. и *Schizotorax intermedius*. Экземпляры *Iskandaria kuschakewitschi* (L = 6.7 см) и *Schizotorax intermedius* (L = 15.1 см) отлавливали в р. Арысь (бассейн р. Сырдарья) 42°33′58.2″ N – 70°07′25.1″ E, *Triplophysa* sp. (L = 7.2 см) – в р. Талас, 42°56′46.5″ N – 71°27′59.6″ E.

Кусочки органов фиксировали и проводили по стандартной для электронной микроскопии методике (Миронов и др., 1994). Ультратонкие срезы просматривали под электронным микроскопом JEM 1011. Измерение клеток и органелл проводили на электронно-микроскопических цифровых фотографиях.

Результаты исследований показали, что в интерстициальной ткани мезонефроса всех исследованных видов выявлены следующие типы клеток. Лимфоциты, характерной чертой которых является крупное округлое ядро с одним-двумя ядрышками, занимающее почти весь объем клетки. В исследуемой ткани встречаются клетки, узкий ободок цитоплазмы которых содержит один-четыре мелких митохондрий (0.2-0.25 мкм), свободные рибосомы и отдельные цистерны шероховатого эндоплазматического ретикулума. В цитоплазме некоторых клеток обнаруживается клеточный центр. Длина лимфоцитов варьирует от 3 до 5 мкм (рис. 1а). Плазматические клетки, как правило, овальной формы с эксцентрично расположенным округлым ядром. Цитоплазма содержит широкие цистерны хорошо развитого шероховатого эндоплазматического ретикулума, свободные рибосомы, множество митохондрий, лизосомы. Эти

Рис. 1. Ультраструктура агранулоцитов: а – лимфоцит, б – плазматическая клетка, в – макрофаг.

Обозначения: МТХ – митохондрии, Ф – фагосомы, Ц – цитоплазма, ШЭР – шероховатый эндоплазматический ретикулум, Я – ядро.

клетки крупнее, чем лимфоциты, их длина 6-11 мкм (рис. 1б). Макрофаги – наиболее крупные среди агранулоцитов клетки. Их длина варьирует от 8 до 15 мкм. Ядро у макрофагов расположено эксцентрично, содержит одно-два ядрышка. Гетерохроматина мало, в основном он располагается на периферии ядра. Цитоплазма содержит фагосомы, которые занимают практически весь объем клетки. Основная масса фагосом заполнена остатками разрушенных клеток. В некоторых из этих включений обнаруживаются гранулы нейтрофилов. Помимо фагосом цитоплазма макрофагов содержит митохондрии, каналы шероховатого эндоплазматического ретикулума, свободные рибосомы, лизосомы и мелкие светлые везикулы (рис. 1в).

Эозинофилы всех исследуемых видов имеют округлую форму. Длина гранулоцитов этого типа достигает больших размеров по сравнению с нейтрофилами и варьирует от 6 до 10 мкм. Ядро зрелых эозинофилов, как правило, бобовидное, располагается на периферии клетки. Цитоплазма гетерогенная, зернистая, содержит, митохондрии, очень развитый шероховатый эндоплазматический ретикулум, лизосомы, округлые электронно-плотные специфические гранулы гомогенной структуры. Длина гранул 0.51-1.09 мкм (рис. 2а).

Нейтрофилы имеют округлую форму с ацентрично расположенным ядром (рис. 2б). У исследованных видов длина нейтрофилов 6-8 мкм. Форма ядер варьирует от бобовидной до сегментовидной. Цитоплазма этих клеток содержит митохондрии, каналы шероховатого эндоплазматического ретикулума, а также специфические гранулы кристаллоидной организации (рис. 2в). Длина гранул 0.3-0.6 мкм.

В результате электронно-микроскопического исследования кроветворной ткани мезонефроса *Iskandaria kuschakewitschi*, *Triplophysa* sp. и *Schizotorax intermedius* показано, что лимфоциты, плазматические клетки, макрофаги и эозинофилы не имеют каких-либо видовых особенностей в тонком строении по сравнению с ранее исследованными лейкоцитами лососеобразных и карпообразных рыб (Балабанова, 2005; Флерова, 2011), незначительно различаясь лишь размерами. Основные отличия наблюдались в ультраструктуре специфических гранул нейтрофилов.

Показано, что структура гранул нейтрофилов карпообразных рыб, обитающих на территории Казахстана, принципиально отличается от таковой нейтрофилов не только видов отряда лососеобразные, но и представителя семейства *Balitoridae* – усатого гольца *Barbatula barbatula* (L.). Особенностью в строении данных органелл у видов отряда лососеобразные является наличие электронно-плотных тонких полос (фибрилл), расположенных вдоль гранулы равномерно или несколько смещенных к периферии органеллы (Балабанова, 2005). Тонкая структура специфических гранул в клетках усатого гольца характеризуется наличием электронно-плотной гомогенной округлой сердцевины. Кристаллоида в гранулах усатого гольца не обнаружено (Флерова, 2011). Специфические гранулы нейтрофилов *Iskandaria kuschakewitschi*, *Triplophysa* sp. и *Schizotorax intermedius*, относящихся к семействам карповые и балиторовые, имеют черты строения, характерные для нейтрофилов других видов рыб семейства карповых (Флерова, 2011; Cenini, 1984), несмотря на то, что *Iskandaria kuschakewitschi*, *Triplophysa* sp. и *Barbatula barbatula* (L.) принадлежат к семейству Balitoridae.

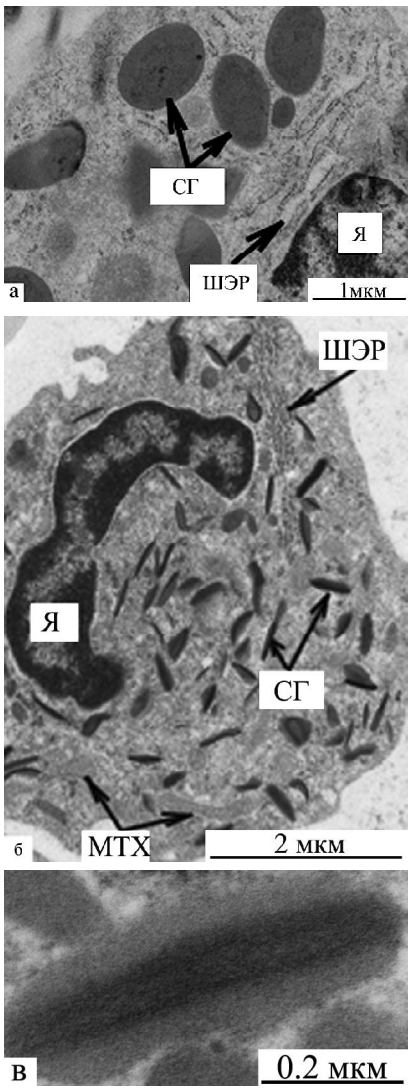


Рис. 2. Ультраструктура гранулоцитов: а – эозинофил, б – нейтрофил, в – специфическая гранула нейтрофила.

Обозначения: МТХ – митохондрии, СГ – специфические гранулы, ШЭР – шероховатый эндоплазматический ретикулум, Я – ядро.

Авторы предполагают, что наличие ультраструктурных особенностей у одних и тех же типов гранулоцитов разных видов костистых рыб привело к появлению различной терминологии относительно одних и тех же форм лейкоцитов на светомикроскопическом уровне.

Выводы:

1. Ультраструктура лимфоцитов, плазматических клеток и макрофагов и эозинофилов *Iskandaria kuschakewitschi*, *Triplophysa* sp. и *Schizotorax intermedius* сходна с таковой лейкоцитов лососеобразных и карпообразных рыб.

Среди клеток миелоидного ряда карпообразных рыб, обитающих на территории Казахстана, выявлены нейтрофилы, отличающиеся от лососеобразных рыб структурными признаками вторичных гранул.

Кристаллоидная организация специфических гранул ви-

дов семейства Balitoridae не может рассматриваться как единственная для нейтрофилов гольцов данного семейства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ, грант МК-652.2011.4 и поддержке РФФИ, грант 11-04-01168-а.

Литература

Балабанова Л.В. Ультраструктура иммунокомпетентных клеток некоторых видов лососеобразных рыб // Биология внутренних вод, 2005. № 2. С. 82-87.

Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. 2. С. 880.

Калашникова З.М. О классификациях морфологических элементов крови рыб // Вопросы ихтиологии, 1976. Т. 16. № 3 (98). С. 510-524.

Миронов А.А., Комиссарчик Я.Ю., Миронов В.А. Методы электронной микроскопии в биологии и медицине. СПб.: Наука, 1994. 400 с.

Cenini P. The ultrastructure of leucocytes in carp (*Cyprinus carpio*) // J. of Zool., 1984. Vol. 204. № 4. P. 509-520.

СООБЩЕСТВА ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РЕКИ ИВКИНА (ВОЛЖСКИЙ БАССЕЙН)

М.Л. Цепелева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: tsepeleva@ib.komisc.ru

Исследования проводились в 2009-2011 гг. на р. Ивкина – приток р. Быстрица, левобережный приток р. Вятка второго порядка. Берет начало с высокой части Вятского Увала вблизи дер. Опаринцы Верхошижемского р-на Кировской области. На всем протяжении р. Ивкина течет в северном направлении. Берега реки крутые, обрывистые, высотой от 1-2 до 5-10 м. Длина реки 104 км, площадь водосбора 1120 км^2. Русло реки извилистое, шириной от 3-5 до 7-10 м. Глубина в верхнем течении 0.6-0.9 м, в нижнем – 1-2. Средняя скорость течения 0.5-0.8 м/с (Каталог..., 1991; Природа..., 1997). В пойме реки у с. Нижне-Ивкино имеются минеральные источники и лечебные грязи, которые используются больницей и санаториями промышленных предприятий г. Киров (Кашина и др., 1996). В бассейне реки отсутствуют промышленные предприятия, в нее поступают только бытовые стоки с территорий санаториев, а также стоки с дачных участков, полей, пастбищ животных, расположенных по берегам реки.

Цель наших работ – выявление качественного и количественного составов и структуры сообществ донных беспозвоночных р. Ивкина. Для характеристики состояния зообентоса применяли показатели: количество групп донных беспозвоночных, численность (экз./м^2) и биомасса (мг/м^2).

Отбор гидробиологических проб на реке был произведен на шести станциях: одна располагалась в верхнем течении реки, две – в среднем и три – в нижнем. В верхнем и среднем течении реки преобладают глинистые грунты, также встречаются песчаные и песчаные заиленные грунты. Под автодорожными мостами пробы зообентоса были отобраны с искусственных каменистых субстратов. В нижнем течении реки при замедлении скорости течения начинают преобладать песчаные заиленные с детритом и песчаные заиленные с гравием, а также илистые с детритом грунты.

По классификации речных донных биоценозов, в основе которой в числе главных факторов находятся течение и грунт (Неизвестнова-Жадина, 1937; Жадин, 1940, 1950), на р. Ивкина нами выделены различные сообщества донных беспозвоночных, количественные показатели которых приведены в таблице.

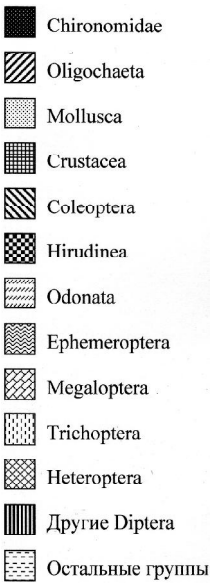
Как видно из представленной таблицы, максимальные показатели численности и биомассы зообентоса были зафиксированы на илистых с детритом грунтах, а минимальные – на песча-

Количественные показатели развития сообществ донных беспозвоночных р. Ивкина

Сообщества донных беспозвоночных	Число групп беспозвоночных	Средняя численность, экз./м^2	Средняя биомасса, мг/м^2
Население песчаных грунтов	14	6076.6	19266.5
Население песчаных заиленных грунтов	16	8265.9	24367.0
Население песчаных заиленных грунтов с детритом	11	11679.0	7721.4
Население песчаных заиленных грунтов с гравием	13	3480.8	2774.1
Население илистых грунтов с детритом	12	25410.0	62422.2
Население глинистых грунтов	13	8626.6	8721.8
Население глинистых грунтов с детритом	9	11951.0	7415.4
Население глинистых грунтов с песком	6	6200.0	31780.0
Население искусственных каменистых субстратов	13	18594.1	26479.3

ных заиленных с гравием грунтах. Наибольшее количество групп донных беспозвоночных было отмечено на песчаных заиленных грунтах, наименьшее – на глинистых с песком.

Структура населения песчаных и песчаных заиленных грунтов р. Ивкина отражена на рис. 1 и 2. По численности (рис. 1) структура населения на данных грунтах однотипна – доминируют личинки хирономид. Однако по биомассе (рис. 2) намечается отличие. Если на песчаных и песчаных заиленных грунтах по биомассе доминируют моллюски, то на песчаных заиленных грунтах с детритом доминирующая роль переходит к личинкам хирономид, субдоминантами выступают пиявки, моллюски, олигохеты, ручейники и вислокрылки. На песчаных заиленных с гравием грунтах по биомассе доминируют личинки хирономид и моллюски, а также поденки и пиявки.



На глинистых и глинистых с детритом грунтах по численности (рис. 3) также доминируют хирономиды, субдоминантами выступают двукрылые – на глинистых грунтах представители сем. Limoniidae и Ceratopogonidae, на глинистых с детритом – сем. Ceratopogonidae. На глинистых с песком грунтах по численности лидируют хирономиды и олигохеты. По биомассе (рис. 4) на глинистых грунтах доминируют моллюски и хирономиды, на глинистых с песком грунтах – личинки поденок, на глинистых с детритом – хирономиды и вислокрылки.

На илистых с детритом грунтах по численности превалируют личинки хирономид, по биомассе – хирономиды, поденки и моллюски (рис. 5).

На искусственных каменистых субстратах по численности лидируют личинки хирономид и двукрылые из сем. Limoniidae, по биомассе – пиявки, ручейники, клопы и двукрылые – представители сем. Limoniidae и Athericidae (рис. 6).

В составе зообентоса р. Ивкина установлены представители 28 различных систематических групп беспозвоночных: Hydrida, Oligochaeta, Hirudinea, Mollusca, Cladocera, Ostracoda, Copepoda, Aranei, Hydrachnidia, Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera, Heteroptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera, Limoniidae, Psychodidae, Simuliidae, Chironomidae, Ceratopogonidae, Empididae, Dolichopodidae, Tabanidae, Athericidae, Ephydridae, Sciomyzidae и другие неопределенные Diptera.

100%-ная встречаемость отмечена только для Chironomidae. К широко распространенным организмам (встречаемость более 70%) относились Oligochaeta, Mollusca, Hydrachnidia, Ephemeroptera, Coleoptera, Trichoptera, Ceratopogonidae. Наименьшее распространение (встречаемость менее 10%) имели Aranei, Empididae, Dolichopodidae, Athericidae, Ephydridae, Sciomyzidae и другие неопределенные Diptera.

Таким образом, впервые для малых рек Кировской области на примере р. Ивкина приведена характеристика сообществ донных беспозвоночных: выделено девять типов донных биоценозов. Среди них максимальные средние по-

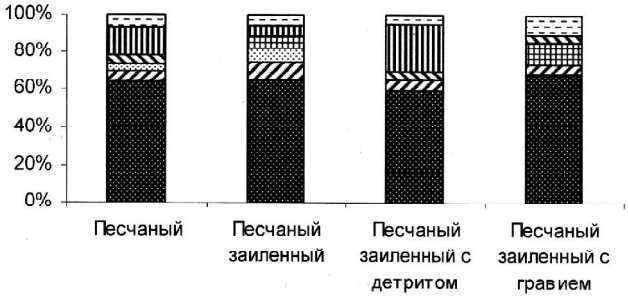


Рис. 1. Структура населения песчаных и песчаных заиленных грунтов р. Ивкина по численности.

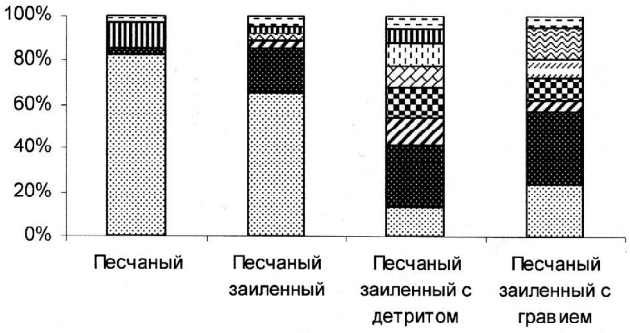


Рис. 2. Структура населения песчаных и песчаных заиленных грунтов р. Ивкина по биомассе.

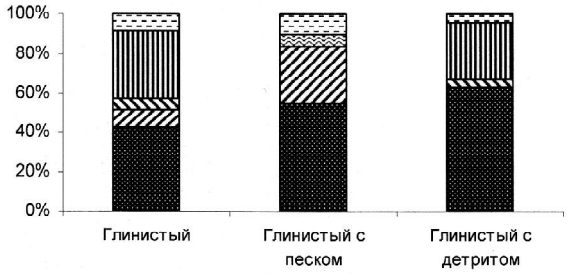


Рис. 3. Структура населения глинистых грунтов р. Ивкина по численности.

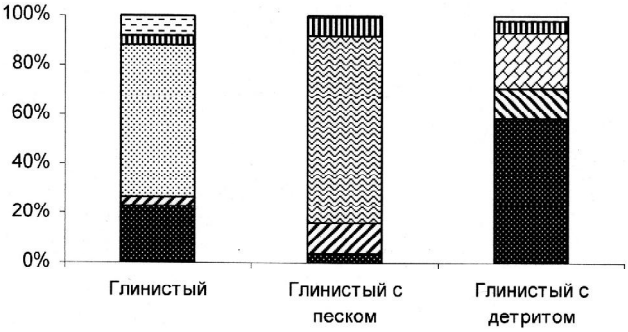


Рис. 4. Структура населения глинистых грунтов р. Ивкина по биомассе.

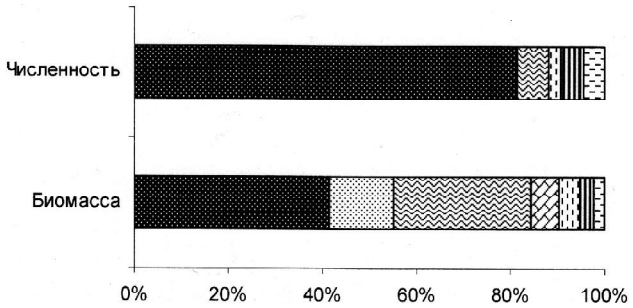


Рис. 5. Структура населения илистых с детритом грунтов р. Ивкина.

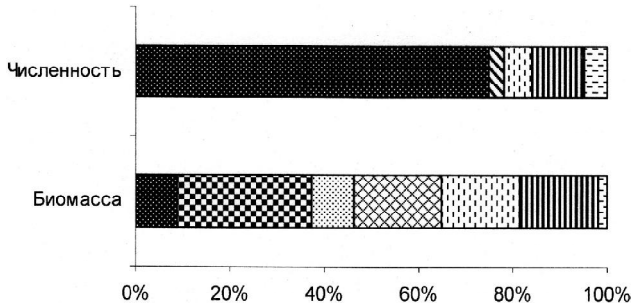


Рис. 6. Структура населения искусственных субстратов р. Ивкина.

казатели численности и биомассы отмечены на илистых с детритом грунтах. Минимальные средние значения численности и биомассы зафиксированы на песчаных заиленных грунтах с гравием. Наибольшее количество групп донных беспозвоночных найдено на песчаных заиленных грунтах, а наименьшее – на глинистых грунтах с песком. По биоиндикационным показателям олигохетного индекса Гуднайта и Уитлея и индекса Вудивисса воды реки оцениваются как чистые и очень чистые. По хирономидному индексу Балушкиной воды реки на большинстве станций характеризуются как умеренно загрязненные.

Литература

Жадин В.И. Фауна рек и водохранилищ. М.-Л., 1940. 991 с. (Тр. ЗИН АН СССР. Т. V. Вып. 3-4).

Жадин В.И. Общие вопросы, основные понятия и задачи гидробиологии пресных вод // Жизнь пресных вод. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. III. С. 7-112.

Каталог рек Кировской области. Киров, 1991. 34 с.

Кашина Л.Н., Кликашев А.Н., Русских А.В. Воды // Природа, хозяйство, экология Кировской области. Киров, 1996. С. 136-186.

Неизвестнова-Жадина Е.С. Распределение и сезонная динамика биоценозов речного русла и методы их изучения // Изв. АН СССР. Сер. Биол., 1937. С. 1246-1267.

Природа Кировской области. Ч. II. Физико-географические районы. Киров, 1967. 400 с.

АКТИВНОСТЬ ЭТОКСИРЕЗОРУФИН-*О*-ДЕЭТИЛАЗЫ В ПЕЧЕНИ ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA* L.) ИЗ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.В. Юрченко
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: viksapiksa@gmail.com

Биологический мониторинг является подсистемой мониторинга окружающей среды и несет среди прочих функцию наблюдения за реакцией биоты на действие загрязнителей. Органические загрязняющие вещества, такие как полигалогенированные и полиароматические углеводороды, вызывают индукцию ферментов биотрансформации, в частности, этоксирезоруфин-О-деэтилазы (ЭРОД). ЭРОД участвует в реакциях первой фазы биотрансформации, которые способствуют увеличению водорастворимости чужеродных молекул. Активность этого фермента в организме гидробионтов используется в качестве биохимического маркера воздействия органических загрязнителей (Морозов, Юрченко, 2011). Под активностью ЭРОД понимается скорость образования резоруфина в результате реакции деэтилирования этоксирезоруфина, приходящаяся на единицу белка.

Задачей данного исследования было определение активности ЭРОД в печени леща (*Abramis brama* L.) из Рыбинского водохранилища, которое многие годы подвергается воздействию промышленного комплекса г. Череповец.

Исследование проводили в конце сентября 2011 г. Отлов леща (n = 69) вели на стандартных станциях (рис. 1) донным тралом. После подъема трала рыб помещали в контейнер с забортной водой. Рыбу механически обездвиживали, измеряли ее длину и массу. Печень иссекали и замораживали в жидком азоте, освобождали брюшную полость и измеряли массу порки. Отбирали чешую для определения возраста, рассчитывали индекс упитанности по Кларк (Правдин, 1966).

ЭРОД-активность определяли флюориметрическим методом в постмитохондриальном супернатанте (Lorenzen, Kennedy, 1993; Whyte et al., 2000). Навеску печени гомогенизировали в фосфатном буфере (100 мМ Na_2HPO_4, 25 мМ KH_2PO_4; pH 7.4). Гомогенат центрифугировали с ускорением 10 тыс. g при 4 °С. Супернатант отбирали и хранили в жидком азоте до проведения аналитической процедуры. ЭРОД-активность измеряли в 96-луночных планшетах на флюоресцентном спектрометре (LS 55, Perkin Elmer). Реакционная смесь состояла из фосфатного буфера, 4.3 мМ β-НАДФН, 0.01 мМ 7-этоксирезоруфи-

на и супернатанта. Интенсивность флюоресценции резоруфина измеряли при длине волны возбуждения 555 нм и длине волны испускания 585 нм. Количество резоруфина вычисляли с помощью калибровочной кривой, построенной с использованием коммерческого аналога (Resorufin, MPBiomedicals). Анализ количества белка проводили в тех же планшетах: в имеющуюся смесь вносили фосфатный буфер (40 мМ Na_2HPO_4, 6 мМ NaH_2PO_4; pH 8.0) и 1.08 мкМ раствор флюорескамина. Количество белка определяли при длине волны возбуждения 400 нм и длине волны испускания 460 нм с использованием калибровочного графика для стандартного раствора белка. Каждую пробу анализировали в трех повторностях, далее работали со средними значениями.

Нормальность распределения полученных данных проверяли с помощью критерия Бартлетта. Распределение отличалось от нормального. Для выявления различий в значениях ЭРОД-активности на разных станциях использовали односторонний дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса. Сравнение распределений признака между станциями проводили с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Связь значений ЭРОД-активности и морфофизиологических показателей оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Статистический анализ выполнялся с уровнем доверительной вероятности 95%. Данные приводятся в виде: среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

Средние значения длины, массы, индекса упитанности и ЭРОД-активности в печени леща представлены в таблице. Длина и масса отобранных рыб не имели статистически достоверных различий между станциями. Половых и возрастных различий в значениях ЭРОД-активности и индекса упитанности не выявлено (тест Краскела-Уоллиса, $p > 0.05$). Корреляции ЭРОД-активности и индекса упитанности не обнаружено (коэффициент Спирмена, $p > 0.05$).

Индивидуальная ЭРОД-активность в печени леща варьировала в диапазоне 0.28-5.2 пмоль/мг/мин. Максимальное среднее значение (2.25 ± 0.44 пмоль/мг/мин) зафиксировано в Шекснинском плесе на ст. 3, ближайшей к г. Череповец (рис. 2). В направлении Главного плеса уровни ЭРОД-активности снижались, и на ст. 5 значение составило 1.29 ± 0.16 пмоль/мг/мин. Повышенный уровень ЭРОД-активности (1.82 ± 0.22 пмоль/мг/мин.) обнаружен также на ст. 1. Минимальная индукция ЭРОД (0.69 ± 0.14 пмоль/ мг/мин.) отмечена на ст. 7, находящейся в Волжском плесе Рыбинского водохранилища.

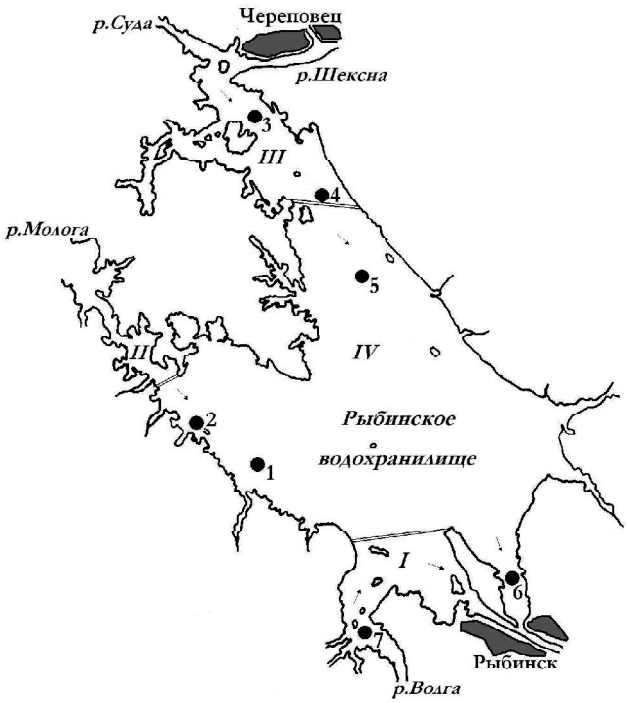


Рис. 1. Карта-схема Рыбинского водохранилища с местами отбора проб.

Условные обозначения: 1 – бывшее русло р. Молога напротив пос. Брейтово, 2 – бывшее русло р. Молога вблизи пристани Первомайка, 3 – бывшее русло р. Шексна в районе затопленного с. Любец, 4 – бывшее русло р. Шексна напротив с. Мякса, 5 – бывшее русло р. Шексна напротив дер. Ягорба, 6 – бывшее русло р. Шексна вблизи дер. Волково, 7 – бывшее русло р. Волга напротив бывшего с. Коприно; *I* – Волжский плес, *II* – Моложский плес, *III* – Шекснинский плес, *IV* – Главный плес; двойными линиями обозначены границы плесов, стрелками – направление течения.

В ходе исследования распределения стойких органических загрязнителей (СОЗ) в донных

Длина, масса порки, индекс упитанности и ЭРОД-активность леща из Рыбинского водохранилища

Станция	*n*	Длина, мм	Масса, г	Индекс упитанности	ЭРОД-активность, пМ/мг/мин.
1 – Брейтово	10	312 ± 9	613 ± 46	1.98 ± 0.02 b	1.82 ± 0.22 b
2 – Первомайка	10	285 ± 6	469 ± 26	2.01 ± 0.04 ab	1.32 ± 0.28 ab
3 – Любец	10	307 ± 5	562 ± 31	1.92 ± 0.03 ab	2.25 ± 0.44 b
4 – Мякса	10	293 ± 6	471 ± 35	1.85 ± 0.02 a	1.41 ± 0.23 b
5 – Ягорба	9	290 ± 6	479 ± 35	1.92 ± 0.03 ab	1.29 ± 0.16 b
6 – Волково	10	295 ± 7	512 ± 38	1.96 ± 0.04 b	1.08 ± 0.12 ab
7 – Коприно	10	310 ± 12	605 ± 68	1.96 ± 0.03 b	0.69 ± 0.14 a
*P**		0.12	0.06	0.02	0.001

Примечание: *n* – число особей в выборке. *P** – значения накопленной вероятности нулевой гипотезы теста Краскела-Уоллиса. Буквенные индексы обозначают принадлежность выборок к гомогенным группам.

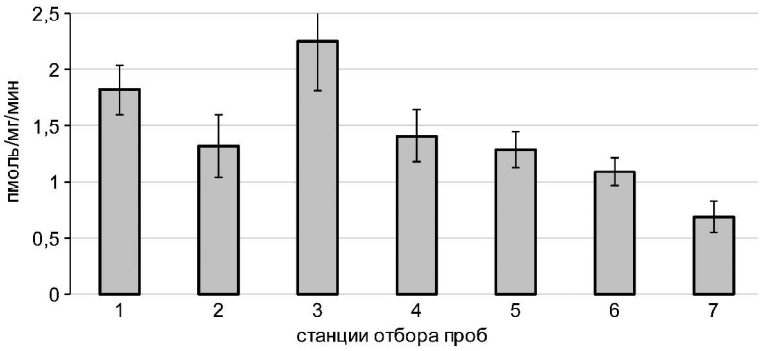


Рис. 2. ЭРОД-активность в печени леща (*Abramis brama* L.) из Рыбинского водохранилища.

отложениях и мышцах леща Рыбинского водохранилища (Пространственное..., 2010) выявлено, что наиболее загрязненным является участок Шекснинского плеса в районе г. Череповец. В целом концентрации СОЗ снижались вниз по течению и на ст. 4 падали примерно на порядок, до уровня, наблюдаемого на ст. 1 и 2. В мышцах леща повышенное содержание СОЗ отмечалось на более обширной площади и на ст. 4 оставалось достаточно высоким, сопоставимым с величинами, обнаруженными в непосредственной близости к г. Череповец. Такой характер распределения СОЗ объясняет имеющуюся индукцию ЭРОД в печени леща в Шекснинском плесе. Авторы не проводили исследование на ст. 5; наши данные показывают, что и в этой части водохранилища антропогенная нагрузка остается значительной. Из данных Чуйко и соавторов ясно, что содержание отдельных групп полихлорированных бифенилов на ст. 1 укладывается в диапазон величин на ст. 3 и 4, чем можно объяснить повышенный уровень ЭРОД-активности, зарегистрированной на ст. 1. Индукция ЭРОД может быть обусловлена воздействием и других загрязнителей, например, полиароматических углеводородов. К сожалению, современные данные по пространственному распределению и качественному составу этой группы загрязняющих веществ в Рыбинском водохранилище отсутствуют.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-04-01168-а. Автор благодарит сотрудников лаборатории экологии рыб ИБВВ РАН за помощь в сборе материала, а также научного руководителя д.б.н. Г.М. Чуйко за ценные замечания при обсуждении работы.

Литература

Морозов А.А., Юрченко В.В. Возможности использования биохимических маркеров для оценки влияния стойких органических загрязнителей на гидробионтов // Вода: химия и экология, 2011. № 11. С. 58-63.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. 420 с.

Пространственное распределение и качественный состав полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и леще (*Abramis brama* L.) Рыбинского водохранилища / *Г.М. Чуйко, В.В. Законнов, А.А. Морозов* и др. // Биология внутренних вод, 2010. № 2. С. 98-108.

Lorenzen A., Kennedy S.W. A fluorescence based protein assay for use with microplate reader // Analytical Biochemistry, 1993. № 214. P. 346-348.

Whyte J.J., Jung R.E., Schmitt C.J., Tillitt D.E. Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) Activity in Fish as a Biomarker of Chemical Exposure // Critical Reviews in Toxicology, 2000. Vol. 30. Is. 4. P. 347-570.

Секция 3
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА *DAPFNIA MAGNA*

Н.В. Вараксина, А.С. Олькова
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: natavv88@inbox.ru

Являясь одним из самых распространенных элементов в земной коре, алюминий содержится практически в любой природной воде и попадает туда как естественным путем при частичном растворении глин и алюмосиликатов, так и в результате вредных выбросов отдельных производств (электротехническая, авиационная, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, машиностроение, строительство, оптика, ракетная и атомная техника) с атмосферными осадками или сточными водами. Соли алюминия также широко используются в качестве коагулянтов в процессах водоподготовки для коммунальных нужд. Содержание алюминия в поверхностных водах сильно зависит от степени кислотности почв.

В последнее время вызывает тревогу постоянно возрастающий уровень содержания алюминия в окружающей среде, в том числе в питьевых водах (Lopez, 2002; Сынзыныс, 2004).

Цель нашей работы – изучение влияния ионов алюминия на тест-объект *Daphnia magna*.

Для г. Киров загрязнение централизованной питьевой воды и природной поверхностной воды алюминием является актуальной проблемой, так как на станции водоподготовки используется технология, где в качестве коагулянта применяется сернокислый алюминий. В целом технологию можно представить следующим образом.

На первом этапе водоподготовки происходит забор воды из реки с помощью насосов, далее вода подается в смесители, где происходит перемешивание воды с коагулянтом, флокулянтом (для очистки и осветления) и хлором (для обеззараживания). Вода, обработанная реагентами, из смесителя подается в камеры хлопьеобразования, а затем в горизонтальные отстойники. Образовавшийся на данном этапе осадок, состоящий из дисперсных частиц и хлопьев гидроксида алюминия, собирается и сбрасывается в реку. Осветленная таким образом вода подается на скорые фильтры. Фильтрование – последний этап очистки воды.

Фильтр представляет собой резервуар, на дне которого расположена дренажная система. Над дренажем находится поддерживающий слой и поверх него фильтрующий слой. Очищаемая вода подается в фильтр, фильтруется через песок, собирается дренажной системой, поступает в сборный карман, откуда по трубопроводу поднимается в резервуары чистой воды. Из данных резервуаров вода насосами подается в город для нужд населения.

Долгое время алюминий не считался токсичным элементом, пока в 1980-е гг. не было выявлено, что он не опасен в природных водах лишь при высоких значениях водородного показателя (pH > 6), тогда как при закислении водных экосистем (pH ≤ 4) алюминий становится высокотоксичным и вызывает массовую гибель молоди рыб (Никаноров, Трунов, 1999). Это можно объяснить тем, что при закислении водоема нерастворимые формы алюминия переходят в растворимые, что способствует резкому повышению его концентрации в воде, а следовательно – и увеличению токсичности.

Токсичность алюминия проявляется во влиянии на обмен веществ, в особенности минеральный, на функцию нервной системы, в способности действовать непосредственно на клетки – их размножение и рост. Избыток солей алюминия снижает задержку кальция в организме, уменьшает адсорбцию фосфора, одновременно в 10-20 раз увеличивается содержание алюминия в костях, печени, семенниках, мозге и в паращитовидной железе (Чернова, Курочкина, 2011).

Норматив содержания алюминия в воде хозяйственно-питьевого использования составляет 0,2 мг/л (Г.Н. 2.1.5.1315-03 ПДК). При этом норматив может быть увеличен до 0.5 мг/л главным государственным санитарным врачом по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения.

При исследовании влияния токсичности ионов алюминия на гидробионты нами в каче-

стве тест-объекта были выбраны низшие ракообразные *Daphnia magna*, так как они являются важным трофическим звеном водных экосистем, обладают высокой чувствительностью к токсикантам, легко культивируются и имеют высокую скорость воспроизводства.

В качестве исследуемого вещества был выбран сернокислый алюминий ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) в концентрациях 3.0, 5.0, 7.0 мг/л в расчете на ион алюминия. Приготовление исследуемых растворов производилось на питьевой воде централизованной системы водоснабжения (артезианская скважина). При исследовании данной воды в ее составе не было обнаружено содержания ионов алюминия (в диапазоне измерения от 0.04 мг/л) (ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000).

Исследование проводилось согласно аттестованной методике определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний (Ф.Р.1.39.2007.03222).

Было проведено две серии опытов для определения острой и хронической токсичности. Продолжительность острых опытов составляла 4 сут., хронических – 24 дня. Опыты проводились в трех повторностях. В каждый стакан помещали по 10 одновозрастных (суточных) рачков. Кормление дафний производилось каждый день. В качестве корма в остром опыте использовали культуру зеленой водоросли *Scenedesmus*, в хроническом эксперименте дополнительно два раза в неделю кормили дрожжами. Контролем служила питьевая вода без добавления сернокислого алюминия.

В хроническом опыте замену исследуемых растворов производили через каждые пять дней в соответствии с требованиями методики. При каждом обновлении опыта готовились свежие растворы, в которых измерялись такие показатели, как pH, количество растворенного кислорода.

В исследуемых растворах показатели pH варьировали от 7.2 при концентрации алюминия 7.0 мг/л до 8.0 – при концентрации 3.0 мг/л, что укладывается в диапазон допустимых значений для тест-объекта *Daphnia magna*. Содержание растворенного кислорода во всех опытах оставалось в пределах нормы.

Установлено, что исследуемые растворы не обладали острой токсичностью. Отсутствие токсического эффекта при наиболее высокой дозе алюминия (7.0 мг/л) можно объяснить постепенным гидролизом сульфата алюминия, и выпадением в осадок его малорастворимых гидроксокомплексов.

Выявлены морфо-физиологические отличия рачков в опытных вариантах по сравнению с контролем: задержка роста и созревания особей, бледная окраска покровов, снижение двигательной активности, снижение пищевой активности. Например, размер особей в загрязненных пробах был в два раза меньше по сравнению с особями, содержащимися в чистой среде. Кормление дафний во всех вариантах было одинаковым, но выедание кормовых водорослей в контроле было максимальным, а в исследуемых пробах наблюдался водорослевый осадок, что говорит о снижении пищевой активности рачков. Также в контроле дафнии начали размножаться уже на 14-й день эксперимента, тогда как в исследуемых растворах – на 18-19-й.

При определении хронической токсичности получены следующие результаты. Средняя плодовитость в контрольном варианте – 9.2 особей на одну самку. Показатели плодовитости в опытных вариантах – 3.9, 1.1, 0.37 особей на самку в растворах с концентрацией 3.0, 5.0 и 7.0 мг/л соответственно. По результатам исследования для данных растворов нами установлено хроническое токсическое действие по показателю достоверного снижения плодовитости дафний.

Таким образом, в процессе эксперимента было выявлено, что алюминий в исследуемых концентрациях (3.0, 5.0 и 7.0 мг/л) не оказывает острого токсического действия на тест-объект *Daphnia magna*. При этом выявляются визуальные отличия в развитии особей в анализируемых растворах по сравнению с особями в контроле. Хронический опыт показал, что алюминий в концентрации 3.0 мг/л обладает токсическим эффектом. Следовательно, поступление ионов алюминия в водные объекты может оказывать негативное влияние на гидробионты.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-3326.2012.5.

Литература

Г.Н. 2.1.5.1315-03 ПДК. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. (Ф.Р.1.39.2007.03222). М.: Акварос, 2007. 52 с.

Методика выполнения измерений массовой концентрации алюминия в пробах природных, очищенных сточных и питьевых вод фотометрическим методом с алюминоном. ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000.

Никаноров А.М., Трунов Н.М. Внутриводоемные процессы и контроль качества природных вод / Под ред. А.И. Бедрицкого. СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. 150 с.

Сынзыныс Б.И., Шарецкий А.Н., Харламова О.В. Иммунотоксичность хлористого алюминия // Гигиена и санитария, 2004. № 4. С. 70-72.

Чернова С.П., Курочкина М.В. Создание образцов для контроля качества питьевой воды // Вестник удмуртского университета. Физика. Химия, 2011. Вып. 2. С. 87-90.

Lopez F.F., Cabrera C., Lorenzo M.L. Aluminum content of drinking waters, fruit juices and soft drinks: Contribution to dietary intake // Health Stream, 2002. № 28. P. 11.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Р.С. Василевич
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: vasilevich.r.s@ib.komisc.ru

Специфические биоклиматические условия тундрового почвообразования определяют молекулярный состав гумусовых веществ (ГВ). К настоящему времени имеются работы с использованием современных физико-химических методов при исследовании структуры и трансформации ГВ в условиях таежного почвообразования (Орлов, 1990; Перминова, 2000; Чуков, 2001; Лодыгин и др., 2007), однако подобные исследования для почв тундровых ландшафтов единичны. Наличие широкого спектра функциональных групп и молекулярных фрагментов обеспечивают способность ГВ вступать в обменные и донорно-акцепторные взаимодействия, образовывать водородные связи. Гуминовые кислоты (ГК) активно участвуют в сорбционных процессах с тяжелыми металлами и во многом определяют санитарно-экологическое состояние почв.

Цель работы – определение структурно-функциональных параметров препаратов ГВ тундровых криогидроморфных (торфяно- и торфянисто-глеевых) и тундровых поверхностно-глеевых почв и их освоенных аналогов. Изучение влияния молекулярной структуры ГК на взаимодействие с ионами Hg^{2+}, определение механизмов реакций.

На основании анализа элементного состава препаратов показано, что образцы ГК характеризуются большей обуглероженностью и меньшей долей кислорода по сравнению с фульвокислотами (ФК). Результаты исследований показали, что степень конденсированности ГК и ФК исследуемых почв определяется биоклиматическими условиями и растительностью. Уменьшение атомного соотношения Н/С для ГК и ФК органогенных горизонтов представлен следующим рядом: поверхностно-глеевая освоенная; торфянисто- и торфяно-глеевые и поверхностно-глеевая почвы. Снижение атомного соотношения Н/С указывает на увеличение доли ароматических фрагментов и на большую гумифицированность препаратов ГВ (табл. 1).

Необходимо отметить, что при увеличении роста выхода ГК (в пять раз) из органических горизонтов в освоенных почвах по сравнению с

Таблица 1

Элементный состав гумусовых кислот почв

Горизонт / глубина, см	Содержание элемента, %				Атомное соотношение элементов		
	C	N	H	O	H/C	O/C	C/N
			Тундровая торфянисто-глеевая почва				
O / 0-9	55.1±1.8	4.09±0.27	5.5±0.5	35±12	1.21	0.48	15.69
	39.6±1.3	1.14±0.20	4.4±0.4	54±11	1.29	0.99	40.8
			Тундровая торфяно-глеевая почва				
O_1 / 0-10	52.7±1.7	4.16±0.28	5.5±0.5	38±12	1.25	0.54	14.77
	33.7±1.1	1.90±0.13	4.5±0.4	60±12	1.52	1.33	20.69
O_2 / 10-20	54.2±1.7	3.72±0.25	5.4±0.5	37±12	1.19	0.51	16.99
	48.2±1.5	1.90 ±0.13	4.7±0.4	43±14	1.17	0.70	26.78
G / 30-40	50.9±1.6	4.5±0.3	4.7±0.4	38±12	1.11	0.59	13.17
	36.6±1.2	1.7±0.3	5.2±0.5	54±16	1.70	1.16	25.12
			Тундровая поверхностно-глеевая				
A_0 / 0-5	54.4±1.7	4.33±0.29	5.1±0.5	36±12	1.12	0.50	14.66
	43.8±1.4	2.1±0.4	4.7±0.4	48±15	1.29	0.85	24.33
A_0A_h / 5-10	59.5±1.9	5.5±0.4	5.9±0.6	27±10	1.18	0.37	12.61
G / 10-28	60.3±1.9	5.5±0.4	5.9±0.6	26±10	1.17	0.35	12.78
	33.4±1.1	2.1±0.4	4.6±0.4	58±17	1.65	1.35	18.56
			Тундровая поверхностно-глеевая освоенная				
$A_{дер}$ / 0-5	52.6±1.7	5.8±0.4	5.6±0.5	36±12	1.28	0.51	10.57
	40.2±1.3	2.7±0.5	5.4±0.5	50±16	1.61	0.96	17.37
A_1B_g / 5-10	55.4±1.8	5.8±0.4	5.6±0.5	31±11	1.20	0.45	11.20
	34.0±1.1	1.68±0.29	4.0±0.4	59±16	1.41	1.33	23.61
B_g / 11-21	59.3±1.9	5.6±0.4	5.9±0.6	29±10	1.19	0.37	12.33
	28.6±0.9	2.1±0.4	4.1±0.4	64±17	1.72	1.71	15.89

Примечание. Здесь и в табл. 2 в числителе – данные препаратов гуминовых кислот, в знаменателе – для фульвокислот.

целинными аналогами, доля фульвокислот в составе гумусовых кислот снижается на 33%. Окультуривание почв повышает биологическую активность, способствует увеличению массовой доли ГК в составе ГВ, но снижает вероятность укрупнения молекул и способствует развитию периферических структур. В то же время ФК в освоенных почвах являются наиболее доступными для микроорганизмов, в результате их доля в составе гумуса снижается, а сами ФК становятся наиболее «молодыми» и наименее обуглероженными.

Особенность тундрового почвообразования освоенных почв и повышение их биологической активности обусловливает наименьшее атомное отношение C/N и большее содержание азота в составе препаратов ГК и ФК.

Различные функциональные группы гуминовых кислот определяют многообразие взаимодействий с органическими, минеральными компонентами и кинетику внутрипочвенных процессов. Сравнительный анализ молекулярной структуры препаратов гуминовых и фульвокислот показал, что ФК почв обогащены кислородсодержащими фрагментами и незначительным количеством ароматических и парафиновых структур, что обеспечивает их лучшую растворимость и миграционную способность по профилю почв (табл. 2).

Большое количество углеводных фрагментов делает молекулы ФК более предпочтительным объектом питания почвенных микроорганизмов по сравнению с ГК, которые более чем наполовину состоят из алифатических цепочек и ароматических фрагментов, определяющих их биотермодинамическую устойчивость. Доля углеводных, спиртовых и эфирных групп ГК тундровой поверхностно-глеевой почвы наименьшая, для ФК характерна обратная зависимость.

Сопоставление данных относительного содержания доли карбоксильных (химический сдвиг 164-183 ppm), О-алкильных (60-105 ppm) и фенольных групп (144-164 ppm) дает прогноз комплексообразующих свойств гуминовых кислот. По данным ^{13}C-ЯМР-спектроскопии, массовая доля карбоксильных групп препаратов ГК практически одинакова. Однако незначительные различия количества карбоксильных групп определяют величину комплексообразующей способности ГК по отношению к ионам ртути (II), что связано с пространственной неоднородностью активности сорбционных центров. Результаты исследований показали, что гуминовые кислоты тундровых почв с Hg(II) образуют прочные координационные соединения в широком диапазоне pH и выполняют протекторную функцию. Эффективность ГК как геохимического барьера зависит от количества кислородсодержащих функциональных групп в составе молекул гуминовых кислот. В модельных экспериментах выявлены механизмы взаимодействия ионов ртути и ГК. В области микроконцентраций связывание поллютанта осуществляется преимущественно за счет комплексообразования с участием наиболее сильных ртутьсвязывающих центров – карбоксильных групп. По мере увеличения исходных концентраций Hg^{2+} в процесс комплексообразования включаются ртутьсвязывающие центры меньшей силы – фенольные и спиртовые группы.

Гель-хроматограммы ГК криоповерхностно-глеевых и криогидроморфных почв по характеру молекулярно-массового распределения (ММР) показали разделение их на высоко-, средне- и низкомолекулярные фракции (табл. 3). Доля высокомолекулярной ГК (≥600 кДа) составляет 1.2-3.0% от общей массы ГК. Массовая доля низкомолекулярных фрагментов в почвах доминирует (63.6-80.8%) и превышает содержание среднемолекулярных фракций (18.1-33.4%). Это особенно четко проявляется в освоенных поверхностно-глеевых почвах в сравнении с целинными аналогами. Относительно высокое содержание низкомолекулярной фракции ГК в освоенных почвах (80.0%) может быть обусловлено трансформацией органического вещества с умень-

Таблица 2

Содержание функциональных групп и молекулярных фрагментов ГК и ФК по данным ^{13}C-ЯМР, %

Горизонт / глубина, см	Химический сдвиг, ppm								AR/AL	Ароматичность, %
	0-47	47-60	60-105	105-144	144-164	164-183	183-190	190-204		
Тундровая торфянисто-глеевая почва										
O / 0-9	24.32	10.23	24.52	20.68	7.34	11.91	0.24	0.76	0.398	28.48
	13.12	8.00	48.99	13.55	3.79	11.90	0.06	0.59	0.212	17.51
Тундровая торфяно-глеевая почва										
O_1 / 0-10	28.27	10.50	26.86	16.21	6.07	11.85	0.00	0.25	0.288	22.34
	18.10	8.25	42.03	11.19	2.07	16.90	0.67	0.79	0.163	14.04
Тундровая поверхностно-глеевая										
A_0 / 0-5	28.85	10.52	26.49	15.86	5.67	12.53	0.01	0.07	0.275	21.56
	18.47	7.04	34.16	16.95	5.75	15.68	0.34	1.60	0.306	23.42
Тундровая поверхностно-глеевая освоенная										
$A_{дер}$ / 0-5	35.52	10.93	22.10	13.05	5.18	12.82	0.15	0.26	0.226	18.43
	8.78	5.62	71.83	4.10	0.00	9.67	0.00	0.00	0.043	4.10

Таблица 3

Средние молекулярные массы ГВ и их массовые доли, %

Горизонт / глубина, см	Гуминовые кислоты, фракция						Фульвокислоты ММ, kDa
	Высокомолекулярная		Среднемолекулярная		Низкомолекулярная		
	ММ, kDa	доля, %	ММ, kDa	доля, %	ММ, kDa	доля, %	
Тундровая поверхностно-глеевая освоенная							
$A_{дер}$ / (0-4)	≥ 600	1.2±0.4	67±7	18.1±0.6	2.55±0.08	80.8±1.0	1.70±0.12
Тундровая поверхностно-глеевая							
A_0 / (0-5)	≥ 600	2.2±0.3	77.3±1.7	29.6±0.7	5.01±0.18	68.2±0.8	3.0±0.3
Торфянисто-тундровая глеевая							
O / (0-9)	≥ 600	2.2±0.3	65±19	29±8	3.86±0.14	68±8	1.45±0.03
Торфяно-тундровая глеевая							
O_1 / (0-10)	≥ 600	3.0±0.8	83±5	33.4±0.3	5.27±0.12	63.6±0.9	2.72±0.06

шением доли ароматических структур, являющимися строительным каркасом молекулы ГК.

Результаты ММР для препаратов ФК криоповерхностно-глеевых и кригидроморфных почв показывают, что для них характерно содержание только одной низкомолекулярной фракции с молекулярной массой (ММ) от 1.5 до 3.0 kDa. В ряду поверхностно-глеевых почв установлено, что ММ ФК в освоенных почвах почти в два раза меньше, чем в целинных поверхностно-глеевых почвах.

Таким образом, идентифицированы следующие функциональные группы и молекулярные фрагменты ГВ тундровых почв: карбоксильные (–COOH); карбонильные (–C=O); алифатические (CH_3–, CH_2–, CH–); фенольные (Ar-OH); хинонные (Ar = O); ароматические (Ar–); структуры спиртов, эфиров и углеводов (–C-OR). Анализ молекулярной структуры препаратов ГВ показал, что молекулы гуминовых кислот обогащены ароматическими фрагментами относительно фульвокислот, в углеродном скелете которых преобладают алифатические цепочки и структуры типа углеводов, аминокислот. Установлены механизмы комплексообразования ионов ртути (II) с препаратами гуминовых кислот. Сравнительный анализ структурного состава гуминовых кислот в зональном ряду почв таежной и тундровой зон показал, что исследованные препараты ГК почв Большеземельской тундры менее обогащены ароматическими структурами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-04-00086, программ Президиума РАН – № 12-II- 4- 1003 и УрО РАН – № 12-У-4-1003.

Литература

Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв. СПб.: Наука, 2007. 145 с.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990. 325 с.

Перминова И.В. Анализ классификации и прогноз свойств гумусовых кислот: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2000. 50 с.

Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб., 2001. 216 с.

БАКТЕРИАЛЬНО-ГРИБНОЙ КОМПЛЕКС ТУНДРОВЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ

Ю.А. Виноградова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: vinogradova@ib.komisc.ru

Формирование почв в тундровой зоне протекает в суровых климатических условиях, что накладывает соответствующий отпечаток на жизнедеятельность бактериально-грибного комплекса, функционирование которого определяет скорость протекания процессов минерализации растительных остатков и формирования гумусовых веществ. Наличие вечной мерзлоты, низкие температуры, застой влаги в сезонно-талом слое в течение вегетационного периода, незначительный объем ежегодно поступающего на поверхность почвы растительного опада обусловливают низкую скорость биологических и биохимических процессов в тундровых почвах. При изучении почв Большеземельской тундры всегда определенное внимание обращалось на микробные сообщества (Рыбалкина, 1952; Чайка, 1972; Стенина, 1974), однако эти исследования были в основном направлены на изучение состава микроорганизмов зональных почв – тундровых поверхностно-глеевых, тундровых торфянисто- и торфяно-глеевых почв, занимающих основные площади водораздельных пространств.

В то же время в пределах тундровых ландшафтов европейского Северо-Востока встречаются почвы, которые, несмотря на общность климатических особенностей экосистем Большеземельской тундры (низкие температуры воздуха и почв, близкое залегание вечной мерзлоты и связанное с этим малое испарение влаги), существенно отличаются по условиям формирования и своим физико-химическим свойствам от зональных тундровых почв. К ним в первую очередь относятся почвы, формирующиеся на карбонатных почвообразующих породах.

Тундровые перегнойно-карбонатные почвы имеют незначительные по площади ареалы, приуроченные в основном к местам распространения конечной карбонатной морены. В связи с недостаточной изученностью, небольшой площадью распространения их предложено включить в Красную книгу почв Республики Коми и отнести к категории редких, требующих охраны почв.

Цель данной работы – выявление закономерностей формирования микробных комплексов в нетипичных для тундровой зоны почвах, формирующихся на карбонатных почвообразующих породах. Исследования проводили в августе 2011 г. на территории Воркутинского района. Для сравнительного анализа были использованы тундровые торфянисто-глеевые мерзлотные почвы.

Полевые и лабораторные исследования проводили с использованием общепринятых в почвоведении и почвенной биологии методов (Методы..., 1991).

Тундровая торфянисто-глеевая почва сформирована в кустарничковой лишайниково-моховой тундре на суглинистых почвообразующих породах. Ее профиль имеет типичное строение, в котором хорошо выражен оторфованный органогенный горизонт мощностью 12-15 см, под которым залегает тиксотропный оглеенный минеральный горизонт. По своим физико-химическим свойствам соответствует целинным тундровым торфянисто-глеевым почвам.

Тундровые перегнойно-карбонатные почвы развиты на конечно-моренной карбонатной гряде, где распространены пятнистые и трещинно-пятнистые кустарничковые тундры. Почвенный покров комплексный включает:

– тундровые перегнойно-глеевые карбонатные почвы основной поверхности;

– карбонатные почвы пятен;

– почвы тундровых трещин.

По своим физико-химическим свойствам рассмотренные почвы существенно отличаются от тундровых торфянисто-глеевых нейтральной и щелочной реакцией среды (pH = 6.8-8.1), высоким содержанием обменных оснований.

Таксономический анализ микроскопических грибов в тундровых почвах показал, что почвенные микоценозы представлены небольшим видовым разнообразием. В тундровых торфянисто-глеевых почвах было выделено всего 10 видов микромицетов, в тундровых перегнойно-карбонатных почвах – девять. При этом в торфянисто-глеевой преобладают грибы р. *Penicillium*, в карбонатной наряду с этим родом появляются виды родов *Paecelomyces, Acremonium, Aurobasidium, Geomyces*.

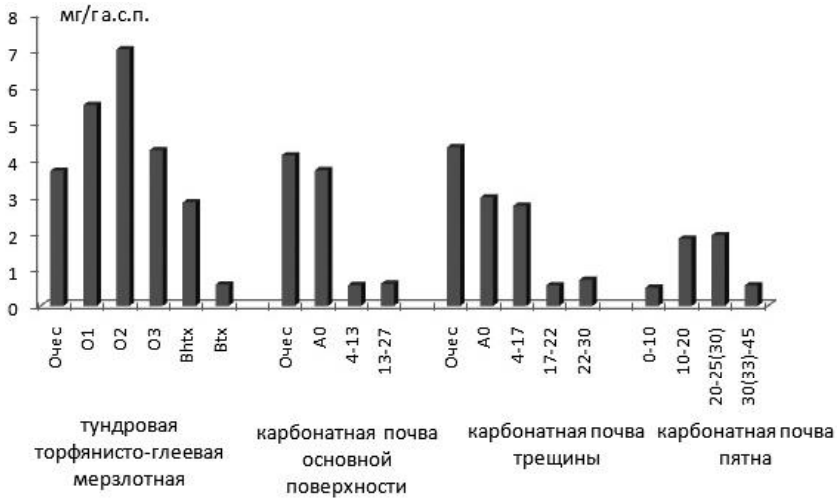
Микроскопические грибы в основном заселяют органогенные горизонты. Причем наибольшим количеством микромицетов отличается тундровая торфянисто-глеевая почва. К уровню ее численности приближаются только слой живых мхов и оторфованный горизонт трещины в карбонатной почве.

Суммарная биомасса микроорганизмов меньше в карбонатной почве по сравнению с тундровой торфянисто-глеевой за счет меньшего количества спор грибов (см. рисунок). При этом почва пятна характеризуется резким уменьшением биомассы всех групп микроорганизмов – бактерий, мицелия и спор грибов.

В тундровой тофянисто-глеевой мерзлотной почве максимальная концентрация микробной биомассы приходится на среднюю часть оторфованного органогенного горизонта О2 (7.03 мг/г). В тундровой карбонатной почве данная величина приходится на слой живых мхов основной поверхности (4.12 мг/г) и почвы тундровых трещин (4.34). В пятне она максимальна на глубине 10-30 см, где погребены растительные остатки за счет проявления процессов солифлюкции.

В тундровой торфянисто-глеевой почве в структуре биомассы минеральных горизонтов основную роль играют споры грибов, в органогенном горизонте – грибной мицелий.

На долю прокариот приходится от 27 до 3-6% в слое живых мхов и подгоризонтах ферментации и гумификации (О1, О2).



Биомасса микроорганизмов в тундровых мерзлотных почвах.

В тундровой перегнойно-карбонатной почве в структуре биомассы микроорганизмов основную роль играет грибной мицелий, однако в отличие от тундровой торфянисто-глеевой почвы распространяется и в минеральных горизонтах (пятно, трещина).

В торфянисто-глеевой почве бактерии в основном приурочены к верхней части органогенного горизонта (слой живых мхов, подгоризонты О1 и О2), мицелий грибов и их споры к подгоризонту О2, где идут основные процессы разложения растительной мортмассы.

В карбонатных почвах максимум бактерий и грибов также приходится на верхние горизонты, но в почве трещины и пятна смещаются в минеральные горизонты.

Количество спор грибов максимально в карбонатных почвах пятна на глубине 20-30 см, где располагаются погребенные растительные остатки.

Наряду с микробной биомассой нами были проведены исследования по соотношению и активности эколого-трофических групп микроорганизмов в тундровых почвах. Как показали проведенные исследования, тундровые торфянисто-глеевые почвы характеризуются более низкими значениями численности ЭКТГМ по сравнению с карбонатными почвами. При этом основными слоями жизнедеятельности микроорганизмов являются подгоризонты подстилки (О2, О3). В тундровых карбонатных почвах активность данных групп приходится на слой живых мхов.

Снижение кислотности среды в тундровых перегнойно-карбонатных почвах до нейтральной и щелочной (pH = 6.8-8.0) приводит к появлению и активизации актиномицетов, которые наряду с микромицетами участвуют в разложении труднодоступных компонентов (целлюлоза, хитин, лигнин).

Таким образом, в условиях тундровой зоны карбонатность почвообразующих пород оказывает существенное влияние на специфику профильного распределения, соотношение прокариотных и эукариотных организмов и таксономический состав микроскопических грибов.

Литература

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

Рыбалкина А.В. К сравнительной характеристике некоторых микробиологических процессов в северных почвах Европейской части СССР // Труды Коми филиала Академии наук. Сыктывкар, 1952. С. 170-196.

Стенина Т.А. Биологическая активность некоторых почв Коми АССР // Материалы по почвам Коми АССР (Почвы равнинных и горных территорий Коми АССР и их плодородие). Сыктывкар, 1974. С. 35-42.

Чайка В.Е. Некоторые особенности микрофлоры тундровых почв // Материалы по почвам Коми АССР. Сыктывкар, 1972. С. 47-52.

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПОЧВАХ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Д.Н. Габов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: gabov@ib.komisc.ru

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) обладают канцерогенными, мутагенными и токсическими свойствами и внесены в список приоритетных загрязнителей Агентством по охране окружающей среды США. ПАУ образуются в природных экосистемах, включая почвы, в результате биохимической трансформации органического вещества и антропогенных источников как сопутствующий продукт неполного сгорания органических материалов. Путями рассеяния ПАУ, содержащихся в почве, могут быть испарение, необратимая сорбция, выщелачивание, накопление растениями и биодеградация. В последние десятилетия сильно возросло антропогенное воздействие на природные ландшафты тундровой зоны. Замедленный биологический круговорот, невысокая биологическая продуктивность, низкие температуры и другие неблагоприятные природные факторы определяют слабую способность экосистемы тундр к самоочищению. Определение содержания ПАУ в тундровых почвах европейского Северо-Востока, процессов их накопления и перераспределения по профилю может дать важную информацию об экологическом состоянии территории.

Цель работы – изучение качественного и количественного составов полициклических ароматических углеводородов в тундровых почвах европейского Северо-Востока России, выявление закономерностей накопления и миграции полиаренов в профилях изучаемых почв.

Исследования проведены в Большеземельской тундре Воркутинского р-на Республики Коми с распространением массивно-островной многолетней мерзлоты. Территория представляет полого-увалистую равнину, покрытую чехлом покровных пылеватых суглинков мощностью менее 10 м. Объекты исследований – фоновые почвы: тундровые поверхностно-глеевые, тундровые поверхностно-глеевые освоенные (южная кустарниковая тундра); торфянисто-тундровые глеевые, торфяно-тундровые глеевые (типичная мохово-лишайниковая тундра), а также тунд-

ровые поверхностно-глеевые антропогенные около шахт «Юнь-Яга» и «Воркутинская». В основу определения ПАУ в почвах положены методики US EPA 8310, ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.39-03, а также работа (Габов и др., 2008). Качественное и количественное определение содержания ПАУ в почвах осуществляли методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в градиентном режиме и спектрофлюориметрическом детектировании на хроматографе «Люмахром» («Люмэкс», Россия).

Общее содержание суммы (ΣПАУ) в горизонтах исследуемых почв широко варьирует в пределах от 2.3±0.7 до 380±90 нг/г (см. таблицу). Распределение ПАУ в профилях почв тундры имеет аккумулятивный характер – наибольшие содержания ПАУ зафиксированы в верхних органогенных горизонтах, которые служат биогеохимическими барьерами на пути миграции ПАУ в пределах профиля. В органогенных горизонтах происходит накопление ПАУ как в результате биогеохимической трансформации исходного биогенного материала или в процессе синтеза в организмах и биокосных системах (Biological..., 2000), так и при поступлении поллютантов из атмосферы (Characterization..., 2009; Gas/particle..., 2009). В составе органогенных горизонтов фоновых почв наибольшим количеством представлены нафталин (43±10, 65±16, 27±9 и 52±12 нг/г соответственно), фенантрен (24±8, 50±12, 18±6 и 45±11), пирен (12±4, 30±10, 8.9±2.8 и 20±7), флуорантен (14±4, 25±8, 10±3 и 17±5), хризен (6.7±2.1, 17±5, 5.8±1.8 и 15±5), бенз[b]флуорантен (4.6±1.5, 13±4, 5.2±1.7 и 6.7±2.1), бенз[ghi]перилен (4.5±1.4, 16±5, 3.6±1.1 и 8.0±2.6). Низкомолекулярные компоненты также являются преобладающими в поверхностных горизонтах почв других географических зон (Габов и др., 2008; Биоаккумуляция..., 2008).

Существуют количественные различия накопления ПАУ как в разных типах фоновых почв, что обусловлено различными биоклиматическими условиями территорий, так и в аэротехногенных почвах как результат интенсивного привноса поллютантов. В аэротехногенных почвах происходит увеличение массовой доли всех идентифицируемых ПАУ: сумма ПАУ около шахт «Юнь-Яга» и «Воркутинская» увеличивается по сравнению с фоновыми значениями в 2.1 и 4.4 раза соответственно, при этом основное техногенное воздействие на почвы обусловлено легкими полиаренами. Результаты по содержанию полиаренов в почвах могут использоваться для оценки воздействия их на почвы и почвенный покров в зонах загрязнения при проведении экологической экспертизы регионального уровня.

Результаты исследования показали различный относительный вклад 2-, 3-, 4-, 5-, 6-ядерных полиаренов в сумму ПАУ в исследуемых почвах (см. рисунок). Средние процентные соотношения ПАУ составляли 29% (2-ядерные), 24 (3-ядерные), 31 (4-ядерные), 9 (5-ядерные), 7% (6-ядерные). В тундровых почвах как фоновых, так и аэротехногенно-загрязненных территорий, доминируют 2-4-ядерные ПАУ, при этом доля 5,6-ядерных ПАУ, включая бенз[a]пирен, составляет всего 16-20%.

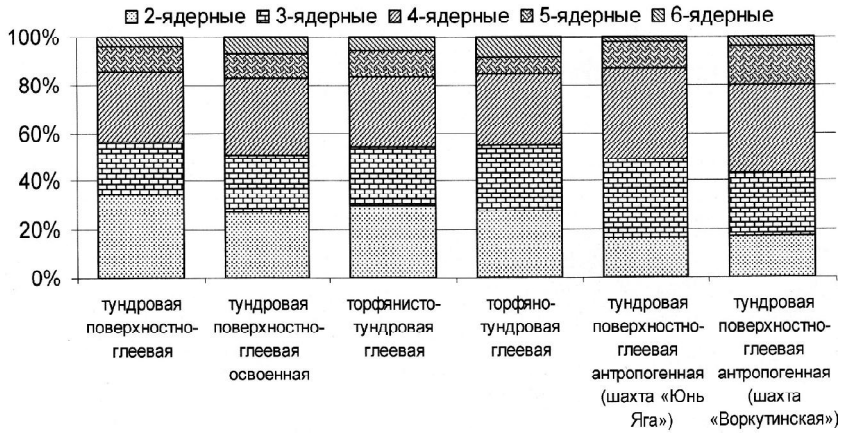
Низкомолекулярные ПАУ имеют тенденцию к миграции в нижележащие горизонты и более восприимчивы к абиотической и биологической

Массовая доля ПАУ (ω, нг/г) в органогенных горизонтах тундровых почв (n = 6, P = 0.95)

ПАУ	Южная кустарничковая тундра								Типичная мохово-лишайниковая тундра			
	Тундровая поверхностно-глеевая		Тундровая поверхностно-глеевая освоенная		Тундровая поверхностно-глеевая антропогенная (шахта «Юнь-Яга»)		Тундровая поверхностно-глеевая антропогенная (шахта «Воркутинская»)		Торфянисто-тундровая глеевая		Торфяно-тундровая глеевая	
	ω	S*	ω	S	ω	S	ω	S	ω	S	ω	S
Нафталин	43.2	8.1	65.0	19.5	44.4	6.1	94.9	30.0	26.6	11.6	52.1	15.9
Аценафтен	н/о	–	н/о	–	н/о	–	н/о	–	н/о	–	н/о	–
Флуорен	1.9	1.0	4.6	0.9	6.7	4.8	11.4	3.7	3.0	0.8	3.7	1.1
Фенантрен	24.4	5.0	50.1	8.8	73.4	36.3	121.1	21.9	18.3	11.7	45.1	12.0
Антрацен	0.7	0.3	0.9	0.4	3.4	1.7	6.7	4.0	1.0	0.7	1.0	0.5
Флуорантен	13.8	4.8	25.1	4.4	34.9	33.8	67.9	37.9	10.4	3.8	16.6	5.6
Пирен	11.7	3.2	30.1	7.2	39.7	25.5	69.8	25.7	8.9	3.5	20.5	5.6
Бенз[a]антрацен	3.4	1.1	6.2	1.4	5.2	2.8	19.2	6.0	2.3	0.5	3.8	1.5
Хризен	6.7	1.5	17.0	4.2	19.0	11.5	46.3	13.4	5.8	1.0	15.2	4.5
Бенз[b]флуорантен	4.6	1.4	12.7	2.7	15.6	7.0	45.7	15.6	5.2	1.4	6.7	3.3
Бенз[k]флуорантен	2.4	0.6	3.6	0.8	4.5	5.8	13.2	5.6	1.3	0.2	1.9	0.7
Бенз[a]пирен	3.9	1.4	9.1	2.0	8.5	8.3	25.0	6.1	3.7	1.3	4.7	1.4
Дибенз[a.h]антрацен	1.8	1.0	н/о	–	н/о	–	2.7	2.5	0.2	0.2	н/о	–
Бенз[ghi]перилен	4.5	2.4	15.9	7.8	4.2	6.2	17.6	5.7	3.6	2.1	8.0	4.5
Индено[1.2.3-cd]пирен	1.4	1.9	н/о	–	1.6	3.9	4.8	5.3	0.9	2.0	8.4	3.1
Сумма ПАУ	124.3	26.1	240.3	38.6	261.0	145.2	546.3	110.1	91.2	24.6	187.7	43.5

Примечание. * S – стандартное отклонение.

деградации, в то время как высокомолекулярные ПАУ относительно меньше удаляются из органогенных горизонтов и менее склонны к деградации. Высокомолекулярные ПАУ (бенз[b]-флуорантен, бенз[ghi]перилен, бенз[а]пирен, бенз[к]флуорантен) аккумулируются в органогенных горизонтах и в нижележащих горизонтах практически не обнаруживаются, а низкомолекулярные 2-4-ядерные ПАУ (нафталин, фенантрен, пирен, флуорантен, хризен) мигрируют вниз по профилю почв и в минеральных горизонтах являются наиболее преобладающими полиаренами.



Содержание различных структур ПАУ в тундровых почвах.

Интегральной величиной техногенного воздействия полиаренов нами использован суммарный показатель степени загрязнения почв ПАУ (Zc). В методических указаниях МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» предложены категории загрязнения почв от величины Zc: менее 16 – допустимая, 16-32 – умеренно-опасная, 32-128 – опасная, более 128 – чрезвычайно опасная. На основании полученных данных, почвы около шахты «Юнь-Яга» по загрязнению полиаренами относятся к умеренно-опасной зоне (Zc = 19.2), почвы около шахты «Воркутинская» – к опасной категории (Zc = 64.1).

Таким образом, в фоновых и аэротехногенно-загрязненных почвах Большеземельской тундры идентифицированы 14 приоритетных ПАУ. Изучена детальная вертикальная стратификация структурных компонентов полиаренов по профилю. Выявлены закономерности накопления полиаренов в исследованных почвах: основное их количество сосредоточено в органогенных горизонтах (биогеохимический барьер) с максимумом содержания в наиболее разложившейся нижней части органогенного горизонта, что связано с надмерзлотной ретинизацией гумуса. Пул полиаренов в почвах представлен главным образом легкими ПАУ – фенантреном, флуорантеном и пиреном, тяжелые ПАУ в органогенных горизонтах составляют не более 20% от общего содержания полиаренов в почве, в минеральной толще 5-6-ядерные структуры практически отсутствуют. Характерной особенностью состава ПАУ в почвенных профилях является преобладание во всех горизонтах низкомолекулярных 2-4-ядерных полиаренов. Низкая обогащенность ПАУ минеральной толщи может быть обусловлена наличием мерзлотного водоупора почв, а также органофильностью верхних горизонтов почв, что снижает интенсивность элюирования ПАУ из этого слоя. Угольные шахты оказывают заметное техногенное влияние на почвенный покров прилегающих территорий.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президиума УрО РАН № 12-У-4-1003 и РФФИ №11-04-00086-а.

Литература

Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенок Б.М., Яковлева Е.В. Закономерности формирования полициклических ароматических углеводородов в почвах северной и средней тайги // Почвоведение, 2008. № 11. С. 1334-1343.

Биоаккумуляция полициклических ароматических углеводородов в системе почва–растение / *Е.В. Яковлева, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок* и др. // Агрохимия, 2008. № 9. С. 66-74.

Gas/particle partitioning and global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons – A modelling approach / *G. Lammel, A. Sehili, T. Bond* et al. // Chemosphere, 2009. Vol. 76. P. 98-106.

Biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Amazonian rain forest. / *W. Wilcke, W. Amelung, Ch. Martius* et al. // J. Plant Nutr. Soil Sci., 2000. Vol. 163. P. 27-30.

Characterization of PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Atlanta. Seasonal variations at urban, suburban, and rural ambient air monitoring sites / *Z. Li, E.N. Porter, A. Sjodin* et al. // Atmospheric Environment, 2009. Vol. 43. P. 4187-4193.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ТРЕХ АВТОМОРФНЫХ ТИПАХ ЛЕСА ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А.А. Гончаров, Е.Ю. Храмова[1]
Институт проблем экологии и эволюции РАН им. А.Н. Северцова
E-mail: antonio.goncharoff@gmail.com
[1] Московский педагогический государственный университет

Деструкционные процессы в наземных экосистемах происходят преимущественно в почве. Большое видовое разнообразие и обилие почвенной макрофауны позволяет использовать ее для индикации различных характеристик наземных экосистем. Так, соотношение численности беспозвоночных сапрофагов, фитофагов и хищников позволяет характеризовать сукцессионный статус сообщества. Одним из наиболее перспективных приложений данных о структуре сообществ почвенной макрофауны может служить исследование связи почвенной макрофауны с сукцессионным статусом лесных экосистем. Согласно современным представлениям (Смирнова и др., 2006), бореальные леса европейской России представлены множеством сукцессивных экосистем, подавляющее большинство которых находятся в квазистационарном состоянии, являющемся результатом влияния аллогенных факторов (пожары, рубки, распашка). Эти воздействия привели к значительному сокращению альфа-разнообразия синузий напочвенного покрова и замедлению процессов почвообразования. В последние годы для исследования функциональной структуры почвенных сообществ широко применяется изотопный анализ, основанный на закономерных вариациях изотопного состава углерода и азота в тканях живых организмов (Тиунов, 2007). Интеграция данных об обилии и таксономическом составе населения почв с результатами изотопного анализа позволяет получить представление как о структурной, так и о функциональной организации сообщества почвенных беспозвоночных.

Цель работы – изучение структурно-функциональной организации населения почвенных беспозвоночных в трех автоморфных типах леса, представляющих собой разные варианты квазистационарного состояния экосистем темнохвойных лесов.

Исследования проведены в среднетаежных темнохвойных лесах Печоро-Илычского заповедника (60°02′ с. ш., 58°59′ в. д.) в нижней части бассейна р. Большая Порожняя (правый приток р. Печора) в период с 14 июня по 25 июля 2010 г. в сообществах трех автоморфных типов леса: чернично-зеленомошный (ЧЗ), высокотравный (ВТ), крупнопапортниковый (КП). Характеристика древостоя и мозаичной организации этих сообществ описана в работах (Алейников, Бовкунов, 2011; Пространственная..., 2011). В исследуемых сообществах в соответствии с последними методическими рекомендациями (Методические..., 2010) выделены четыре типа микросайтов: подкроновое пространство ели сибирской (*Picea obovata*), межкроновое пространство и элементы ветровально-почвенного комплекса (бугор второй стадии зарастания, яма первой стадии зарастания). Наиболее высокая влажность почвы в период учетов отмечена в высокотравном сообществе, наименьшая – в чернично-зеленомошном. Для учета видового состава и численности почвенной макрофауны в каждом микросайте было отобрано по 10 почвенных проб размером 25×25 см, по пять проб в июне и июле. Для учета динамической активности эпигеобионтных беспозвоночных в каждом микросайте установлено по 10 ловушек Барбера диаметром 72 мм, наполненных на одну треть 4%-ным раствором формалина. В общей сложности обработано 1.3 тыс. ловушко-суток.

Для определения изотопного состава беспозвоночных высушивали в термостате при 50 °С в течение нескольких суток. Изотопный состав тканей массовых видов определяли на комплексе оборудования, состоящем из элементного анализатора Flash 1112 и изотопного масс-спектрометра Thermo Finnegan Delta V Plus в Центре коллективного пользования при ИПЭЭ РАН. Изотопный состав азота и углерода выражали в тысячных долях отклонения от международного эталона, д (‰):

$$\delta X_{образец} = [(R_{образец}/R_{эталон}) - 1] \times 1000,$$

где X – это элемент (азот или углерод), R – молярное соотношение тяжелого и легкого изотопов соответствующего элемента. Для калибровки масс-спектрометра применяли референтные материалы МАГАТЭ (глутаминовая кислота USGS 40 и USGS 41; целлюлоза IAEA-CH3). В качестве лабораторного стандарта использовали ацетанилид. Стандарты анализировали после каждой 10-й пробы. Аналитическая погрешность определения изотопного состава азота и углерода не превышала ±0.2‰.

Полученные данные об изотопном составе тканей животных были обработаны с помощью дисперсионного и регрессионного анализов в пакете STATISTICA 6.0. За уровень достоверности принята вероятность $p < 0.05$; в тексте и на рисунках приводятся средние значения и (после знака ±) стандартная ошибка средней.

Собранные животные принадлежали к 62 ви-

дам, относящимся к 40 семействам из трех классов беспозвоночных: насекомые (Insecta), паукообразные (Aranei), губоногие многожки (Chilopoda).

Численность макрофауны в трех типах леса была сходной (рис. 1), но в разных микросайтах она отличалась внутри каждого сообщества. Наибольшая доля беспозвоночных (77%), собранных в чернично-зеленомошном типе леса, обнаружена в подкроновом и межкроновом пространствах. Только в крупнопапоротниковом сообществе обилие почвенных беспозвоночных заметно отличалось между подкроновым и межкроновым пространствами, в межкроновом пространстве обилие почвенной макрофауны более чем в 1.5 раза превышало таковое в подкроновом микросайте.

Распределение почвенной макрофауны по слоям почвы (подстилка, 0-10, 10-20 см) было неоднородным. Наиболее заселенным слоем оказалась подстилка, в которой численность почвенной макрофауны достигала 76.7±6.7 экз./м^2, наименее заселенным был слой 10-20 см (10.1±5.2). Численность макрофауны в слое 0-10 см достигала 22.0±6.1 экз./м^2.

Данные почвенных учетов анализировались с помощью многомерного шкалирования и дискриминантного анализа. Согласно полученным данным, все три исследованных типа леса достоверно отличались друг от друга (рис. 2).

Собранные почвенные животные были поделены на четыре группы по типу питания: хищники, фитофаги, сапрофаги и миксофаги. Соотношение численностей представителей этих трофических групп в целом оказалось сходным (рис. 3). При этом в чернично-зеленомошном сообществе отмечена большая доля фитофагов (21%), в то время как в остальных сообществах на их долю пришлось не более 7% собранных беспозвоночных.

Динамическая плотность собранных наземных беспозвоночных была сходна в высокотравном и чернично-зеленомошных сообществах и заметно ниже в крупнопапоротниковом. Суммарная динамическая плотность представителей Aranei и Coleoptera составила 377±12, 323±21, 455±17 экз./100 лов.-сут. в высокотравном, крупнопапоротниковом и чернично-зеленомошном сообществах соответственно. Также зафиксировано устойчивое отличие динамической плотности жужелиц в межкроновом (197±25 экз./100 лов.-сут.) и подкроновом (305±34 экз./100 лов.-сут.) пространствах, хотя линии ловушек в каждой паре микросайтов отстояли друг от друга не более, чем на 15 м.

Анализ изотопного состава тканей ($\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$) трех видов хищных беспозвоночных и почвы обнаружил достоверное отличие (HSD test, $n = 46$, $p < 0.05$) чернично-зеленомошного сообщества от двух остальных (рис. 4). И органический углерод, и органический азот, циркулирующие в этом биотопе, были заметно обедне-

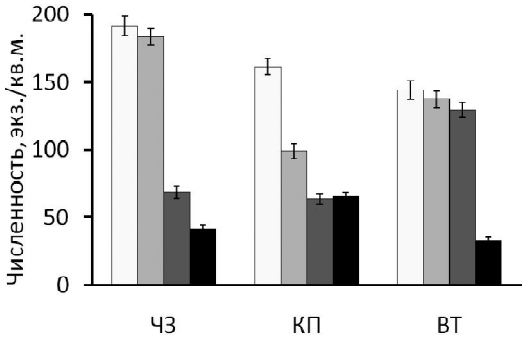


Рис. 1. Численность почвенной макрофауны в четырех типах микросайтов модельных сообществ. Белым цветом обозначено подкроновое пространство, светло-серым – межкроновое, темно-серым – бугор, черным – яма.

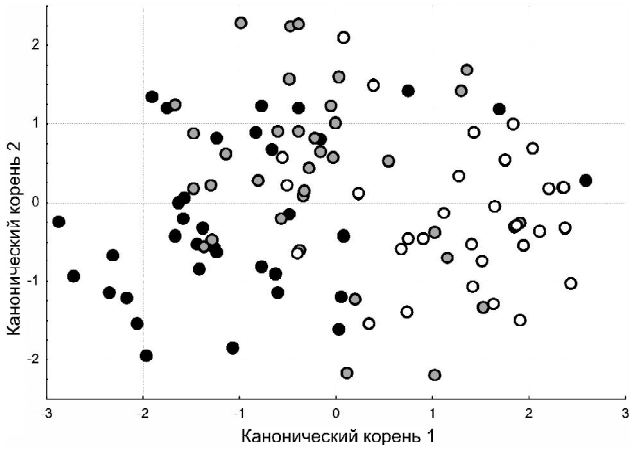


Рис. 2. Положение почвенных учетов в осях достоверных канонических корней многомерного шкалирования и дискриминантного анализа. Канонический корень 1 объясняет 91% дисперсии ($p << 0.001$), канонический корень 2 – 8% ($p = 0.189$). Черным цветом обозначен пихто-ельник высокотравный, серым – крупнопапоротниковый, белым – чернично-зеленомошный.

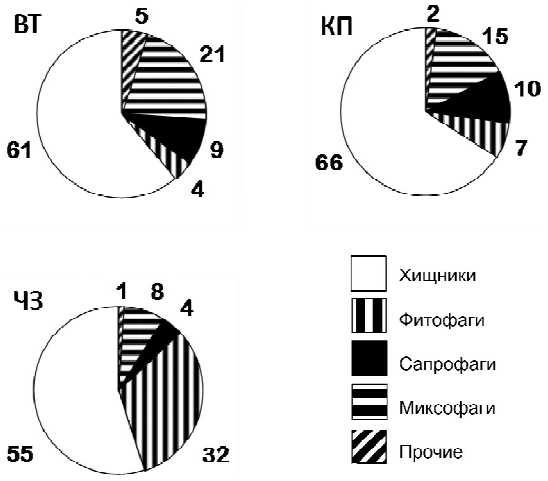


Рис. 3. Соотношение численности основных трофических групп почвенной макрофауны в трех модельных сообществах. Цифрами обозначены процентные доли численности трофических групп.

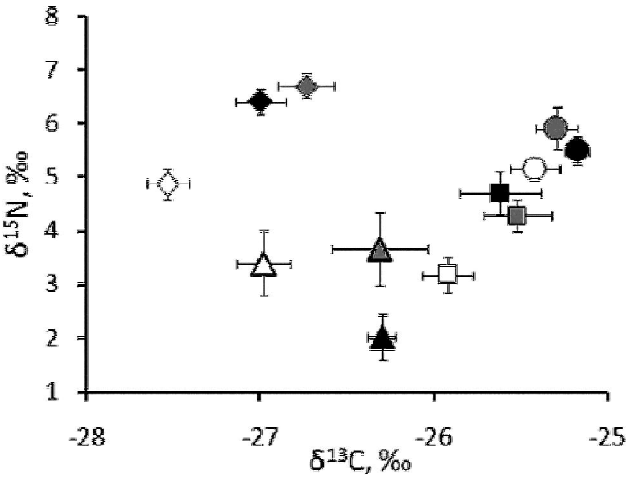


Рис. 4. Изотопный состав тканей ($\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$) трех видов хищных беспозвоночных (*P. oblongopunctatus* обозначен ромбами; *P. eiseni* – кружками; *L. proximus* – квадратами) и почвы (треугольники). Обозначения модельных биотопов как на рис. 2.

ны тяжелыми стабильными изотопами. Однако во всех биотопах положение высших хищников в «изотопном поле» (которое отражает трофическую позицию животных) было сходным: наиболее высокие значения $\delta^{15}N$ (до 7‰) характерны для жужелицы *Pterostichus oblongopunctatus*, наименьшие (от 3 до 5‰) – для многоножки *Lithobius proximus*. Паук-волк *Pardosa eiseni* имел наибольшие величины $\delta^{13}C$ (около –25‰).

Исследованные биотопы имели достоверные отличия видового состава и обилия эпигейной и эндогейной макрофауны, что предполагает наличие некоторых особенностей структуры населения почвенных беспозвоночных в каждом из изученных типов леса. Причины этих отличий пока не совсем понятны, однако первая каноническая ось дискриминантного анализа (рис. 2) совпадает с трендом увеличения средней температуры почвы в ряду «ЧЗ–КП–ВТ» (Алейников, Бовкунов, 2011). Второй канонический корень, возможно, связан с влажностью: чернично-зеленомошный биотоп имел наименьшую влажность почвы.

Несмотря на достоверные отличия в таксономической структуре сообществ трех биотопов, сходство относительной трофической позиции исследованных хищников (рис. 4) предполагает, что трофическая структура сообществ почвенных беспозвоночных в целом сходна во всех исследованных типах леса. Кроме того, мы не обнаружили достоверных отличий изотопного состава беспозвоночных, собранных под кронами и в межкроновом пространстве. Таким образом, функциональная структура сообщества, по-видимому, мало отличается в биотопах с разным типом растительности; это подтверждают и небольшие различия в относительном обилии основных трофических групп беспозвоночных (рис. 3).

Наиболее интересной закономерностью, выявленной в данной работе, было пониженное содержание ^{13}C и ^{15}N в тканях беспозвоночных, собранных в пихто-ельнике чернично-зеленомошном. Для этого биотопа характерны малоразвитые песчаные почвы с весьма низким содержанием органического вещества. Общее содержание азота в почве и растительности коррелирует с содержанием ^{15}N (Land-cover..., 1999); таким образом, пониженные величины $\delta^{15}N$ могут быть связаны с общей бедностью данного биотопа азотом. Пониженные по сравнению с высокотравными и крупнопапоротниковыми лесами величины $\delta^{13}C$ в пробах почвы из чернично-зеленомошного сообщества также можно связать с превалированием в данном биотопе грубого гумуса с невысокой долей микробной биомассы (Тиунов, 2007). Пониженное содержание ^{13}C в телах хищных беспозвоночных из чернично-зеленомошных лесов можно связать с большей долей фитофагов в их рационе (рис. 3). Для фитофагов в целом характерны пониженные величины $\delta^{13}C$ по сравнению с сапрофагами (Hyodo et al., 2010). Таким образом, как данные об обилии трофических групп почвенных животных, так и результаты изотопного анализа предполагают, что энергетика почвенного населения чернично-зеленомошного пихто-ельника в большей степени зависит от фитофагии, чем в двух других исследованных типах леса, где, по-видимому, абсолютно преобладают детритные пищевые сети.

Мы выражаем признательность по группе О.В. Смирновой (ЦЭПЛ РАН) за организацию и помощь при проведении полевых исследований и А.В. Тиунову за помощь в подготовке тезисов, а также А.А. Шилейко и И.О. Камаеву за помощь в определении собранного материала.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 гг.» и РФФИ (проекты № 07-04-00565 и № 10-04-00355)

Литература

Алейников А.А., Бовкунов А.Д. Микромозаичная организация крупнопапоротниковых и высокотравных пихто-ельников Печоро-Илычского заповедника // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского, 2011. № 25. С. 38-46.

Методические подходы к экологической оценке лесного покрова бассейна малой реки / Отв. ред. Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская. М., 2010. 383 с.

Смирнова О.В., Бобровский, М.В, Ханина, Л.Г., Смирнов, В.Э. Сукцессионный статус старовозрастных темнохвойных лесов европейской России // Усп. совр. биологии, 2006. № 1. С. 26-48.

Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова темнохвойных лесов в Печоро-Илычском заповеднике / *О.В. Смирнова, А.А. Алейников, А.А. Семиколенных* и др. // Лесоведение, 2011. № 6. С. 67-78.

Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН, 2007. № 4 С. 475-489.

Hyodo F., Kohzu A., Tayasu I. Linking aboveground and belowground food webs through carbon and nitrogen stable isotope analyses // Ecological Research, 2010. № 25. P. 745-756.

Land-cover changes and $\delta^{13}C$ composition of riverine particulate organic matter in the Piracicaba River basin (southeast region of Brazil) / *L.A. Martinelli, M.V. Ballester, A.V. Krusche* et al. // Limnology and Oceanography, 1999. № 44. P. 1827-1833.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

А.А. Дымов, Е.В. Жангуров, В.В. Старцев[1]
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: aadymov@gmail.com
[1] Сыктывкарский государственный университет

Почвы являются одним из основных компонентов экосистем, в которых сосредоточены существенные запасы углерода и азота. В связи с изменением климата и проблемами эмиссии и поглощения парниковых газов необходимы знания по запасам углерода и азота сосредоточенным в почвах горных областей. Если в настоящее время запасы углерода в почвах равнинных регионов достаточно хорошо изучены (Орлов и др., 1996), то данные по запасам углерода и азота в почвах горных экосистем высоких широт имеют единичный характер.

Цель данной работы – изучение морфологических и физико-химических свойств, оценка запасов углерода и азота в преобладающих почвах, формирующихся в северной части Приполярного Урала.

Территория Приполярного Урала является одной из наименее изученных горных территорий европейского севера России. Климат района суровый, резко-континентальный. Согласно геоботаническому районированию (Юдин, 1954), рассматриваемый регион располагается в Южно-Приполярно-Уральском округе крайнесеверной тайги. Для исследуемой территории характерна четко выраженная вертикальная зональность. На Приполярном Урале выделяют (Горчаковский, 1975; Горчаковский, Шиятов, 1985) горно-лесной (до высот 450-500 м), подгольцовый (500-550 м), горно-тундровый (от 550 до 800-850 м) пояса и пояс холодных гольцовых пустынь (выше 850 м). Абсолютные отметки высот растительных поясов могут значительно варьировать в зависимости от особенностей конкретных хребтов.

Химический анализ почв выполняли классическими методами анализа (Теория..., 2006) в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Общее содержание углерода и азота – на анализаторе EA-1100 (Carlo Erba). Для определения объемного веса образцы подстилок и почв отбирали в 7-10-кратной повторности, объемные веса в высоко щебнистых грунтах устанавливали согласно Ф.Р. Зайдельману (Зайдельман, 2008). Долю плотной породы и льдистой мерзлоты находили весовым методом. Объем вынимаемого грунта оценивали по объему сухого песка, объем песка, необходимого для заполнения вынимаемого грунта, измеряли мерным цилиндром объемом 1 л. Далее вынимаемый грунт высушивали при комнатной температуре и определяли массу крупнозема (Ms) взвешиванием. Объем крупнозема (Vs) рассчитывали с учетом плотности горных пород, которую определяли в лабораторных условиях. Запасы углерода рассчитывали по формуле (Смагин и др., 2001) с дополнениями (Hiederer, Kochy, 2011):

$$З = 0.1 \cdot C \cdot Sb \cdot H \cdot (1 - Vs/100),$$

где З – запасы элемента (кг·м$^{-2}$), С – содержание элемента (%), Sb – плотность почвы (г·см$^{-3}$), Н – мощность горизонта (см), Vs – объем крупнозема или льда (%).

При определении запасов углерода ограничились глубиной 0-50 см, поскольку в большинстве исследуемых почв наблюдалось близкое подстилание плотными горными породами (содержание мелкозема менее 30% или льдистыми многолетнемерзлыми породами).

Почвы горно-тундрового пояса. *Подбуры иллювиально-гумусовые* формируются под горной лишайниково-кустарничково-зеленомошной тундрой. В почвенном профиле характерно наличие большого количества обломков коренных пород. Почвы кислые – максимальная кислотность наблюдается в подстилках, минеральные горизонты менее кислые. Для подстилочных горизонтов характерно высокое содержание углерода и азота, убывающее в минеральных горизонтах.

Подбуры глееватые преобладают в местах возможного застоя влаги на пологих склонах, под горными ерниково-кустарничково-зеленомошными тундрами. Максимальной кислотностью характеризуются органогенные горизонты. В грубогумусированной подстилке наблюдается высокое содержание органического углерода, верхние минеральные горизонты также обогащены органическим веществом.

Глееземы грубогумусированные формируются в верхней части горной тундры в условиях пологих склонов и нагорных террас под горной кустарничково-мохово-лишайниковой тундрой. Для них характерно длительное насыщение водой минеральных горизонтов. Подстилка маломощная представлена слабо и средне разложившимися растительными остатками, в минеральных горизонтах наблюдается резкое уменьшение в содержании углерода.

Глееземы мерзлотные и *торфяно-глееземы мерзлотные* формируются в условиях нижних пологих частей склонов, где происходит застой атмосферных осадков и участки горно-тундровых ландшафтов чередуются с куртинами лесных сообществ. Верхняя граница залегания многолетне мерзлых (льдистых) пород находится на глубине 25-45 см и служит водоупором, поэтому весь профиль сильно увлажнен, верхние минеральные горизонты тиксотропны. Почвы кислые по всему профилю, максимальную кислотность имеют ненасыщенные основаниями органогенные горизонты. Для них характерно высокое содержание органического углерода, в минеральных горизонтах наблюдается его резкое уменьшение.

Почвы горно-лесного пояса. *Подзолы иллювиально-железистые* развиваются на суглинистых высоко щебнистых почвообразующих породах под лиственничниками кустарничково-зеленомошными. Наибольшая кислотность наблюдается в подстилке. В единичных случаях выявлен вынос органического углерода из подзолистого горизонта, в большинстве случаев – его аккумулятивное распределение с максимальным содержанием в подстилке и равномерным убыванием в минеральных горизонтах.

В условиях средних частей склонов под лиственничниками кустарничково-зеленомошными на несколько более мощных суглинистых отложениях формируются *светлоземы иллювиально-железистые*. Отличительной особенностью и наиболее важным диагностическим признаком является наличие и степень выраженности специфического криогенно оструктуренного горизонта CRM с рассыпчатой комковато-ореховатой или угловато-крупитчатой структурой. Почвы сильнокислые. Распределение обменных оснований и общего углерода носит аккумулятивный характер.

Подзолистые почвы с микропрофилем подзола развиты на пологих склонах, на мощных суглинистых отложениях, под ельниками зеленомошными. Основные морфологические отличия заключаются в формировании вложенного профиля подзола в верхних элювиальных горизонтах. Почвы кислые. Распределение углерода по профилю почвы плавно убывающее.

Торфянисто-подзолисто-глееватые почвы формируются в полугидроморфных условиях, под ельниками чернично-сфагновыми. Это почвы с мощной торфянистой подстилкой до 15 см и признаками оглеения в виде сизых оттенков по всему профилю. Элювиальный горизонт, как правило, фрагментарен, верхние минеральные горизонты имеют гумусовую пропитку. Выражены морозобойные трещины. Максимальная кислотность наблюдается в нижней части торфянистого горизонта. В торфянистых горизонтах накапливается высокое содержание органического углерода.

Буроземы элювиированные выявлены на пологих склонах под ельниками разнотравными. Под маломощной слаборазложившейся подстилкой формируется серогумусовый горизонт с признаками оподзоливания. Почва сильнокислая. Минеральная часть профиля слабо дифференцирована. Максимальное содержание углерода и азота наблюдается в нижней части подстилки.

Запасы углерода. Одна из основных проблем при исследовании запасов углерода в почвах – высокая щебнистость минеральных горизонтов и большая вариабельность показателей (Подвезенная и др., 2010). Запасы углерода в исследуемых почвах горно-тундрового пояса составляют от 7.7 до 39.3 кг·м$^{-2}$, запасы азота – от 0.45 до 2.4. Для рассматриваемых почв характерно изменение соотношения углерода аккумулированного в органогенных и минеральных горизонтах. Возрастание гидроморфизма способствует ослаблению разложения органического опада, консервации органического вещества в органогенных и минеральных горизонтах. В почвах, характеризуемых присутствием многолетнемерзлых (льдистых) пород в профиле (Р. 25-09, 5-10), увеличивается вклад органогенных горизонтов в общие запасы углерода. В то время как для разрезов 69-11, 1-10, 28-09 вклад органогенных горизонтов в общие запасы углерода менее значителен. Высокие запасы углерода характерны для почв с морфологически диагностируемыми признаками иллювиирования органического вещества в верхние минеральные горизонты, характеризуемые высоким содержанием плотных пород. Наиболее контрастно это проявляется для подбуров глееватых (Р. 1-10).

Запасы углерода в верхних 0-50 см почв горно-лесного пояса несколько ниже по сравнению с почвами горной тундры, изменяются от 6.5 до 11.8 кг·м$^{-2}$, запасы азота – от 0.41 до 0.79. Наименьшими запасами углерода и азота горно-лесного пояса характеризуются подзолистые с микропрофилем подзола и подзолы иллювиально-железистые. Запасы углерода и азота, сосредоточенные в светлоземе иллювиально-железистом и буроземе, несколько выше. По содержанию азота наблюдается увеличение запасов в буроземе (главным образом за счет минеральных горизонтов).

На основе обобщения опубликованных материалов и проведенных исследований показано, что почвы и почвенный покров Приполярного Урала чрезвычайно разнообразен, отличается

большой пестротой и комплексностью. Выявлено, что основной фон почвенного покрова горно-тундрового пояса составляют подбуры глееватые в сочетании с подбурами иллювиально-гумусовыми и глееземами. Впервые для Приполярного Урала на основе детального описания морфологического строения профиля почв и анализа физико-химических свойств выделены и охарактеризованы глееземы мерзлотные, торфяно-глееземы мерзлотные, светлоземы иллювиально-железистые, подзолистые с микропрофилем подзола.

Показано, что запасы углерода и азота существенно варьируют в зависимости от типа почв и принадлежности к определенным ландшафтам. Запасы углерода, сосредоточенные в верхних генетических горизонтах (до 50 см) горно-тундровых почв, составляют от 7.7 до 39.3 кг·м$^{-2}$, азота – от 0.4 до 2.4. В почвах горно-лесного пояса аккумулируется от 6.5 до 11.8 кг·м$^{-2}$ углерода и 0.41-0.79 кг·м$^{-2}$ азота.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ, № 11-04-00885 и программы Президиума РАН, № 12-П-4-1018.

Литература

Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорного Урала. М., 1975. 282 с.

Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.

Зайдельман Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. М.: Колос, 2008. 486 с.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.

Подвезенная М.А., Рыжова И.М. Зависимость вариабельности запасов углерода в почве от пространственной структуры растительного покрова лесных биогеоценозов // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение, 2010. № 4. С. 3-9.

Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В. и др. Моделирование динамики органического вещества почв. М.: Изд-во МГУ, 2001. 120 с.

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

Юдин Ю.П. Растительный мир. Производительные силы Коми АССР. М.-Л., 1954. Т. III. Ч. I. 375 с.

Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G. et al. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region, Global Biogeochem // Cycles, 2009. Vol. 23

Hiederer R., Kochy M. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. Publications Office of the European Union, 2011. 79 p.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ОЗЕР В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА СЫКТЫВКАР ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И ФИТОПЛАНКТОНУ

А.И. Есев
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: ArCtic171190@yandex.ru

Водоемы в зоне воздействия крупных городов испытывают значительное влияние эмиссий загрязняющих веществ, многие из них расположены в городской черте и вовлечены в хозяйственную деятельность, а также активно используются в рекреационных целях, что приводит к дополнительным антропогенным нагрузкам на водные экосистемы. В результате происходит изменение гидрохимических показателей и структуры сообществ гидробионтов. При этом оценка состояния качества поверхностных вод рекреационных водоемов в отличие от водных объектов, используемых в хозяйственно-питьевых целях, проводится очень редко или не проводится совсем. Мониторинг состояния рекреационных водоемов необходим для обеспечения экологической безопасности населения, а также регулирования нагрузок на рекреационные водоемы и своевременного реагирования на ухудшение экологической ситуации в городской черте.

Цель данной работы – оценка состояния пяти малых водоемов в зоне рекреации окрестностей г. Сыктывкар. Для решения цели были поставлены следующие задачи: охарактеризовать состояние озер в зоне рекреации г. Сыктывкар и одного водоема в пос. Нювчим; провести анализ гидрохимических показателей и фитопланктонных сообществ, характеризующих состояние водоемов. Объектами исследования были озера Еляты, Вымь, Нювчимское, а также курья в пос. Выльтыдор и затон Выльты. Водоемы небольшие, пойменного происхождения (кроме оз. Нювчимское – подпрудное). Три относятся к бассейну р. Вычегда, два – озера Нювчимское и Еляты – к бассейну р. Сысола. Озера Еляты, Вымь и затон Выльты в период паводка имеют сообщение с рекой. Они используются как в рекреационных, так и в хозяйственных целях: купание, отдых, рыбалка, мойка автотранспорта, выпас скота. Озеро Вымь находится в зоне воздействия аэропорта, Нювчимское – рыбохозяйственный водоем.

Отбор гидрохимических проб и микроводорослей в озерах проведен по стандартным методикам в июне 2011 г. Всего собрано 15 гидрохимических проб. В момент отбора проб проведены измерения температуры воды, pH, электропроводности, солености на комбинированном полевом экспресс-приборе Water test (Hanna instruments, Португалия). Проанализированы ионный состав, ПАУ, нефтепродукты, тяжелые металлы (Sr, Mn, Zn, Fe), минерализация, сообщества фитопланктона. Водоросли отобраны с

помощью планктонной сети, определены только массовые виды, вызывающие цветение воды. Гидрохимический анализ воды выполнен по аттестованным методикам в экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Для сравнения использованы литературные данные по гидрохимическим показателям в р. Вычегда и озерам, расположенным в бассейне этой реки (Зверева, 1959; Власова, 1988; Боос, Патова, 2007).

Озеро Еляты – пойменный водоем длиной более 1.5 км, шириной 0.6-0.7 км. Дно песчано-илистое. Берега крутые, залесенные. На берегу идет строительство коттеджного поселка Сосновый берег. Вода озера используется для хозяйственно-питьевых нужд, в том числе купания, отдыха местного населения. Затон Выльты – старица длиной 5 км, 0.3-0.7 км шириной, имеет постоянное сообщение с рекой, дно песчаное с илистым налетом, берега пологие, местами заболочены. На правом берегу затона расположен речной порт с законсервированными судами и баржами. Озеро Вымь – пойменный водоем вытянутой формы длиной более 3 км, шириной 0.3-0.4 км с пологими берегами и глинисто-песчаным дном. Курья в пос. Выльтыдор – водоем вблизи автодороги, используется для отдыха населения, мойки машин. Берега залесенные, длина водоема около 600 м, ширина – приблизительно 500 м. Озеро Нювчимское – искусственный водоем, используемый для разведения форели, длинной около 3 км, шириной 1.5 км с пологими берегами.

По ведущим ионам данные озера принадлежат к классу гидрокарбонатные к группе кальциево-магниевые и типу I – $HCO_3Ca^{2+}Mg^{2+}$, что в целом характерно для водоемов бассейнов рек Вычегда и Сысола, а также водных объектов среднетаежной зоны. У исследованных озер показатели минерализации варьируют от 42 до 116 мкС/см (рис. 1), что соответствует низкоминерализованным водам. Показатели минерализации в исследованных озерах ниже, чем показатели в р. Вычегда, измеренные для верхнего течения реки (Власова, 1988). Наибольшие значения отмечены для оз. Еляты (116 мкС/см), самые низкие – в оз. Вымь (42 мкС/см). Невысокая минерализация связана с преобладанием в питании озер атмосферных осадков и сообщением с рекой во время половодья (Власова, 1988). Воды бассейна р. Вычегда небогаты солями Ca^{2+}, Na, Mg^{2+}. Общая их сумма в зависимости от водности реки и сезона года изменяется в пределах преимущественно от 30 до 250 мг/л (Как живешь, Сыктывкар, 1990). Активная реакция водной среды (pH) по исследованным озерам относительно одинакова и близка к нейтральной и слабощелочной. Относительно высокие показатели отмечены в оз. Нювчим (8.7), слабощелочная реакция водной среды этого водоема связана с массовым развитием фитопланктона. Наиболее низкие значения pH отмечены в оз. Курья (6.87). Данные показатели отличаются от показателей pH для р. Вычегда. Для русла верхней Вычегды pH воды в летнее время составляет 7.3-8.1. Величины pH в зимнее и весеннее время близки между собой (6.9 – зимой, 6.7 – весной). Летом происходит повышение pH до 7.2-7.4, осенью – снижение (Зверева, 1959; Власова, 1988). Цветность природных вод, обусловленная главным образом присутствием гумусовых веществ и соединений Fe^{3+}, в исследованных озерах была в диапазоне от 50 до 146 градусов кобальтовой шкалы. По цветности было выявлено, что затон Выльты имеет самые высокие показатели, на втором месте – оз. Вымь. Цветность зависит от геологических условий, водоносных горизонтов, характера почв, наличия болот и торфяников в водосборах, а также вследствие поступления сточных и бытовых вод. Для оз. Вымь высокая цветность может быть объяснена воздействием речного порта, где законсервированы многочисленные суда, и в результате их разрушения в водоемы поступает Fe^{3+}. Вода исследованных озер насыщена кислородом в достаточном количестве – измеренные значения находились в диапазоне 72.8 -115.8%. Содержание органических веществ характеризуют перманганатная окисляемость (ПО) и химическое потребление кислорода (ХПК). Максимальные значения ПО были выявлены у оз. Нювчимское (22.6 мг/дм^3). Это связано с тем, что в нем наблюдается большое количество органического вещества, что является следствием разведения в нем форели. Высокое содержание органики в оз. Нювчимское (107 мг/дм^3) также влияет на такой фактор, как ХПК, что приводит к его высоким показателям и это указывает на процессы эвтро-

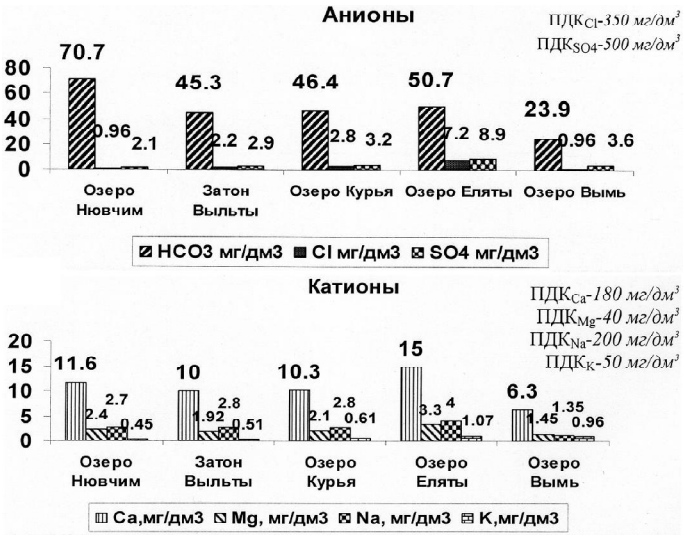


Рис. 1. Ведущие анионы и катионы в исследованных рекреационных водоемах. Здесь и на рис. 3 приведены ПДК (хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования) для исследованных показателей.

фирования водоема и его заболачивания. Содержание фосфора и азота в озерах было относительно низким (рис. 2). Высокие концентрации фосфора выявлены в озерах Вымь (0.008 мг/дм^3) и Еляты (0.007). По содержанию общего азота во всех озерах, сравнивая с показателями этого элемента в водах р. Вычегда, отмечены более высокие концентрации до 1.5-2.0 раз (Зверева, 1959; Власова, 1988). Максимальные значения отмечены для озер Нювчимское (0.67 мг/дм^3), Еляты (0.55) и Вымь, в водосборной зоне которых расположены сельскохозяйственные угодья, и, скорее всего, поступление соединений азота и фосфора связано с сельскохозяйственным загрязнением, что приводит к повышению эвтрофного статуса этих водоемов. По содержанию нефтепродуктов наиболее высокие показатели были получены для курьи у пос. Выльтыдор (0.029 мг/дм^3), ни для одного из исследованных озер не отмечено превышение ПДК (0.05). Это связано с тем, что курья находится вблизи автодороги и выбросы автотранспорта попадают в водоем. Среди исследованных тяжелых металлов наиболее высокие значения отмечены для стронция (рис. 3), что в целом характерно для пресноводных водоемов таежной зоны. Максимальные значения по стронцию (58 мкг/дм^3) и железу (1.28 мг/дм^3) отмечены в оз. Еляты, что связано со строительством здесь коттеджного поселка.

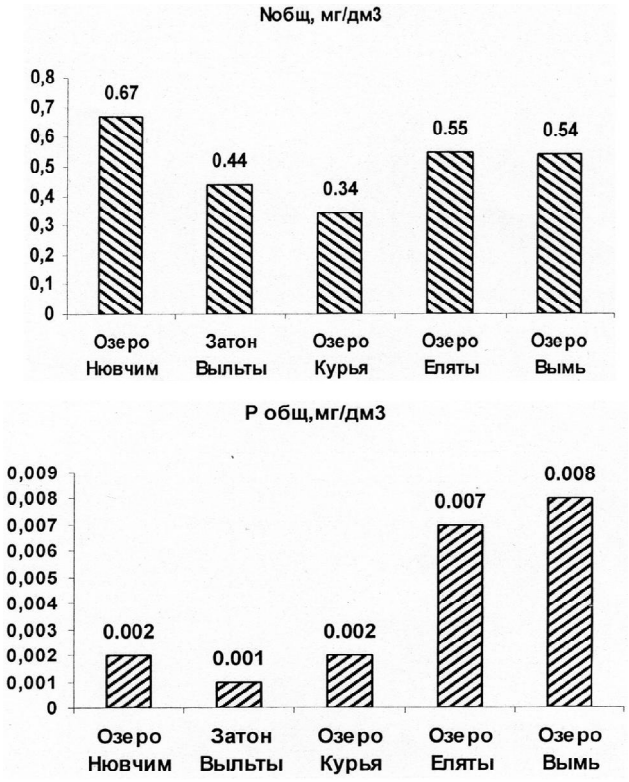


Рис. 2. Содержание общего азота и фосфора в исследованных рекреационных водоемах (ПДК$_N$ – 1.3 мг/дм^3, для общего фосфора ПДК не установлен).

Планктонные сообщества исследованных озер отражают гидрохимические свойства водной среды. В исследованных озерах развитие планктона было очень неоднородным. Массовое развитее планктона, достигающего стадии «цветения», зарегистрировано в оз. Нювчимское. В момент отбора проб в озере наблюдалось массовое «цветение» водорослей, вода была окрашена в зеленый цвет, прозрачность воды – до 20 см. Цветение воды вызывают синезеленые водоросли *Anabaena flos-aquae*, *A. planctonica*, *Aphanizomenon flos-aquae*. Большинство из них относят к потенциально токсичным видам, опасным для здоровья человека и гидробионтов. Водоем по составу планктона может быть отнесен к эвтрофному. Для других водоемов развитие водорослей в планктоне было бедным, цветения воды не обнаружено, только в оз. Вымь наблюдали массовое развитие золотистой водоросли *Dynobrion cilyndricum*, предпочитающей для поселения водоемы с пониженными pH (именно в этом водоеме отмечены самые низкие значения pH). По численности водорослей в планктоне озера могут быть отнесены к мезотрофным водам.

Исследованные озера по составу вод относятся к гидрокарбонатно-кальциевым с нейтральной средой и относительно высоким содержанием гуминовых и легкоокисляемых органических и биогенных веществ, что связано с антропогенной нагрузкой в результате рекреации. Превышений ПДК по рассмотренным гидрохимическим показателям не обнаружено. В исследованных водоемах развитие фитопланктона было не однородным. Планктонные сообщества исследованных озер отражают гидрохимические свойства водной среды. В оз. Нювчимское зарегистрировано синезеленое цветение потенциально токсичными видами. Проведенное исследование позволило оценить состояние водоемов как удовлетворительное, из исследованных водоемов наибольшие нагрузки испытывают озера Нювчим и Выльты. Изучения данных озер будут продолжены с целью мониторинга за их состоянием и выявления сезонной динамики поступления загрязняющих веществ в эти водные объекты.

Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в исследованных рекреационных водоемах.

Литература

Боос А.А., Патова Е.Н. Оценка состояния рекреационных водоемов в окрестностях г. Сыктывкара

(Республика Коми) // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2007. Вып. V. Ч. 2. С. 133-135.

Власова Т.А. Гидрохимия главных рек Коми АССР / Отв. ред. В.Г. Мартынов. Сыктывкар, 1988. 372 с.

Зверева О.С. Гидробиологическая характеристика реки Вычегды и водоемов ее поймы в Усть-Куломском районе // Труды Коми филиала Академии наук, 1959. № 8. С. 101-117.

Как живешь, Сыктывкар? / Сост. М.В. Гецен, А.П. Братцев. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1990. 198 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ В РАЙОНАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА КИРОВ

В.А. Ефремова, Л.В. Кондакова
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: VitalinaRose@gmail.com

В настоящее время одна из глобальных проблем – урбанизация территории, в связи с чем возникает необходимость изучения экологического состояния городской среды. Промышленность городов характеризуется исключительно сложной структурой и интенсивным воздействием на окружающую среду. Значительную техногенную нагрузку в условиях урбанизации испытывают городские почвы. Признанными индикаторами состояния почвенной среды являются водоросли. По данным Р.Р. Кабирова и И.И. Шиловой (1994), качественные и количественные показатели сообществ почвенных водорослей во многом зависят от специфики предприятия, особенностей технологии, характера используемого сырья. Например, в условиях сильного загрязнения тяжелыми металлами и кислотами формируются сообщества с преобладанием зеленых водорослей. При подщелачивании почвы и загрязнении органическими веществами в альгогруппировках преобладают синезеленые. К числу изученных относятся территории предприятий энергетики, машиностроения, черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности и др. (Кабиров, 1996; Шарипова и др., 1991; Кузнецова, 2005 и др.). Особый интерес для изучения представляют золоотвалы. Начальным этапом естественного зарастания золоотвалов является поселение водорослей и цианобактерий, сообщества которых формируются постепенно (Неганова, 1971; Brock, 1973). Первыми развиваются одноклеточные зеленые водоросли (виды родов *Chlorella* и *Chlorococcum*), а также цианобактерии (виды рода *Nostoc*).

Цель работы – изучить альгофлору почв промышленной зоны г. Киров.

Объектом исследования являлись почвы районов размещения промышленных предприятий г. Киров. Отбор проб на выявление видового состава почвенных водорослей проводился с глубины 0-5 см в 2008-2011 гг. и 0-1 см при «цветении» почв весной, летом и осенью 2011 г. Видовой состав водорослей определяли методом чашечных культур со стеклами обрастания и микроскопирования свежевзятой почвы (Голлербах, Штина, 1969), численность клеток – методом прямого микроскопирования.

В промышленной зоне г. Киров были изучены пробы с участков Биохимического завода, завода «Искож», Станкостроительного завода, ОЦМ, ТЭЦ-5. На территории промышленных предприятий обнаружен 71 вид почвенных водорослей, в том числе Cyanophyta – 32 вида (45.1%), Bacillariophyta – 11 (15.5%), Xanthophyta – три (4.2%), Eustigmatophyta – два (2.8%), Chlorophyta – 23 вида (32.4%). В альгогруппировках преобладали представители отделов Cyanophyta и Chlorophyta. Наибольшее видовое разнообразие представителей данных отделов отмечено и другими исследователями для промышленных зон городов (Кабиров, Шилова, 1994). Чувствительные к загрязнению желтозеленые водоросли встречались единично в районе завода «Искож» и Биохимического завода и полностью отсутствовали в районе Станкостроительного завода.

Комплекс доминирующих видов был разнообразен и включал представителей трех отделов: Cyanophyta – *Phormidium autumnale, Microcoleus vaginatus, Leptolyngbya frigidum, L. foveolarum*; Bacillariophyta – *Hantzschia amphioxys, Luticula mutica* var. *mutica, L. mutica* var. *nivalis, Nitzschia palea*; Chlorophyta – *Chlamydomonas gloeogama, Chlorella vulgaris, Bracteacoccus minor.*

Встречаемость видов (60-100%) на данных территориях имеют виды *Phormidium autumnale, Leptolyngbya foveolarum, Microcoleus vaginatus, Luticola mutica* var. *mutica, Luticola mutica* var. *nivalis, Navicula pelliculosa, Hantzschia amphioxys* var. *amphioxys, Chlamydomonas gloeogama, Chlorella vulgaris, Stichococcus minor, Stichococcus chodatii, Protoderma viride.*

Анализ альгофлоры по жизненным формам указал на преобладание нитевидных безгетероцистных цианобактерий, тяготеющих к голым участкам минеральной почвы и обладающих ксероморфной структурой, диатомеи, живущих в поверхностных слоях влажной почвы и теневыносливых видов. Формула экобиоморф: $P_{18}B_{11}CF_{10}X_9Ch_8H_7C_4amph_2M_1hydr_1$.

Весной, летом и осенью 2011 г. в районах Биохимического завода, ТЭЦ-5 и ОЦМ были собраны поверхностные разрастания почвенных водорослей.

Биохимзавод специализируется в основном на выпуске кормовых дрожжей, фурфурола и спиртов. Основные загрязнители – сероводород, фенол, аммиак, формальдегид. pH водной и солевой вытяжки составляет 7.5 и 7.1 соответственно. Флористический состав пленок «цветения», отобранных осенью вблизи Биохимзавода, представлен восемью видами: семь видов цианобактерий и одна диатомовая водоросль *Hantzschia amphioxys*. Доминантом сообщества являлась гетероцистная цианобактерия – *Nostoc commune*. В пленках «цветения» отмечены макроскопические шаровидные разрастания до 5 мм – макроколонии *Nostoc commune*. Плотность популяций фототрофов в пленках «цветения» составила 63±7.0 млн. клеток/см^2 (см. таблицу), преобладали гетероцистные цианобактерии (52.79%). В слое почвы 0-5 см, не приуроченном к «пленкам» цветения, численность фототрофов составила 0.3 млн. клеток/г почвы (доминировали представители рода *Hantzschia, Navicula, Luticola*). Отмечена высокая доля микромицетов с окрашенным мицелием (85-95%), суммарная длина нитей микромицетов составила 361-391 м/г почвы.

Основная деятельность Кировского завода по обработке цветных металлов связана с производством и обработкой медных и медесодержащих сплавов. Основные загрязнители – оксиды меди, цинка, никеля. Прямым микроскопированием весенне-летней пленки «цветения», взятой в районе ОЦМ, обнаружено 17 видов почвенных водорослей. Доминирующее положение занимали представители родов: *Phormidium* (*Ph. autumnale, Ph. formosum, Ph. uncinatum*), *Leptolyngbya* (*L. foveolarum, L. frigidum*) и *Nostoc* (*N. punctiforme, N. paludosum, N. linckia*). Общая численность клеток составляла 13.8±1.3 млн. кл./см^2 почвы. По численности преобладал отдел Cyanophyta – 13.2±1.2 млн. кл./см^2 почвы. Состав осенних наземных альгогруппировок беднее, отмечено всего пять видов почвенных водорослей. Так же, как и в весенне-летних пленках, доминировали цианобактерии. Плотность популяций фототрофов выросла от 13.8±1.3 до 196.6±47.9 млн. кл./см^2. Численность доминанта сообщества безгетероцистной цианобактерии *Phormidium uncinatum* составила 193±47.4 млн. кл./см^2, суммарная длина нитей цианобактерий – 638 м/см^2, в структуре популяций микромицетов преобладали формы с окрашенным мицелием (68%). Средний пул клеток в почвенных пробах – 5.1 млн. кл./г почвы.

К наиболее крупным загрязнителям атмосферного воздуха выбросами от стационарных источников, а следовательно, и почвы в г. Киров относятся предприятия ТЭЦ. Основными выбросами ТЭЦ-5 являются твердые частицы золы, диоксид серы, оксиды углерода и азота. В пленках «цветения», взятых весной и летом в районе ТЭЦ-5, видовое разнообразие было представлено 25 видами. Состав доминирующих видов был разнообразен и включал представителей трех отделов: Cyanophyta – *Microcoleus vaginatus, Phormidium autumnale, Ph. formosum*; Bacillariophyta – *Nitzschia palea*; Chlorophyta – *Bracteacoccus minor, Chlorella vulgaris*. Общая численность клеток цианобактерий и водорослей составила 22.2±1.7 млн. кл./см^2 почвы. Преобладали цианобактерии, их численность – 16.0±1.1 млн. кл./см^2 почвы. Видовой состав осенних биопленок, как и в варианте с ОЦМ, был беднее по сравнению с весенне-летними пробами и включал всего восемь видов почвенных водорослей, в том числе семь видов цианобактерий и одну диатомовую водоросль. Доминантами сообщества являлись цианобактерии *Nostoc commune*, *Microchaete tenera*, *Microcoleus vaginatus*. Численность фототрофов в пленках «цветения» достигала 93.0±7.0 млн. кл./см^2, в пробах слоя 0-5 см – 11.3 млн. кл./г почвы. Можно отметить, что ход сезонной сукцессии поверхностных альгоценозов направлен на последовательную элиминацию из состава фототрофных популяций эукариотных водорослей, стремительным сокращением их видового разнообразия, насыщением биотопа представителями цианобактерий.

Таким образом, альгофлора промышленной зоны г. Киров в изученных районах достаточно разнообразна и представлена 71 видом почвен-

Характеристики весенне-летних и осенних альгогруппировок в районах промышленных предприятий г. Киров

Отделы	ОЦМ				ТЭЦ - 5				БХЗ	
	Весна-лето		Осень		Весна-лето		Осень		Осень	
	Число видов	Численность, млн. кл./см^2	Число видов	Численность, млн. кл./см^2	Число видов	Численность, млн. кл./см^2	Число видов	Численность, млн. кл./см^2	Число видов	Численность, млн. кл./см^2
Cyanophyta	13	13.2±1.2	1	193.3±47.4	11	16.0±1.1	7	91.9±7.0	7	61.0±6.8
Bacillariophyta	3	0.6±0.1	1	1.1±0.2	4	4.1±0.3	1	1.22±0.27	1	1.8±0.2
Xanthophyta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Eustigmatophyta	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–
Chlorophyta	1	–	3	2.2±0.3	9	2.1±0.3	–	–	–	–
Всего	17	13.8±1.3	5	196.6±47.9	25	22.2±1.7	8	93.12±7.0	8	62.8±7.0

ных водорослей. В альгогруппировках преобладали представители отделов Cyanophyta и Chlorophyta. Сравнительный анализ пленок «цветения», отобранных весной, летом и осенью в разных промышленных районах показал сокращение видового разнообразия осенних пленок «цветения» по сравнению с весенне-летними. В осенних биопленках «цветения» почвы доминирующее положение занимал отдел Cyanophyta. Плотность популяций фототрофов также оказалась выше в осенних альгогруппировках. Отмечена высокая доля микромицетов с окрашенным мицелием.

Литература

Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.

Кабиров Р.Р. Почвенные водоросли в условиях сильного техногенного загрязнения // Тезисы докладов II съезда общества почвоведов. СПб., 1996. Кн. 1. 258-259.

Кабиров Р.Р., Шилова И.И. Сообщества почвенных водорослей на территории промышленных предприятий // Экология, 1994. № 6. С. 16-20.

Кузнецова Е.В. Флористические особенности почвенных водорослей промышленных территорий // Современные аспекты экологии и экологического образования: Матер. Всерос. конф. Казань, 2005. С. 132-134.

Неганова Л.Б. О развитии водорослей на золоотвалах // Труды Кировского сельскохозяйственного института. Киров, 1971. Т. 23. Вып. 55. С. 209-214.

Шарипова М.Ю., Шкундина Ф.Б., Дубовик И.Е. Изменение структуры почвенных альгоценозов в условиях техногенных ландшафтов // Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Днепропетровск, 1991. С. 45-46.

Brock T.D. Prymary colonization of Surtsey, with special reference to the blue-green algae // Oikos, 1973. Vol. 24. № 2. P. 239-243.

ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЭКОТОНА ЛЕС–ГОРНАЯ ТУНДРА ХРЕБТА КЫЧИЛ-ИЗ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

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

В настоящее время изучение переходных или так называемых экотонных территорий стало весьма актуальным направлением в различных областях почвоведения, биогеографии и экологии. Экотон – это переходная зона между двумя контрастными типами экосистем или ландшафтов, которая может представлять собой узкую линию или довольно протяженное пространство (Горчаковский, Шиятов, 1985). Экотоны имеют специфическую структуру и служат местом формирования и сохранения видового и биологического разнообразия. На такого рода территориях образуются экотонные биотические сообщества и экотонные системы переходного типа, которые обладают особым составом, структурой, механизмами устойчивости и режимом функционирования (Миркин, Наумова, 1998).

На северо-востоке европейской части России одним из наиболее интересных и слабо исследованных является экотон, формирующийся на границе средне и высокогорных ландшафтов Уральского горного хребта – экотон верхней границы леса и горной тундры. Уникальность данной переходной территории состоит в сочетании двух типов растительных сообществ – лесных и безлесных, для которых характерны достаточно контрастные ландшафтно-экологические условия, а смена почв и растительного покрова происходит в определенной корреляции с литологическими и геоморфологическими факторами.

Цель данной работы – исследование разнообразия почв и растительных сообществ экотона «лес–горная тундра» хребта Кычил-Из.

Район исследований расположен на территории Печоро-Илычского государственного биосферного заповедника, в бассейне верхнего течения р. Илыч (63°03′ с.ш.; 58°45′ в.д.). В геоморфологическом отношении исследуемая территория Северного Урала (хребет Кычил-Из) характеризуется расчлененным рельефом с хорошо выраженной высотной поясностью. До высоты 550-650 м над ур. м. распространены горные леса и редколесья, от 550-600 до 800 м – горные тундры, выше 800 м – зона гольцов и каменистых россыпей. Почвообразующие породы представлены хрящевато-обломочным элювием и элюво-делювием коренных пород: кристаллических кварцито-хлоритовых и кварцито-серицито-хлоритовых сланцев. Согласно почвенно-географическому районированию, рассматриваемая территория относится к Уральской горной почвенной провинции, округу Северного Урала горно-лесных глееподзолистых иллювиально-гумусовых и горно-тундровых почв (Атлас почв, 2010).

Основу почвенного покрова горно-лесного пояса составляют почвы подзолистого типа, подтиповые различия которых прослеживаются в степени выраженности подзолистого процесса и глубины подстилания коренными породами.

На отметках высот 500-640 м над ур. м. на западных склонах исследуемого хребта Кычил-Из располагается подгольцовый пояс растительности, в котором преобладают горные лиственничные редколесья (до 600 м над ур. м.), выше по склону идут березовые редколесья, чередую-

щиеся с горными высокотравными лугами (Дубровский и др., 2009).

Наибольшие площади в пределах подгольцового растительного пояса занимают луговиковые лиственничные редколесья. Высота лиственницы – 8-12 м, диаметр стволов – 38-52 см. Второй ярус древостоя сложен невысокими (2-6 м) деревцами березы, диаметром от 10 до 16 см. Суровые условия на верхней границе леса препятствуют активному возобновлению древесных, поэтому в подросте лишь единично встречаются береза, лиственница и кедр. Подлесок разреженный из рябины и можжевельника. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует черника, луговик извилистый. Формирующиеся в рассматриваемых условиях почвы имеют характерное морфологическое строение. Под маломощной (4-5 см) слаборазложившейся одернованной подстилкой формируется отчетливо выраженный темно-серой окраски серогумусовый дерновый горизонт AY (3-4 см), который переходит в подзолистый горизонт E (10-12 см) – светло-серый опесчаненный легкий суглинок, с включением щебня пород. С 20-30 см содержание обломков кварцито-серицито-хлоритовых сланцев значительно возрастает и на глубине 35-40 см часто переходит в сплошные массивные плиты коренных пород. Над плитой вследствие застаивания атмосферных осадков накапливается верховодка, поэтому нижние горизонты оглеены. Строение профиля: O (0-5 см) – AY (5-8 см) – Eg (8-20 см) – BFg (20-40 см). Согласно новой «Классификации почв России» (2004), почва диагностируется как дерново-подзол глеевый иллювиально-железистый.

Почвы характеризуются сильнокислой реакцией среды по всему профилю (pHсол. 3.5-3.7), низким содержанием обменных форм Ca^{2+} и Mg^{2+}, ненасыщенностью основаниями почвенного поглощающего комплекса. Распределение оксалатнорастворимых форм соединений Fe_2O_3 и Al_2O_3, а также валового содержания оксидов железа заключается в их внутрипочвенной элювиально-иллювиальной дифференциации по горизонтам профиля.

На границе подгольцового и горно-тундрового поясов (620-640 м над ур. м.) описаны вейниковые березовые редколесья и криволесья, которые часто приурочены к ложбинам стока. Сомкнутость древесного яруса 0.1-0.2. Высота стволов – 4-8 м, диаметр – 16-18 см. В подросте отмечено слабое возобновление березы и пихты. В подлеске преобладают ивы. Для таких сообществ характерно наличие хорошо развитого травостоя из представителей таежного высокотравья, таких как *Calamagrostis purpurea*, *Filipendula ulmaria*, *Chamerion angustifolium*, что обуславливает формирование в верхней части профиля почв отчетливо выраженного дернового гумусового горизонта, постепенно (часто резко) переходящего в щебнисто-мелкоземистую толщу и/или плиту коренных пород. Почвы диагностируются как литоземы серогумусовые Oao (0-3) – AY (3-6 см) – BC (6-17 см) – Cg (17-27 см), часто в нижней части профиля выражены морфохроматические признаки оглеения в виде ржаво-сизых пятен.

Почвы хорошо гумусированы с высоким содержанием органического вещества в горизонте AY (10-11%), верхние горизонты относительно обогащены азотом (отношение C/N 22-13), имеют кислую реакцию среды, слабонасыщены основаниями. По валовому химическому составу дифференцированы слабо.

На верхней границе подгольцового пояса (640 м над ур. м.) сообщества горных редколесий чередуются с горными высокотравными лугами. Опорный разрез был заложен в экотопе, занятом таволговой луговиной. Для сообщества характерно наличие кустарников с проективным покрытием до 30%. Преобладает *Salix lanata*. Облик травяно-кустарничкового яруса определяют *Calamagrostis purpurea* и *Filipendula ulmaria*. Заметным обилием отличается *Geranium albiflorum*. Формирующиеся в этих условия почвы литоземы серогумусовые диагностируются по наличию в верхней части профиля серогумусового одернованного горизонт AY (3-5 см), постепенно переходящего в плотную породу. От литоземов серогумусовых, формирующихся ниже по склону в березовых редколесьях, отличаются меньшей мощностью почвенного профиля (10-15 см). Физико-химические свойства отражают характерные черты сходства.

В горно-тундровом поясе (650-830 м над ур. м.) почвы часто не образуют сплошного покрова, встречаются фрагментарно среди каменистых россыпей и останцов. Вследствие контрастности экологических условий наблюдается значительная пестрота почвенного покрова, характеризующейся большой комплексностью и неоднородностью. В условиях платообразных вершин горных хребтов под кустарничково-цетрариевыми сообществами с доминированием *Empetrum hermaphroditum* и *Cetraria islandica* развиты глееземы криогенно-ожелезненные (пятна вымораживания мелкоземисто-щебнистого материала без растительности занимают 20-30%). Строение профиля: O (0-5 см) – Gg (5-17 см) – Gcf (17-25 см) – CG (25-40 см). На участках, занятых луговиково-лишайниковыми сообществами, (преобладает *Avenella flexuosa* на фоне лишайников из рода Cladonia) при близком подстилании (20-25 см) коренными породами формируются дерново-подбуры оподзоленные. O (0-4 см) – AYe (4-10 см) –BF (10-20 см) – C (20-25 см). В переувлажненных условиях пологих склонов и понижений вследствие застаивания атмосферных осадков и подтока внутрипочвенных вод под осоково-разнотравно-луговиково-мохово-лишайниковыми сообществами формируются дерново-подбуры глеевые AY (0-7 см) – BHFg (7-20 см) – BCg (20-50 см). На более крутых участках склонов (10-12°) с ерниково-лишайниковой растительностью (*Betula nana* на фоне *Cetraria islandica*, *Cladonia rangiferina* и др.) формируются подбуры иллювиально-гумусовые, O (0-5 см) – BH (5-15 см) – BC (15-50 см).

Рассматриваемые почвы характеризуются близкими физико-химическими свойствами. Для органогенных горизонтов характерны сильнокислая реакция с некоторым уменьшением кислотности в минеральных горизонтах. Почвы ненасыщенны основаниями, характеризуются регрессивно-аккумулятивным характером распределения углерода, высокими значениями отношений углерода к азоту.

Таким образом, условия почвообразования в пределах исследуемого экотона «лес–горная тундра» хребта Кычил-Из отличаются значительной пространственной неоднородностью и пестротой.

Морфологическая дифференциация исследуемых профилей почв во многом обусловлена литолого-геоморфологическими условиями, определяющими их развитие на щебнистом элюводелювии преимущественно кислых кристаллических сланцев и влиянием растительного покрова, в значительной степени определяющим характер верхних горизонтов почв.

Согласно новой «Классификации и диагностике почв России», было выявлено шесть типов почв, относящихся к трем отделам:

– тип подзол иллювиально-железистый;

– тип дерново-подзол глеевый иллювиально-железистый;

– тип литозем серогумусовый (в том числе глееватый);

– тип глеезем ожелезненный;

– тип дерново-подбур оподзоленный иллювиально-гумусовый;

– тип дерново-подбур глеевый иллювиально-гумусовый.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, № 11-04-0088 и программы ОБН РАН, проект № 12-Т-4-1006.

Литература

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

Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. С. 32-47.

Дубровский Ю.А., Дегтева С.В., Жангуров Е.В. и др. Высотный градиент и разнообразие основных компонентов охраняемых экосистем Северного Урала // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2010. № 4 (150). С. 8-11.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности. Уфа: Гилем, 1998. 413 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

М.О. Иноземцева
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН
E-mail: *inomaria@mail.ru*

На протяжении последних десятилетий широко обсуждается проблема глобального изменения климата. Исследования последних лет и моделирование климатических процессов показали, что в результате изменения климата изменится экологическая продуктивность и биоразнообразие, увеличится опасность исчезновения некоторых уязвимых видов. Как ожидается, произойдет существенное нарастание случаев нарушений функционирования экосистем (Моисеев, Алябина, 2007).

Особое значение эти воздействия будут иметь для высоких и средних широт Северного полушария. Здесь глобальное потепление проявится особенно сильно: по расчетам, температура атмосферы наиболее значительно повысится именно в высоких и средних широтах. Кроме того, природа высоких широт особенно восприимчива к различным воздействиям и крайне медленно восстанавливается (Мочалов и др., 1999).

Оценить значимость воздействий и происходящих изменений для природы и общества можно, прежде всего, по реакции естественных сообществ и экосистем, проявляющейся в изменении их структурных и функциональных характеристик. Данные о сроках наступления сезонных явлений в природе позволяют напрямую оценивать связь их изменений с потеплением (похолоданием) климата в регионе или с активизацией антропогенной деятельности, с изменяющимися условиями существования биологических сообществ и организмов (Минин, 2005).

В свете вышесказанного для наблюдения и анализа происходящих изменений в растительном мире и для прогнозирования последствий необходима организация международной сети стационарных пунктов наблюдений.

Принцип выбора местоположения пунктов должен базироваться на зонировании по градиенту метеоусловий, географической широте, градиенту антропогенного воздействия и высоте над уровнем моря. Основными анализируемыми функциями будут являться фенологические ритмы, процесс перезимовки и устойчивость растительных организмов.

Принципы выбора объектов исследования основываются на хозяйственной ценности, однородности генетического материала, разнообразии жизненных форм и по степени адаптированности к северным условиям.

Образцы, отвечающие этим параметрам, имеются в коллекциях интродуцентов Полярно-аль-

пийского ботанического сада-института Кольского НЦ РАН. Коллекционные фонды ПАБСИ представлены питомниками и экспозициями открытого грунта, занимающие общую площадь 10.63 га, из которых:

– древесных интродуцентов – 5.9 га,
– травянистых интродуцентов – 1.1 га,
– растений Мурманской области – 2.7 га,
– прочие – 0.74 га.

Коллекции открытого грунта содержат:

– семь экспозиций древесных интродуцентов – 913 образцов (450 таксонов, 405 видов, 70 родов, 30 семейств);

– семь экспозиций травянистых растений – 2795 образцов (1383 таксонов, 1254 вида, 276 родов, 54 семейства);

– три экспозиции растений аборигенной флоры – 1367 образцов (412 таксонов, 405 видов, 203 рода, 65 семейств);

– две тематических экспозиции («Алтайская флора» – 61 образец (28 видов древесных интродуцентов, 23 рода, 13 семейств; 33 вида травянистых многолетников, 15 родов, два семейства), Восточный интродукционный пункт на базе биогеосферного стационара «Варзуга» – 148 образцов древесных интродуцентов (95 таксонов, 29 родов, 13 семейств), 63 образца травянистых многолетних растений (46 видов).

В ходе первого этапа создания сети наблюдения ПАБСИ были заложены экспериментальные площадки в широтном разрезе от 69 до 55° с.ш.: пос. Печенга, г. Мурманск, г. Апатиты, с. Варзуга Терского р-на, г. Кемь Республики Карелия, Холмогорский р-н Архангельской области, с. Интерпоселок Республики Карелия, с. Тервеничи Ленинградской обл., г. Москва, с. Дивеево Нижегородской области. Из коллекций ботанического сада были отобраны девять видов наиболее перспективных в хозяйственном отношении древесно-кустарниковых и четыре травянистых интродуцентов, адаптированных к экстремальным условиям Кольского Заполярья; в дальнейшем генетически однородный материал был посажен на указанных экспериментальных площадках в течение вегетационных сезонов 2005-2006 гг.

Из древесно-кустарниковых растений объектами исследования были отобраны представители родов Lonicera (*L. involucrata*, *L. nigra*, *L. tatarica*), Rosa (*R. davurica*, *R. majalis*, *R.* sp. (*hybrida*), Padus (*P. avium*, *P. avium f. "colorata"*, *P. maakii*). Из травянистых – *Bergenia crassifolia*, *Rhodiola rosea*, *Allium ursinum*, *Arnica montana*.

С организациями, на территориях которых расположены пробные площадки, были заключены договоры о сотрудничестве на некоммерческой основе, для работников организованы краткосрочные курсы по обучению основам садоводства, ухода за растениями, проведения фенологических и метеорологических наблюдений, сбора и фиксации растительного материала.

По предварительным результатам выявлено, что в 50% случаев при переселении деревьев и кустарников северного происхождения в более южные районы морфометрические показатели листовой пластинки достоверно увеличиваются в результате возрастания суммы положительных температур, температуры самого теплого месяца и суммы количества осадков.

Кроме того, в 2009 г. заложены пробные площадки в градиенте техногенного загрязнения (ОАО «Североникель», Мурманская область, Мончегорский р-н). Объектами данной части работы были выбраны 20-50-летние растения гибридных форм *Betula pendula* × *Betula pubescense*.

В 2009-2011 гг. проводились предварительные исследования процесса перезимовки и устойчивости растений берез в градиенте техногенного воздействия.

Установлено, что в условиях техногенного воздействия у растений берез нарушается связь зимостойкости с формированием глубокого покоя в холодное время года. При этом зимостойкость обеспечивается менее надежным механизмом, связанным с повышенным уровнем энергообмена и метаболизма.

Мы считаем, что в целях долгосрочного и достоверного прогноза необходимо:

– создать эффективно действующую, разветвленную сеть мониторинговых площадей на территории Кольского п-ова, Республики Карелии, Архангельской области, Республики Коми и других северных регионов, привлекая к участию зарубежные страны с учетом вышеуказанных принципов выбора расположения;

– провести интродукцию хозяйственно ценных и генетически однородных растений на мониторинговые площадки;

– обеспечить регулярные долговременные фенологические и метеорологические наблюдения, а также физиологические исследования интродуцентов и местных растений на площадках. В этих целях необходима унификация методов наблюдений (Булыгин, Тавровский, 1982);

– провести анализ полученных данных с созданием баз данных и составлением прогностических сценариев изменений устойчивости и продуктивности растений в условиях глобальных изменений климата.

Литература

Булыгин Н.Е., Тавровский В.А. Фенологические наблюдения (организация, проведение, обработка). Унифицированное руководство для добровольной фенологической сети. Л.: Наука, 1982. 223 с.

Минин А.А. Перспективы фенологического экомониторинга Библиофонд научной и студенческой информации [Электронный ресурс]. http://www.bibliofond.ru.

Моисеев Б.Н., Алябина И.О. Оценка и картографирование составляющих углеродного и азотного балансов в основных биомах России // Известия РАН. Серия географическая, 2007. № 5. С. 1-12

Мочалов А.А., Пархоменко В.П., Тарко А.М. Глобальное потепление и арктика // Экология и жизнь, 1999. № 4.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ И ПОДСТИЛАЮЩИХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Д.А. Каверин, А.В. Пастухов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: dkav@mail.ru

Торфяные поверхности без растительного покрова достаточно широко распространены в пределах европейского Северо-Востока и приурочены исключительно к торфяным почвам, формирующимся на плоско- и крупнобугристых торфяниках. Лишенные растительности участки на торфяниках исследователи зачастую относят к категории пятен (или площадей) пучения, генезис которых объясняется процессами криотурбаций (Walker et al., 2008).

Нами исследовано морфологическое строение и гидротермические свойства поверхностно-преобразованных торфяных мерзлотных почв и подстилающих многолетнемерзлых горизонтов, приуроченных к участками торфяников без растительного покрова. Оценено влияние ландшафтных факторов на формирование торфяных пятен, лишенных растительного покрова. Актуальность исследования данных почв характеризуется их повышенной эмиссией N_2O в атмосферу (Repo et al., 2009).

Исследования проведены в пределах торфяного плато, находящегося в древней озерной котловине, осложененной термокарстовыми образованиями и аллювиальными террасами (бассейн р. Седъяха, 7 км к западу от железнодорожной станции Сейда). В пределах торфяного плато преобладают два основных типа почв: (сухо-)торфяные мерзлотные бугров и болотные верховые торфяные мерзлотные в мочажинах. Почвы открытых торфяных пятен не имеют специфического названия, однако по морфологическому строению относятся к типу сухоторфяных мерзлотных почв. Торфяные мерзлотные почвы исследуемых пятен характеризуются сливающейся мерзлотой (сезонная-многолетняя) в пределах почвенного профиля. Общая площадь «голых» пятен на участке исследования составила 45 097 м^2, или 7.6% площади торфяного плато.

Исследования показали, что криотурбационные процессы в этих образованиях проявляются лишь в поверхностных горизонтах (0-10 см) исследуемых почв. Нижележащие сезонно-талые и многолетнемерзлые горизонты характеризуются слоистым сложением без признаков турбаций. Это говорит в пользу полигенетичности данных торфяных пятен.

Исследование морфологии поверхности пятен и изучение спутниковых снимков показало, что для участка 1 с более ровным рельефом характерно преобладание пятен с поверхностным криотурбированным горизонтом, сложенным хорошо разложившимся торфом черного цвета (так называемые «черные» пятна). На участке 2 преобладают так называемые «коричневые» пятна, характеризующиеся поверхностным нетурбированным горизонтом из среднеразложившегося торфа коричневого цвета (рис. 1а, б).

Исследование криогенного строения сезонно-мерзлого слоя в целом показало сходный план с таковым торфяных мерзлотных почв под кустарничковой тундрой. В сезонно-мерзлом слое

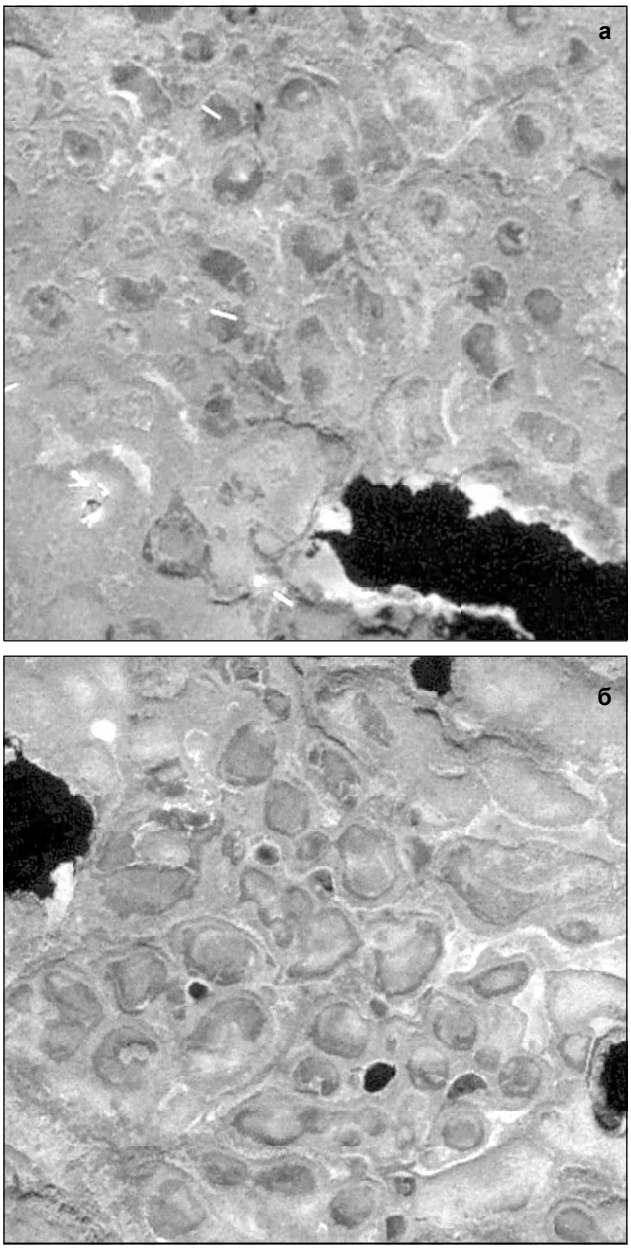


Рис. 1. Фрагменты спутниковых снимков Google для ключевых участков исследования (а – участок 1, б – участок 2).

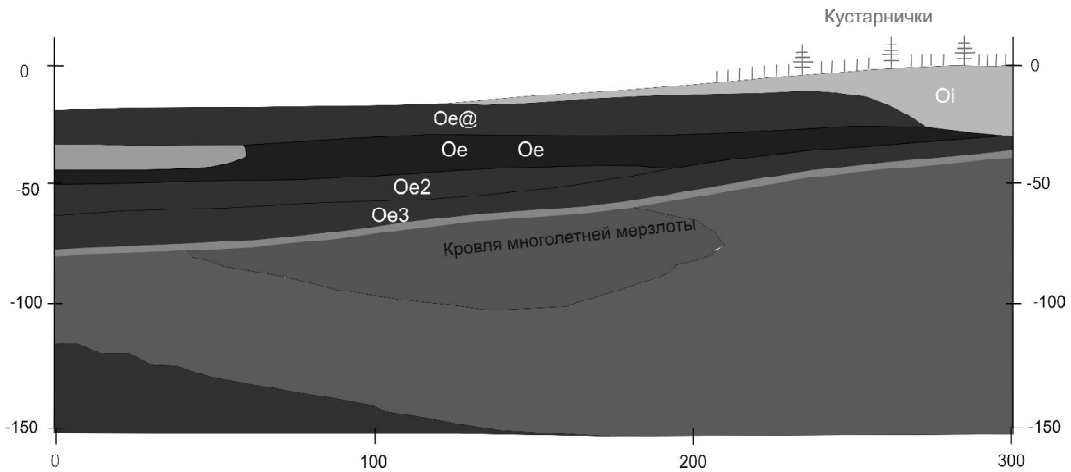


Рис. 2. Морфологическое строение почвенно-геокриологического комплекса (траншея 1-2010, участок 1).

встречаются преимущественно порфировидные, слоистые и массивные криогенные текстуры.

Тем не менее, при наличии поверхностно-турбированного горизонта мощностью до 10 см, в его пустотах часто обнаруживаются кристаллы и друзы льда. На ровной голой поверхности пятен часто формируется ледяная корка мощностью до 1 см, что нетипично для почв под мохово-кустарничковой тундрой на торфянике.

На рис. 2 показано незаросшее торфяное пятно с низким центром. Поверхностный турбированный горизонт состоит из хорошо разложившегося торфа черного цвета, глубина сезонной протайки в пятне на 10-20 см больше, чем под «целинной» растительностью торфяного плато. Нижележащие горизонты деятельного слоя и многолетнемерзлых пород характеризуются слоистым сложением и различной степенью разложенности. Признаки криотурбаций выявлены только в поверхностном горизонте.

В данном случае торфяное пятно занимает вершину бугра и оконтурено приподнятым «поясом», покрытым мохово-кустарничковой растительностью (рис. 3). Кровля многолетнемерзлых пород в определенной мере повторяет неровности рельефа. Поверхностный горизонт имеет признаки турбаций, на поверхности почвы хорошо различима полигональность.

На рис. 4 показан разрез почвенно-мерзлотного комплекса под торфяным пятном, сформированном на вершине бугра. Пятно также оконтурено приподнятым, но слабовыраженным «поясом», покрытым мохово-кустарничковой растительностью. Многолетнемерзлые горизонты, вскрытые до глубины 2.5 м, характеризуются наличием сильнольдистых горизонтов на глубинах 2 м и ниже, которые, очевидно, и формируют тело гидролакколита.

Сравнение глубины сезонной протайки и мощности снежного покрова выявило только общие различия между участками. Участок 1 характеризуется средней глубиной СТС 52 см при мощности снега 30 см, второй участок 43 и 19 см соответственно. Более мощный снежный покров на участке 1 обусловливает относительно теплый зимний режим формирующихся здесь почв (табл. 1). Почвы пятен на участке 2 с меньшей мощностью снега, характеризуются более суровым температурным режимом (табл. 2).

Содержание влаги в ММП (многолетнемерзлых породах) превышает таковое в деятельном в несколько раз. ММП, подстилающие пятна, обычно характеризуются повышенной льдистостью по сравнению с примыкающими вегетированными участками.

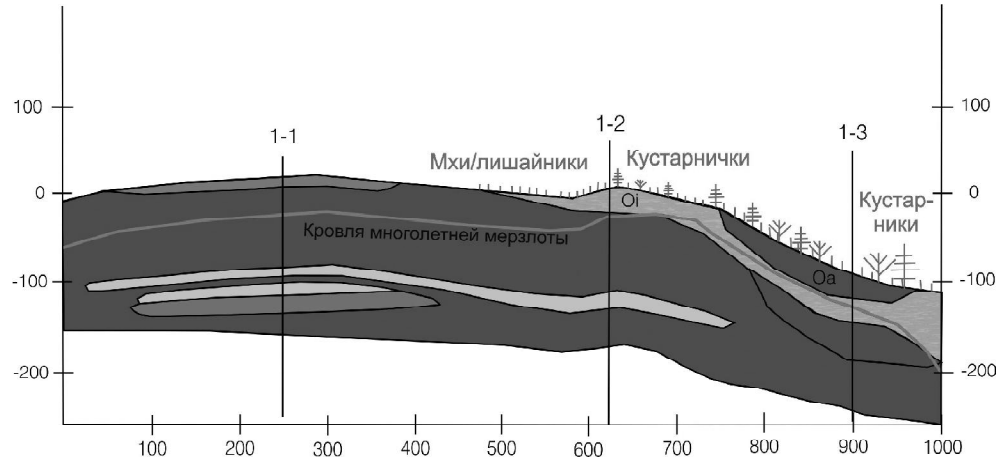


Рис. 3. Морфологическое строение почвенно-геокриологического комплекса (траншея 1-2011, участок 2).

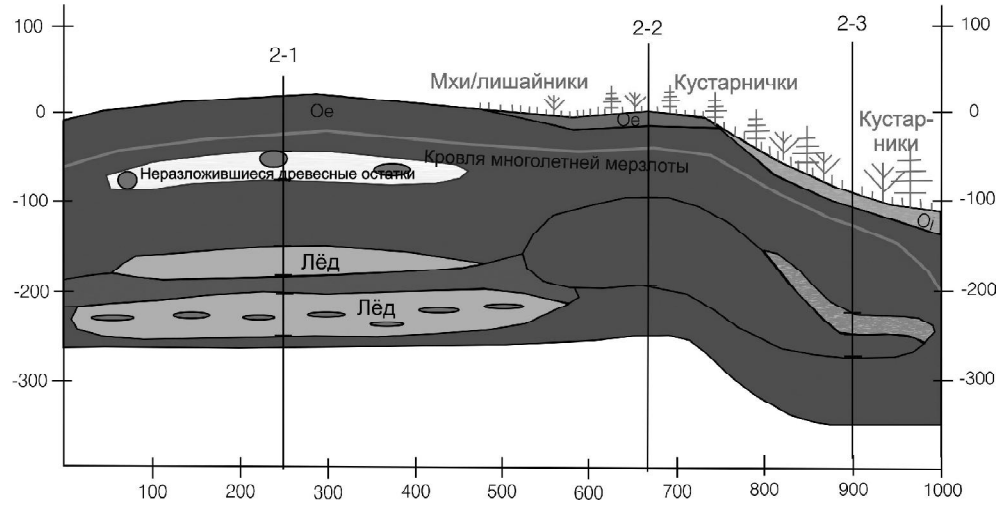


Рис.4. Морфологическое строение почвенно-геокриологического комплекса (траншея 2-2011).

Таблица 1

Среднегодовые температуры в сезонно-талом и многолетнемерзлом слое сухоторфянистой мерзлотной почвы под кустарничковой тундрой (участок 2)

Гидрологический год	Глубина, см					
	0	10	20	50	80	120
2007-2008	0.5	–0.1	–0.7	–1.0	–1.0	–1.0
2008-2009	–0.7	–0.8	–1.3	–1.5	–1.4	–1.3
2009-2010	–1.6	–1.4	–1.8	–2.0		
2010-2011	–1.2	–1.3	–1.7	–1.9		

Таблица 2

Среднегодовые температуры в сезонно-талом и многолетнемерзлом слое сухоторфянистой мерзлотной почвы пятна (участок 2)

Гидрологический год	Глубина, см				
	0	20	50	80	120
2007-2008	–1.8	–2.3	–2.7	–2.5	–2.3
2008-2009	–2.9	–3.1	–3.4	–3.1	–2.9
2009-2010	–4.6	–4.4	–4.6	–4.4	–4.1
2010-2011	–2.0	–2.2	–2.8	–2.6	–2.7

На наиболее высоких торфяных буграх пятна часто формируются на наветренных южных и юго-западных склонах. Зимой значительное охлаждение этих склонов наряду с ветровой эрозией способствует деградации мохово-кустарничковой растительности. Это, возможно, является одним из пусковых механизмов формирования пятен.

Определенный вклад в формирование торфяных пятен вносит активизация криогенных процессов в верхней части сезонно-талого слоя почвы. Температурный режим торфяных почв, сформированных под растительностью и открытыми пятнами, различается преимущественно в летний период. Летом пятна лучше нагреваются и протаивают в связи с низким альбедо темной поверхности торфа. Зимой ведущим фактором становится мощность снежного покрова.

В разрезе почвенно-геокриологического комплекса общий план строения исследуемых почв пятен сходен с таковым сухоторфяных мерзлотных почв под мохово-кустарничковой тундрой.

Литература

Repo M.E., Susiluoto S., Lind S.E. et al. Large N_2O emissions from cryoturbated peat soil in tundra // Nature Geosci., 2009. Vol. 2. P. 189-192.

Walker D.A., Epstein H.E., Romanovsky V.E. et al. Arctic patterned-ground ecosystems: A synthesis of field studies and models along a North American Arctic Transect, 2008. Vol. 113: P. G3.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ В ПОСТАГРОГЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ

В.А. Ковалева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

В настоящее время происходит резкое снижение площади освоенных земель по всей России (Почвы и земельные..., 2002). В почвах земель, выведенных из сельскохозяйственного использования, изменяются ход и темпы физических, химических и биологических процессов, которые обуславливают общую направленность процесса самовосстановления. Диагностирование многочисленных процессов в почве, включая самовосстановление, наиболее четко осуществляется по микробиологическим показателям, позволяющим выявить изменения на

самых первых этапах. Микроорганизмы являются компонентом экосистемы, определяющим вместе с растительностью направление и интенсивность биологического оборота органического вещества – главного механизма, функционально связывающего компоненты экосистемы и стабилизирующего ее состояние. Изучение механизмов самовосстановления почв постагрогенных экосистем имеет как самостоятельное научное значение, так и определенный практический интерес, связанный с прогнозом их развития (Сазанов и др., 2005).

В тундровой зоне Республики Коми комплексные исследования сельскохозяйственного освоения земель ведутся более полувека, однако закономерности процесса трансформации почвенной микробиоты после прекращения использования агроэкосистем изучены недостаточно.

Исследования проводили летом 2011 г. на территории юго-восточной части Большеземельской тундры, в районе г. Воркута. Для изучения микробиоты были отобраны почвенные монолиты в ненарушенной тундровой экосистеме («Участок 1») и на многолетнем сеяном лугу («Участок 2»). Изучение растительного покрова с учетом микрорельефа, агрохимический и микробиологический анализы почвенных образцов проводили общепринятыми методами.

«Участок 1» представляет собой целинный (ненарушенный) ерниково-ивняково-моховый биогеоценоз, характерный для равнинных водораздельных территорий тундровой зоны. В растительном сообществе ведущую роль играют следующие виды: *Salix lapponum* L., *S. phylicifolia* L., *Betula nana* L. Доминантами в напочвенном покрове являются группы зеленых и политриховых мхов (*Hylocomium splendens, Pleurozium schreberi, Polytrichum commune*). Моховой покров на участке наблюдений сплошной, мощный, именно мхи вносят основной вклад в наземную фитомассу.

В целинной торфянисто-поверхностно-глеевой почве содержание основных элементов-биогенов максимально в маломощном органогенном горизонте A0A1: $C_{орг}$ – 13.7%; N – 12.3 мг/100 г в.с.п и резко уменьшается в минеральном Gtx: 4.02 и 7.6 соответственно.

«Участок 2» – многолетний сеяный луг, выведенный из сельскохозяйственного использования. В 1955 г. здесь было проведено освоение ерниково-моховой тундры: распашка и высев овса. В 1958 г. были высеяны многолетние травы *Alopecurus pratensis* L. и *Poa pratensis* L. Каждый год вносились определенные дозы удобрений, и проводилось сенокошение. С 1997 г. внесение удобрений и сенокошение прекратились. Сеяный луг перешел в стадию трансформации агроэкосистемы (Экологические принципы..., 2009).

К 2011 г. изменилось соотношение видов травянистых растений: по фону мятлика и лисохвоста образуются крупные синузии внедрившихся видов с господством разнотравья. В травостой внедряются виды тундровой флоры (горец живородящий, камнеломка поникающая и ива филиколистная), но в условиях агроэкосистемы они не обладают заметной конкурентной способностью, поэтому присутствуют лишь единично.

Изменение растительного сообщества обуславливает преобразование почвы. Поскольку коренной смены растительности на сеяном лугу пока не происходит, почва постагрогенной экосистемы сохраняет морфологическое строение, сформировавшееся в предшествующий период развития сеяного луга. Почвенный профиль разделяется на освоенный и минеральный слои. Максимальное содержание биогенных элементов в органогенном горизонте Адер: $C_{орг}$ – 23.7%; N – 31.6 мг/100 г в.с.п, которое снижается в гумусово-аккумулятивном горизонте A1 до 6.4 и 7.2 и минеральном горизонте Bg – 2.6 и 2.9 соответственно.

Известно, что весь биологический комплекс тундровых почв сосредоточен у самой ее поверхности и характеризуется замкнутостью биологического круговорота веществ в органогенно-аккумулятивном плодородном слое. Именно в нем сосредоточена подавляющая масса корней и почвенных микроорганизмов, взаимодействующих в ризосфере растений.

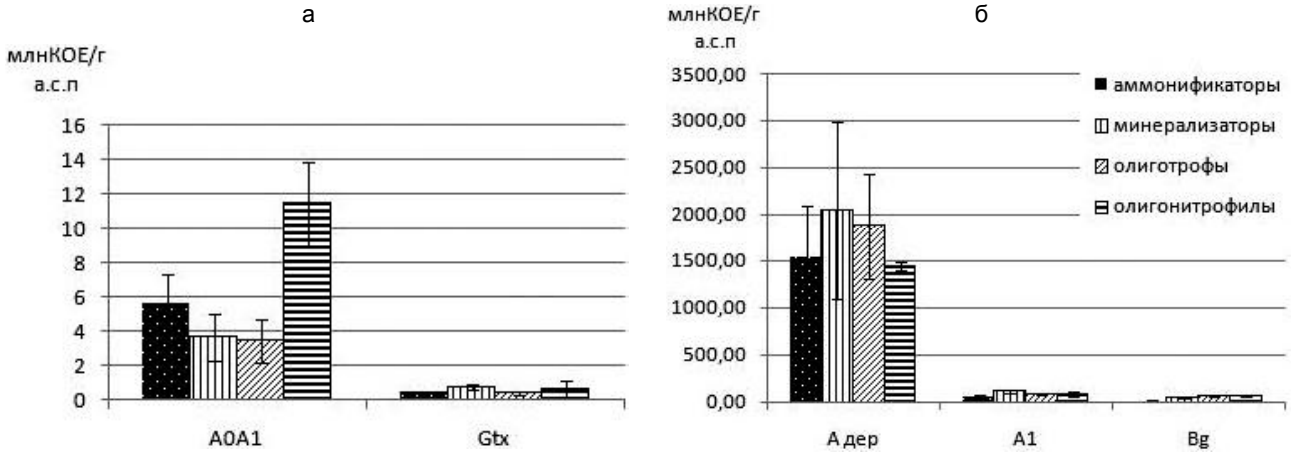
Содержание биомассы микроорганизмов в органогенном горизонте целинной почвы достигает 0.41 мг/г. В минеральных горизонтах происходит резкое снижение биомассы почвенных микроорганизмов до 0.02 мг/г (см. таблицу).

Основу микробного пула составляют микромицеты. В органогенном горизонте доля грибного мицелия в общей биомассе микроорганизмов составляет 85%. В минеральном слое мицелий практически не распространен, однако основу микробного пула составляют споры грибов. Высокая доля спор в морфологической структуре микромицетов свидетельствует о неблагоприятных условиях развития мицелия в минеральном горизонте.

В почве сеяного луга биомасса микроорганизмов в органогенном слое – 0.29 мг/г и снижает-

Биомасса микроорганизмов в исследуемых почвах, мг/г (под чертой – %)

Горизонт	Бактерии	Грибы		Всего
		мицелий	споры	
	Ивняково-ерниковая тундра			
$A0A1_{криог}$	0.002 / 0.5	0.35 / 85	0.06 / 14.5	0.41 / 100
Gtx	0.001 / 3	0 / 0	0.02 / 97	0.02 / 100
	Многолетний сеяный луг			
Адер	0.007 / 2.4	0.27 / 96.4	0.01 / 1.2	0.29 / 100
A1	0.001 / 2	0.04 / 87	0.005 / 11	0.046 / 100
Bg	0.0003 / 4.8	0.003 / 47.6	0.003 / 47.6	0.0063 / 100



Характеристика ЭКТГМ в почвах: а – ненарушенной экосистемы; б – постагрогенной экосистемы.

ся с глубиной, при этом доля бактерий меньше доли грибов в общем микробном пуле во всех горизонтах почвы.

Анализ видового состава почвенных микромицетов в органогенном горизонте почвы ненарушенной экосистемы показал, что наибольшее количество среди выделенных видов приходится на несовершенные грибы: *Geomyces pannorum* (Link) Hugkes., *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) de Vries., *Cl. herbarum* (Pers.) Link ex Fries., *Paecilomyces inflatus* (Burnside) J.W. Carmich., *Penicillium camemberti* Thom., *P. lanosum* Westl. и виды отдела *Zygomycota*: *Mortierella alpina* Peyronel., *M. verticillata* Linnem., *Umbelopsis ramanniana* (Mцller) W. Gams., *U. vinacea* (Dixon-Stew.) Arx.; а также *Mycelia sterilia* (с/о).

В органогенном горизонте почвы постагрогенной экосистемы среди доминирующих видов наряду с типичными тундровыми видами микромицетов *Geomyces pannorum, Cladosporium herbarum, Penicillium lanosum, Mycelia sterilia* (с/о) появляются новые нехарактерные для целинной почвы тундры виды – *Fusarium oxysporum* Schltdl, *Trichoderma koningii* Oudemans; виды рода *Mucor* (*Mucor globosum* Fres., *M. hiemalis* Wehmer., *M. plumbeus* Bon., *M. racemosus* A. Fisher) – типичные представители освоенных почв, а также активные целлюлозолитики рода *Chaetomium* (*Chaetomium globosum* Kunze et Fr., *Ch. spirale* Zopf). Часто встречающиеся виды в целинных экосистемах тундры – *Mortierella alpina, M. verticillata, Umbelopsis ramanniana, U. vinacea, Paecilomyces inflatus, Penicillium lanosum, P. camemberti* в освоенной почве встречаются редко или исчезают.

Результаты исследования численности и структуры микробных комплексов подтверждают (см. рисунок), что наибольшее количество всех эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) сосредоточено в органогенных горизонтах исследуемых почв.

Основной трофической группой микроорганизмов в почве целинной тундровой экосистемы являются олигонитрофилы, что свидетельствует о низком содержании питательных веществ микроорганизмов.

В почве постагрогенной экосистемы распределение микроорганизмов по профилю имеет ту же закономерность, что и в почве ненарушенной экосистемы. Однако численность всех эколого-трофических групп микроорганизмов в органогенном горизонте почвы сеяного луга в сотни раз выше, чем в таком же горизонте почвы ненарушенной тундровой экосистемы. В органогенном горизонте почвы постагрогенной экосистемы численность аммонификаторов сокращается, олиготрофов и олигонитрофилов – увеличивается, что связано с ухудшением агрорежима после прекращения эксплуатации сеяного луга.

Таким образом, исходя из всех полученных характеристик структуры микробного комплекса, можно сделать общий вывод – бактериально-грибной комплекс микробиоты постагрогенной экосистемы принимает некоторые признаки микробного комлекса ненарушенной тундровой почвы, однако эти изменения не достигли той критической величины, при которой происходит смена типа микробного комплекса. Накопление количественных и качественных изменений происходит в органогенном слое, а точнее в ризосфере растений, как динамичной системе, реагирующей на любые изменения, происходящие в постагрогенной экосистеме. Произошедшие изменения растительности и микробиоты существенно не отразились на строении луговой почвы, так как почва – более консервативный компонент экосистемы.

Литература

Почвы и земельные ресурсы России // Перспективы развития почвенной биологии. М.: Макс Пресс, 2001. С. 10-21.

Сазанов С.Н., Манучарова Н.А., Горленко М.В., Умаров М.М. Естественное восстановление микробиологических свойств дерново-подзолистой почвы в условиях залежи // Почвоведение, 2005. № 5. С. 575-580.

Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере. Сыктывкар, 2009. 176 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЫ НА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ СЕВЕРА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРИЕМОВ «ПРИРОДОВОССТАНОВЛЕНИЯ»

В.А. Ковалева, И.А. Лиханова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: *likhanova@ib.komisc.ru*

Увеличение объемов добычи полезных ископаемых в Республике Коми – причина возрастания площади нарушенных земель. Климатические условия Севера обуславливают определенные черты в строении почв природных экосистем, резком разделении профиля почвы на маломощный биогенно-аккумулятивный слой и бедный элементами питания минеральный. Такое строение почвы является, с одной стороны, приспособлением биотической компоненты природных экосистем к суровым условиям Севера, с другой – усиливает их уязвимость к техногенным (антропогенным) воздействиям, при которых разрушается плодородный слой и обнажается минеральный, непригодный для самовосстановления растительного сообщества. С учетом отмеченного разработана система приемов «природовосстановления», включающая два этапа (Арчегова, 1998). На первом, «интенсивном», с помощью комплекса агротехнических приемов (внесения удобрений и посева многолетних трав, адаптированных к условиям Севера) в короткие сроки (3-5 лет) восстанавливается уничтоженный биогенно-аккумулятивный слой, который является основой биологического оборота органического (растительного) вещества и обеспечивает самовосстановление экосистемы зонального типа на Севере на втором, «ассимиляционном», этапе (Лиханова и др., 2006). В связи с отмеченным важным является изучение процесса преобразования постехногенного субстрата в результате развития напочвенного покрова на первом этапе системы «природовосстановления».

Опыт заложен в 2006 г. на территории песчаного карьера Усинского нефтяного месторождения (подзона крайнесеверной тайги). Разработка карьера прекращена 28 лет назад, самовосстановление растительности практически отсутствует. Субстрат карьера характеризуется содержанием органического углерода ($C_{орг.}$) – 0.1-0.2%, гидролизуемого азота ($N_{гидр.}$) – 0.2-0.3 мг/100 г в.с.п. Варианты опыта показаны в табл. 1, повторность опыта трехкратная. В опыте использовали традиционный посадочный материал – двухлетние сеянцы сосны. В варианте № 1 удобрения не вносились. Агротехнические приемы улучшения субстрата в вариантах № 2 и 3 включали внесение удобрений и посев многолетних трав. В варианте № 2 на «интенсивном» этапе применялось комплексное минеральное удобрение на фоне органического, в варианте № 3 – только минеральное. Следующие четыре года в вариантах № 2 и 3 вносились только минеральные удобрения.

Описание растительного покрова проводили по общепринятым в геоботанике методикам. Для изучения процесса почвообразования были выполнены агрохимический и микробиологический анализы субстрата. При определении состава микроорганизмов ризосферы выделяли субстрат, легко отделяющийся от корней при встряхивании – «прикорневая» зона; субстрат, плотно прилегающий к корню – «корневая» зона, смыв с поверхности корня растения, а также субстрат, находящийся вне зоны влияния корней.

Несмотря на дополнения посадок на второй и третий годы опыта, к шестому году сохранность сосны остается низкой: в варианте № 1 – 38%, № 2 – 30 и в варианте 3 – 18%. Высота сосны в варианте № 1 равна 24.4±2.2 см, № 2 и 3 – 26.1±2.7 и 19.8±3.3 см соответственно.

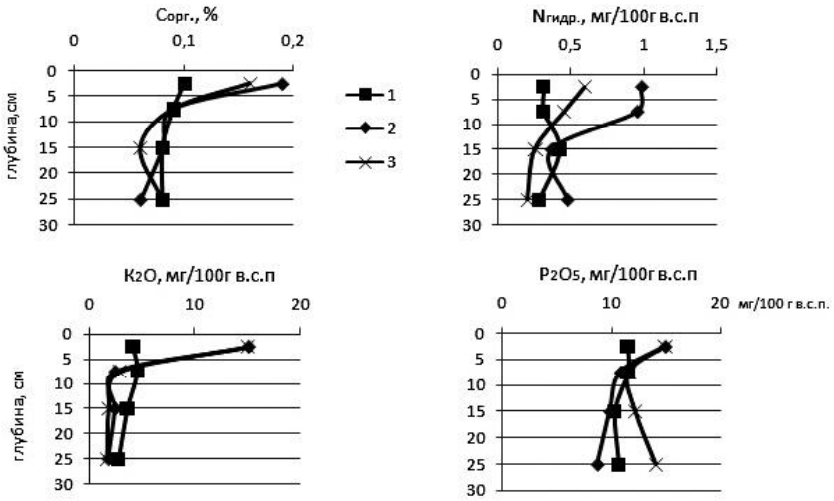
Формирование травянистого покрова является важнейшим показателем «интенсивного» этапа системы «природовосстановления». В ва-

Таблица 1

Характеристика объектов исследования – двухлетние сеянцы сосны (5 тыс. шт./га)

Вариант, №	Приемы на «интенсивном» этапе	Система ухода		
		Весенние подкормки	Осенние подкормки	Дополнение посадки
1	–	–	–	Весной на второй и третий годы
2	БИАК** – 5 т/га, N45P45K45, травосмесь* (20 кг/га)	Ежегодные в течение четырех лет (N45P45K45)	На второй (N45) и третий (N45P45K45) годы	Весной на второй и третий годы
3	N45P45K45, травосмесь* (20 кг/га)	Ежегодные в течение четырех лет (N45P45K45)	На второй (N45) и третий (N45P45K45) годы	Весной на второй и третий годы

Примечание. * состав травосмеси: *Festuca rubra, Poa pratensis, Bromopsis inermis, Phleum pretense, Festuca pratensis* (соотношение 1:1:1:1:1); ** БИАК – органическое удобрение, продукт биотехнологической переработки гидролизного лигнина.



Профильное распределение элементов-биогенов по вариантам (шестой год опыта).

рианте № 1 растительный покров практически отсутствует – ОПП менее 1%. В вариантах № 2 и 3 к шестому году ОПП травостоя достигало 80-90%, высота травостоя 30-40 см (генеративные побеги до 80 см). Активное развитие травяного покрова в вариантах № 2 и 3 обеспечило поступление биомассы растений на поверхность субстрата на шестой год около 300 г/м^2 в обоих вариантах опыта. Под травянистыми растениями развиваются пионерные виды мхов (*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Polytrichum piliferum* Hedw.) и начинается формирование подстилки.

Развитие травянистого покрова определило преобразование субстрата. В варианте № 1 изменений в морфологическом строении субстрата не выявлено. В вариантах № 2 и 3 под подстилкой выделяется уплотненный корнями растений одернованный слой мощностью около 5-7 см. Под ним бесструктурный рыхлый песчаный субстрат.

Агрохимический анализ почвенных образцов на шестой год опыта показал, что в варианте № 1 почти одинаковое содержание элементов-биогенов по всей толще песчаного субстрата, что свидетельствует о замедленности почвообразования (см. рисунок). В вариантах № 2 и 3 несмотря на прекращение внесения удобрений прослеживается четкое увеличение элементов-биогенов в одернованном слое почвы. Под ним их содержание снижается. Начинающееся накопление элементов-биогенов в верхнем слое указывает на начало формирования биогенно-аккумулятивного слоя.

Накоплению органического вещества в субстрате способствует взаимодействие растений и микробных сообществ в ризосфере.

В варианте № 1 на поверхности корня численность микроорганизмов всех эколого-трофических групп больше, чем в «корневой» и «прикорневой» зонах (примерно в 10 раз) и зоне вне корней (примерно в 100 раз) (табл. 2). Четко выраженный ризосферный эффект показывает, что в ризосфере сосны идет активный процесс поступления и трансформации органического вещества корневых выделений, проявляется начальный этап гумусообразования.

Сравнительный анализ численности и соотношения основных эколого-трофических групп микроорганизмов ризосферы сосны в варианте № 1 показал, что на поверхности корня основу микробного комплекса составляют аммонификаторы, минерализаторы и олиготрофы. По мере удаления от поверхности корней поступление питательных веществ снижается, что ведет к сокращению численности всех эколого-трофических групп. Невысокая численность педотрофов в ризосфере сосны является показателем низкого содержания в субстрате гумусовых веществ.

Таблица 2

Численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов

Наименование образца	Средние значения количества микроорганизмов в границах доверительного интервала (*P* = 0.95), млн. КОЕ/г. а.с.п				
	Аммонификаторы	Минерализаторы	Олиготрофы	Педотрофы	Олиго-нитрофилы
	Вариант № 1				
Смыв с корней сосны	32.7±7.0	31.6±8.7	32.2±7.4	13.7±2.5	25.2±4.0
«Корневая» и «прикорневая» зоны	2.6±0.5	5.4±0,6	4.9±2.0	2.6±0.6	4.3±0.9
Внекорневая зона	0.5±0.2	0.5±0.1	0.2±0.1	0.7±0.1	1.3±0.5
	Вариант № 2				
Смыв с корней сосны	2956.2±457.7	3677.0±530.8	2932.1±455.5	772.7±160.4	3038.3±801.1
Смыв с корней травянистых растений	1776.2±492.6	2383.2±501.4	1984.1±250.7	608.0±176.5	1569.4±195.7
«Корневая» зона	4.4±0.3	7.2±1.6	5.5±3.2	0.4±0.2	5.6±0.4
«Прикорневая» зона	0.8±0.6	6.4±1.6	6.6±0.5	0,6±0.3	5.8±2.3
Внекорневая зона	0.7±0.2	4.1±1.7	5.2±1.3	0.3±0.1	4.7±0.8

Изменение численности микроорганизмов и соотношения эколого-трофических групп в ризосфере сосны и травянистых растений варианта № 2 имеет ту же закономерность, что и в ризосфере сосны варианта № 1, но численность микроорганизмов на поверхности корней сосны и травянистых растений всех трофических групп в сотни раз выше.

Активизация процессов преобразования субстрата в ризосфере растений подтверждается данными агрохимического анализа, приведенными выше. Содержание всех элементов-биогенов в одернованном слое, который, по сути, представляет собой совокупность ризосфер растений, выше, чем в нижележащей минеральной толще, лишенной корней.

В результате проведенного исследования установлено, что в варианте № 1 при посадке сеянцев сосны без приемов улучшения субстрата формирование травянистого покрова и, как следствие, преобразование субстрата практически не происходит.

Применение двухэтапной схемы «природовосстановления» обеспечивает активизацию процесса почвообразования. На шестой год опыта в вариантах № 2 и 3 формируется одернованная почва, характеризующаяся накоплением элементов-биогенов в верхнем, насыщенном корнями слое.

В ризосфере растений отмечено значительное увеличение количества микроорганизмов и содержания элементов-биогенов по сравнению с субстратом, лишенном корней. Таким образом, комплекс микроорганизмов ризосферы растений активно участвует в первичном почвообразовании.

Литература

Арчегова И.Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере. Сыктывкар, 1998. 12 с. (Науч. докл. / Коми НЦ УрО РАН. Вып. 412).

Лиханова И.А., Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М. Восстановление лесных экосистем на техногенно нарушенных территориях Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 104 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ НАЗЕМНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ГРАДИЕНТЕ УДАЛЕНИЯ ОТ ЧЕРНОГО МОРЯ (ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА)

Д.И. Коробушкин
Институт проблем экологии и эволюции им А. Н. Северцова РАН
E-mail: dkorobushkin@yandex.ru

Использование ресурсов детритной пищевой цепи в значительной степени лимитировано пределами экосистемы – и насколько интенсивен обмен веществом между соседними экосистемами, не ясно. Такой латеральный перенос может быть заметен на границе контрастных сред, которые обуславливают различия изотопного состава их вещества (Polis et al., 1997).

Динамика пищевых сетей в приморских наземных местообитаниях обычно формируется под некоторым влиянием потоков энергии и вещества от моря. Наличие морских ресурсов часто приводит к изменениям в распределении населения беспозвоночных животных и влияет на животных всех трофических уровней, в том числе на сапрофагов, хищных беспозвоночных и позвоночных животных (Anderson, Polis, 1998; Colombini et al., 2011). Скопления водорослей на суше у границы с морем обычно обильно заселены специфическим комплексом видов, в состав которого из мезофауны входят энхетреиды, личинки мух, некоторые виды жуков, пауки и прочие животные, а также многочисленные на литорали бокоплавы рода Gammarus, различные виды моллюсков (Anderson, Polis, 1998).

Цель работы – оценить роль углерода, поступающего из морских экосистем, в энергетике прибрежных сообществ почвенных животных (мезофауна).

Отбор проб проводили летом 2009 г. в Краснодарском крае в окрестностях Утришской морской станции ИПЭЭ РАН.

Район исследования расположен в южной части п-ова Абрау между городами Анапа и Новороссийск. Территория относится к северо-кавказскому типу высотной поясности (новороссийский), неморальному (широколиственному) поясу (Сафронова и др., 1999). Для территории характерен субсредиземноморский климат (Иванов и др., 2000).

Пробы отбирали по двум трансектам от Черного моря. Для территории характерны голые галечниковые пляжи вблизи от моря, при небольшом удалении от воды галечниковые пляжи с авраамовым деревом (*Vitex agnus-castus*) и злаками (*Bromus sterilis*, *Hordeum leporinum*), далее, на расстоянии примерно 50 м от берега, начинается зона пушистодубово-грабинниковых (*Quercus pubescens*, *Carpinus orientalis*) лесов с ясенем, кустарниками *(Juniperum excelse*, *Cotinus coggigria*, *Paliurus spina-christi* и др.), злаками. В прибрежной зоне и у уреза воды скапливается довольно большое количество водорослей (*Enteromorpha intestinalis*, *Cystoseira barbata*, *Ulva rigida*). В пределах каждой трансекты выделяли по пять точек по удаленности от воды: первая – непосредственно в воде (0.5-2.0 м от берега), вторая – на литорали (до 5 м), тре-

тья – около 15 м от уреза, четвертая – 50 м и пятая – 100 м от уреза. Расстояние измеряли от точки максимального прилива. Сбор материала проводили вручную на площадках 3×3 м. Животных фиксировали при помощи 70%-ного спирта. На каждой точке отбирали также пробы опада растительности нескольких видов.

Собранных животных определяли по возможности до вида. Измерение соотношения стабильных изотопов провели на комплексе оборудования, состоящем из элементного анализатора Thermo Flash EA 1112 и изотопного масс-спектрометра Thermo Delta V Plus в ЦКП масс-спектрометрических исследований при ИПЭЭ РАН, г. Москва. Для калибровки оборудования использовали стандарты МАГАТЭ USGS40 и USGS41, в качестве лабораторного стандарта использовали ацетанилид (C_8H_9NO). Аналитическая ошибка определения $\delta^{15}N$ не превышала 0.3‰, $\delta^{13}C$ – 0.1‰. Изотопный состав азота и углерода выражали в тысячных долях отклонения от международного стандарта (δ, ‰):

$$\delta^{n}E = [(R_{проба} - R_{стандарт})/R_{стандарт}]\cdot 1000,$$

где E – элемент (N или C), n – масса более тяжелого и редкого изотопа и R – относительное обилие этого изотопа в анализируемой пробе или стандарте (Тиунов, 2007; Peterson, Fry, 1987). Для всех данных рассчитывали среднее и стандартную ошибку.

Для оценки доли «морского» углерода в тканях почвенных беспозвоночных использовали естественную разницу изотопного состава углерода ($\delta^{13}C$) тканей наземных хищников и представителей морских экосистем. Для расчета использовали простую модель смешивания (Тиунов, 2007):

$$доля\ B = (\delta^{13}C_{животное} - \delta^{13}C_{H})/(\delta^{13}C_{B} - \delta^{13}C_{H}),$$

где B представляет «водный углерод», $\delta^{13}C_B$ которого соответствует средней $\delta^{13}C$ водных животных, а ресурс H представляет «наземный углерод», $\delta^{13}C_H$ которого соответствует средней $\delta^{13}C$ наземных животных соответствующего таксона (например, пауки или сколопендры) из наиболее удаленной от воды точки.

Таксономический состав исследованных беспозвоночных. В пробах растительности, отобранных в море, были изучены водоросли цистозейра бородатая (*Cystoseira barbata*), энтероморфа кишечница (*Enteromorpha intestinalis*) и ульва жесткая (*Ulva rigida*). Из наземной растительности проанализирован опад дуба пушистого (*Quercus pubescens*), сосны Палласа (*Pinus pallasiana*), грабинника (*Carpinus orientalis*) и витекса священного (*Vitex agnus-castus*).

Среди морских животных были проанализированы преобладающие виды моллюсков *Mytilus galloprovincialis* и *Steromphala divaricata*, а также актинии *Actinia equina*, креветки *Athanas nitescens* и крабы *Pachygrapsus marmoratus*.

Среди наземных сапрофагов в пробах преобладали мокрицы (Oniscidea), которые были представлены четырьмя видами: *Armadilidium vulgare*, *Trachelipus razzautii*, *Armadillo officinalis*, *Chaetophiloscia hastata*. Среди хищных беспозвоночных преобладали пауки (Araneae) и губоногие многоножки (Chilopoda). Большинство представителей пауков относятся к семейству Salticidae, в частности, *Chalcoscirtus infimus*, *Heliophanus kochi*, *Sitticus damini*, много представителей семейства Araneidae – *Mangora acalypha*, *Neoscona adianta* и семейства Gnaphosidae, например, *Drassyllus crimeaensis*, *Gnaphosa jucunda* или *Trachyzelotes malkini*. Среди представителей губоногих стоит отметить большое количество кольчатых сколопендр (*Scolopendra cingulata*).

Результаты изотопного анализа. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$) растительного опада из биотопов, расположенных на разном расстоянии от моря, достоверных отличий не имел и в среднем равнялся –28.2‰ (SE = 0.4) (рис. 1). Наблюдались различия в изотопном составе азота ($\delta^{15}N$) между витексом священным (6.9±1.6‰) и остальным древесным опадом (–1.9±1.0‰). Изотопные подписи водорослей резко отличались от наземных растений как по $\delta^{13}C$ (от –12.5 до –22.0‰), так и по $\delta^{15}N$ (от 5.3 до 15.6 ‰).

По значениям $\delta^{13}C$ наземные животные достоверно отличались от представителей морской фауны (рис. 1): $\delta^{13}C$ наземных хищников и сапрофагов находятся в рамках от –25.4 до –20.6‰, за исключением мокриц (*Chaetophiloscia hastata*), отобранных на побережье (–18.8±0.2‰), и представителей Chironomidae (–16.5‰). В изотопной подписи морских животных был отмечен довольно большой разброс значений $\delta^{13}C$ (от –12.5 до –18.9‰), но в целом морские обитатели были значительно обогащены ^{13}C по отношению к наземным, что дает возможность различить представителей морской и наземной фауны по изотопному составу. У пауков, отобранных на расстоянии 5 м от берега, также были отмечены довольно высокие значения $\delta^{13}C$ (–20.4±0.7‰), далее при удалении от берега доля «морского» углерода в их тканях падает.

По значениям $\delta^{15}N$ четко выделялись трофические уровни в наземных экосистемах – наблюдалась тенденция к увеличению ^{15}N с повышением трофического уровня (рис. 1). Значения $\delta^{15}N$ хищных беспозвоночных были достоверно выше, чем у сапрофагов, например $\delta^{15}N$ мокриц (*Armadillo officinalis*, *Chaetophiloscia hastata* и др.), отобранных в 50 м от берега, составили в среднем 6.9±0.8‰, величина $\delta^{15}N$ пауков (*Hogna radiata*, *Thanatus vulgaris*, *Amaurobius pallidus* и пр.) в данном биотопе составила 8.3±0.5‰, у кольчатых сколопендр (*Scolopendra cingulata*) – 10.2±0.9‰. Схожая разница $\delta^{15}N$ в зависимости от трофического уровня животного отмечена во всех биотопах.

Доля «морского» углерода в тканях пауков, отобранных в 5 м от Черного моря, значитель-

но выше, чем у животных из более удаленных местообитаний (рис. 2), она составила от 42 до 97% (наибольшая доля отмечена у *Neoscona adianta*, *Gnaphosa jucunda*, *Nurscia albosignata*), исключение представляли пауки *Sitticus damini* (около 2% «морского» углерода). В 15 м от воды доля углерода морского происхождения в тканях пауков снижается и составляет в среднем от 20 до 30%, за исключением *Neoscona adianta* (69%). В 50 и 100 м от берега диета пауков состоит в основном из представителей наземных экосистем, доля «морского» углерода составляет около 4% для пауков, ведущих наземный образ жизни и около 18% для пауков-тенетников. В целом у пауков-тенетников (*Amaurobius pallidus*, *Neoscona adianta*, *Nurscia albosignata*) в рационе отмечается большая доля «водного» углерода, а *Neoscona adianta*, по-видимому, в прибрежной полосе питается исключительно добычей, непосредственно связанной с морем. У сколопендр доля «морского» углерода была близка к нулю вне зависимости от удаления от моря.

Известно, что морские системы существенно обогащены ^{13}C и ^{15}N по сравнению с наземными (Peterson, Fry, 1987). Это позволяет использовать изотопный состав углерода (соотношение $^{13}C/^{12}C$) для идентификации «морского» углерода, поступающего в наземные пищевые сети. Изотопный состав азота менее удобен в этом отношении, поскольку он изменяется в зависимости от трофического уровня. Трофическое обогащение тяжелыми изотопами азота на один трофический уровень обычно оценивается в 2.0-3.5‰ (Ponsard, Arditi, 2000; Тиунов, 2007), что подтверждается и нашими данными. В наземных экосистемах исследуемой территории по $\delta^{15}N$ четко выделяются две основные группы животных – хищники и сапрофаги.

У пауков, обитающих в прибрежной зоне, значения $\delta^{13}C$ были достоверно выше, чем у других наземных животных изучаемой территории. Это, очевидно, связано с тем, что среди пауков имеются виды, специализирующиеся на ловле добычи «водного происхождения» в приливной зоне (Paetzold et al., 2008). Доля «морского» углерода выше у пауков-тенетников, чем у остальных хищных беспозвоночных и «водный сигнал» прослеживается дальше от уреза воды. Это связано, по-видимому, с тем, что значительную долю их рациона составляют двукрылые, личинки которых развиваются в скоплениях водорослей, значительно «утяжеленных» ^{13}C (рис. 1) (Гонгальский и др., 2006).

Представители других исследованных групп почвенного населения показали весьма небольшую зависимость от ресурсов морского происхождения, даже в прибрежной зоне. Например, изотопный состав мокриц практически не отличается на расстоянии 15 и 100 м от моря.

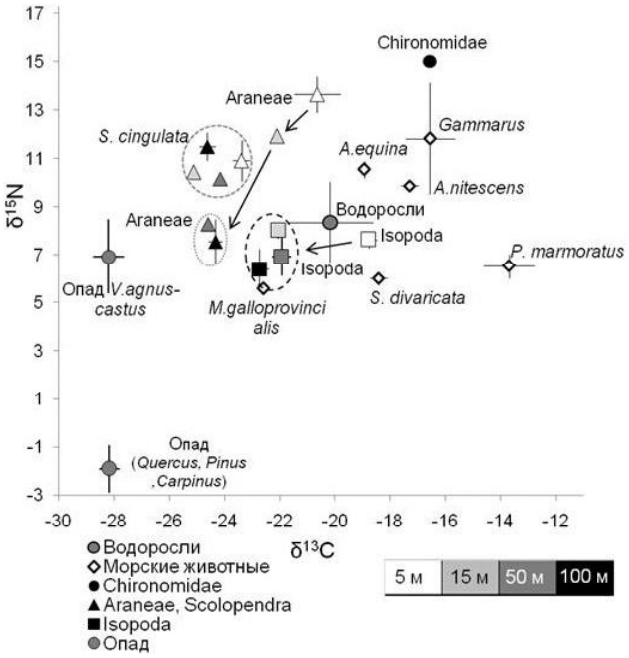


Рис. 1. Положение опада, сапрофагов и хищных беспозвоночных в поле значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ (среднее ± SE), отобранных на различном расстоянии от Черного моря. Пунктирными эллипсами показаны животные, достоверно не отличающиеся по изотопному составу.

Наши результаты подтверждают данные других исследователей (Paetzold et al., 2008), показавших, что ресурсы морского происхождения играют большую роль только в питании животных, обитающих в пределах первых десятков метров от берега. Эти ресурсы могут особенно эффективно осваиваться также подвижными животными, приспособленными к потреблению пищи в литоральной зоне (например, *Hogna radiata*). Однако в целом водные ресурсы, по-видимому, вносят довольно скромный

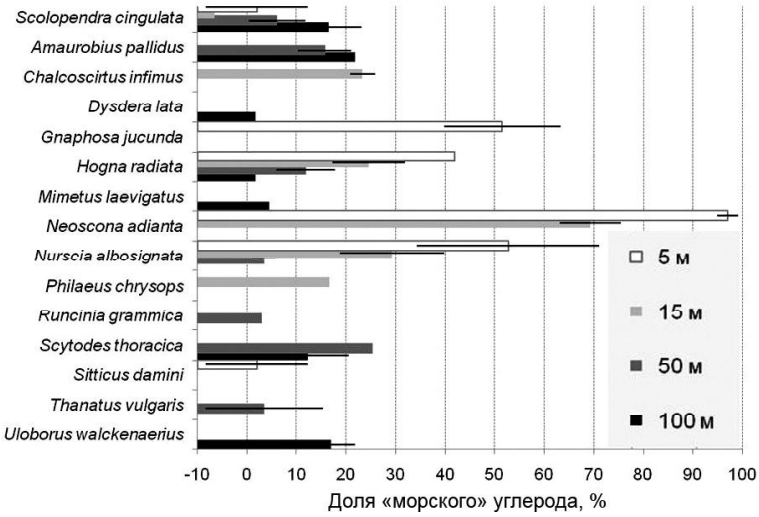


Рис. 2. Расчетная доля «морского» углерода в рационе пауков и сколопендр в градиенте удаления от Черного моря (среднее ± стандартная ошибка средней).

вклад в энергетику почвенных сообществ прибрежной зоны. На это указывает и изотопный состав крупных почвенных хищников, находящихся на (или близко к) вершине трофической пирамиды. Доля «морского» углерода в рационе сколопендр была очень невелика вне зависимости от расстояния до берега моря.

Автор выражает искреннюю признательность К.Б. Гонгальскому и А.В. Тиунову за помощь в работе; директору Утришской морской станции Л.М. Мухаметову за содействие в организации исследования; П.В. Матекину и Ю.И. Кантору за определение моллюсков; А.В. Пономареву за определение пауков.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

Литература

Гонгальский К.Б., Покаржевский А.Д., Савин Ф.А. Почвенная мезофауна субсредиземноморских экосистем полуострова Абрау (Северо-Западный Кавказ) // Зоологический журн., 2006. Т. 85. № 7. С. 813-819.

Иванов А.Н., Бочкарев Ю.Н., Козлов Д.Н., Хауг А.А. Основные черты природы полуострова Абрау // Природа полуострова Абрау. М., 2000. С. 4-13.

Сафронова И.Н., Юрковская Т.К., Микляева И.М., Огуреева Г.Н. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных государств. Карта, пояснительный текст и легенда к карте. М.: МГУ, 1999. 64 с.

Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН. Сер. Биологическая, 2007. № 4. С. 475-489.

Anderson W.B., Polis G.A. Marine subsidies of island communities in the Gulf of California: evidence from stable carbon and nitrogen isotopes // Oikos, 1998. Vol. 81. P. 75-80.

Colombini M. Brilli M. Fallaci E. Gagnarli, L. Chelazzi. Habitat partitioning and trophic levels of terrestrial macroinvertebrates of a Tyrrhenian coastal ecosystem (Grosseto, Italy) // Sandy beaches and coastal zone management: V International Symposium on Sandy Beaches. Rabat, 2011. Vol. 6. P. 25-35.

Paetzold A., Lee M., Post D.M. Marine resource flows to terrestrial arthropod predators on a temperate island: the role of subsidies between systems of similar productivity // Oecologia, 2008. Vol. 157. P. 653-659.

Peterson B.J., Fry B. Stable isotopes in ecosystem studies // Ann. Rev. Ecol. Syst., 1987. Vol. 18. P. 293-320.

Polis G.A., Anderson W.B., Holt R.D. Toward an integration of landscape ecology and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs // Ann. Rev. Ecol. Syst., 1997. Vol. 28. P. 289-316.

Ponsard S., Arditi R. What can stable isotopes ($\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$) tell about the food web of soil macroinvertebrates? // Ecology, 2000. Vol. 81. P. 852-864.

КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В ЗАБОЛОЧЕННОМ ЕЛЬНИКЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

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

Проблему изменения климата связывают с возрастающей эмиссией парниковых газов, в основном диоксида углерода. Это привело к активному изучению круговорота углерода лесных экосистем, характеризующихся разным составом, структурой и продуктивностью (Трефилова и др., 2011). Еловые леса занимают 16.2 млн. га лесопокрытой площади в Республике Коми, из которых 50% приурочено к болотно-подзолистым почвам (Бобкова, 2006). Структура и размеры резервуаров органического углерода в изучаемых экосистемах и величины атмосферно-экосистемного обмена остаются практически не изученными. Это определяет актуальность работы и дополняет существующие представления роли среднетаежных ельников в биосферном цикле углерода.

Руководство Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) выделяет четыре пула углерода лесов: фитомасса (с подразделением на надземную и подземную), мертвая древесина, подстилка, органическое вещество почвы (Руководящие указания..., 2003). Уровень запаса углерода в пулах поддерживается за счет продукционного и деструкционного потоков. Первый представляет собой чистую первичную продукцию как разность между углеродом, образовавшемся из атмосферного CO_2 в результате фотосинтеза и дыханием растений. Второй – эмиссию углерода при минерализации органического вещества почвы (Трефилова и др., 2011).

Работа выполнена в Республике Коми на территории Ляльского лесоэкологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН, (62°17′ с.ш., 50°40′ в.д). Исследования проводили в старовозрастном ельнике чернично-сфагновом, развитом на торфянисто-подзолисто-глееватой почве. Древостой V класса бонитета, разновозрастный (106-200 лет), его состав 9Е1Б+С ед.Пх. Средняя высота ели составляет 16 м, диаметр – 20 см. Почва торфянисто-подзолисто-глееватая суглинистая, подстилаемая тяжелым суглинком.

Пробные площади размером 40×50 м заложены согласно ОСТ 59-69-83. На них проведен

сплошной перечет деревьев древостоя, подроста, валежа. Фитомассу и прирост надземной части древесных растений определяли методом модельных деревьев (Уткин, 1975), массу и прирост подземных органов растений – методом крупных и мелких монолитов (Орлов, 1967). Массу, прирост и опад растений напочвенного покрова определяли на 10 площадках размером 0.5×0.5 м. Количество опада растений древесного яруса учитывали с помощью 17 опадоулавливателей размером 0.5×0.5 м (Родин и др., 1968). Пересчет запасов органической массы ценозов, опада и подстилки на массу углерода осуществляли дифференцированно по компонентам с применением коэффициентов (0.45-0.53), свойственных отдельным фракциям (Бобкова, Тужилкина, 2001). Для оценки разложения опада и лесной подстилки на год закладывали растительные остатки в капроновых мешочках в пятикратной повторности. Подстилку отбирали металлическим шаблоном площадью 98 см^2 в 25-кратной повторности. Содержание азота и углерода в растительных остатках опада, подстилки и почвы определяли на анализаторе элементном EA 1110 (CHNS-O) (фирма CE Instruments, Италия) в аналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Описание почвы, отбор образцов проводили по общепринятым методикам. При измерении эмиссии CO_2 с поверхности почвы использовали ИКГ LI-COR 8100 (LI-COR Biosciences, США).

Запас углерода в фитомассе древостоя ельника чернично-сфагнового составил 85.48 т га$^{-1}$, из них на долю стволовой древесины приходится 54.8%, коры стволовой – 6.9, ветвей – 7.7, хвои (листьев) – 7.6, корней – 23.0%.

В лесных экосистемах, особенно в старовозрастных, в обменных и лесовосстановительных процессах существенную роль выполняет фитодетрит. Он состоит из сухостойных деревьев, отмерших, но прикрепленных к стволу ветвей, корней, а также древесины остолопа. Количество сухостойных деревьев в исследуемом ельнике составляет 95 экз. га$^{-1}$ Общие запасы фитодетрита древостоя (сухостойные деревья и остолоп) значительны и составляют 7.49 тСга$^{-1}$. Большая часть фитодетрита приходится на стволовую древесину (59%).

Наиболее важной характеристикой продукционного процесса и углеродного цикла лесных экосистем является биологическая продуктивность фитоценозов. Интенсивность продуцирования органического вещества, определяющая ход процессов развития фитоценозов в экосистемах, используется в целях оценки углероддепонирующей емкости лесов. Нетто-продукция (NPP) органической массы растений насаждения в заболоченных ельниках – 3.08 тСга$^{-1}$. Участие растений напочвенного покрова в депонировании углерода составляет 0.52 т га$^{-1}$ в год.

Почвы бореальных лесов являются значительным и относительно долговременным депо органического углерода. В верхнем метровом слое торфянисто-подзолисто-глееватой почвы ельника чернично-сфагнового общий запас органического углерода составил 81.3 т·га$^{-1}$. Он распределяется по почвенному профилю неравномерно, большая его часть (32.7%) концентрируется в лесной подстилке. Характерно быстрое убывание содержания органического углерода с глубиной (аккумулятивный тип распределения содержания органического вещества).

Количество поступающего опада, его состав и интенсивность разложения в значительной степени определяют характер формирования лесной подстилки, морфологическое строение почвы. Известно, что опадение растительных остатков на поверхность почвы в лесных экосистемах происходит неравномерно и их видовая принадлежность сильно варьирует по месяцам. Выявлено, что за зимне-весенний период в чернично-сфагновом ельнике с древесным опадом поступает 54%, в течение сентября-октября – 24 и в летние месяцы – 22% органической массы древесного опада. За год это количество достигает 2.84 тСга$^{-1}$. Большая доля массы лесного опада приходится на опад надземных органов и корнепад древостоя 44.5 и 27.9% соответственно.

Важным показателем, отражающим процесс преобразования опада в подстилку, является скорость разложения его компонентов. Деструкция растительного вещества в старовозрастном ельнике чернично-сфагновом исследовалась на фракциях опада, играющих основную роль в его общей массе. Интенсивность разложения отдельных компонентов растительных остатков опада за год колеблется от 2.6 до 60%. По убыванию скорости разложения фракции опада располагаются следующим образом: черника > листья осины > листья березы > брусника > хвоя сосны > хвоя ели > ветви ели > шишки ели > кора ели. Разложение подстилки наиболее активно происходит в ферментативном (A_0'') слое и достигает 9.6%. В листовом слое (A_0') за год разлагается 4.8% органического вещества, а в гумусированном (A_0''') слое разложение практически не происходит. Потеря в весе в этом горизонте составила всего лишь 0.2% от изначальной массы. Такая способность разложения отдельных слоев лесной подстилки объясняется как составом растительных остатков, так и гидротермическим режимом почв, которые ограничивают деятельность почвенных редуцентов и приводят к ослаблению интенсивности разложения растительных остатков и формированию мощной подстилки. Подробный фракционный состав опада, его деструкция и особенности формирования подстилки приведены в работе (Кузнецов, 2010).

Выделение CO_2 с поверхности почв является интегральным показателем интенсивности метаболизма почвенных животных, микроорганизмов и корневых систем растений, а также физико-химических процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ПРООН/ГЭФ (№ 09_III_001_RUS_M_Komi Protected Areas) и Международной программы «ЕС «САВВО-ИОРТН» (контракт ЕС 038093).

бложения выделилось в среднем 2.69 тСта$^{-1}$год$^{-1}$. Подобная ферритно-сфагнового за годы на поверхности торфянисто-подзолисто глеевато-значительно и составляет всего 6-10%. Всего с земных потоков в общегодовую эмиссию CO_2 не-ла 2.44 и 2.50 тСта$^{-1}$сезон$^{-1}$ соответственно. Вклад по октябрь) 2008 и 2009 гг. наблюдения составнно-сфагнового за вегетационный период (с мая на CO_2 с поверхности почвы елянника чернинные дневные газы и повышенные – в вечерние и ночные. Средняя удельная скорость продуцирования CO_2 с поверхности почвы елянника чернинные ее интенсивность почвы в утренние и сутонной динамике эмиссии CO_2 отмечается почвой почвы. В первой вегетационного сезона в корреляции между эмиссией CO_2 и температурой влажности почвы елянника чернинсезона и гидротермические условия болотно-подзоны связывают потоки углекислого газа в атмосферу. Большое влияние на эмиссию CO_2 но-сфагнового ферритно-сфагнового елянника чернинявной почвы вегетационного елянника чернинтемпературные условия болотно-подзоны и гидрологические условия в разных видах почв. Отмечается положительная корреляция между эмиссией CO_2 и температурой почвы. В первой вегетационного сезона в дневные газы и повышенные – в вечерние и ночные. Средняя удельная скорость продуцирования CO_2 с поверхности почвы елянника чернинно-сфагнового за ферритно-сфагнового елянника чернинвегетационный период (с мая по октябрь) 2008 и 2009 гг. наблюдения составляет 2.44 и 2.50 тСта$^{-1}$сезон$^{-1}$ соответственно. Вклад земных потоков в общегодовую эмиссию CO_2 не значителен и составляет всего 6-10%. Всего с поверхности торфянисто-подзолисто глеевато-ферритно-сфагнового елянника чернинно-сфагнового за годы на глубина выделилось в среднем 2.69 тСта$^{-1}$год$^{-1}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ПРООН/ГЭФ (№ 09_III_001_RUS_M_Komi Protected Areas) и Международной программы «ЕС «САВВО-ИОРТН» (контракт ЕС 038093).

Литература

Добкова Е.С. Водные леса сферней подзоны тайги // Коренные еловые леса Северо-Западного Приуралья, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. С. 99-159.

Добкова Е.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и кислотность органического вещества в лесных экосистемах Северо-Западного Приуралья // Экология, 2001. № 1. С. 69-71.

Кузнецов М.А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаежном чернично-сфагновом елянике // Лесоведение, 2010. № 6. С. 54-60.

Орлов А.Г. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста корней хвойных масс в тонке лесной почвы // Лесоведение, 1967. № 1. С.64-69.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.

Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства // Протоколы МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.

Трефилова О.В., Безбородов З.Ф., Кузнецов В.В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосновых биогеоценозах // Лесоведение, 2011. № 1. С. 3-12.

Умнин А.Н. Биологическая продуктивность леса (методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство // Итоги науки и техники. М.: ВИНИТИ АН СССР, 1975. Т. 1. С. 9-189.

Изучение водных растений окультуренного водохранилища

Т.Н. Кутявина, Е.В. Пенекова[1]
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: Tatyanca@mail.ru
[1]Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ
E-mail: ecolab2@mail.com

Проблема загрязнения среды в настоящее время приобрела глобальное значение. В водоемы в водоеме и определить его вид. Для с этим важно вовремя обнаружить начальные загрязнения, уменьшить масштабы его проявления. В связи ратить загрязнение невозможно, но можно ребуют на загрязнение. Поэтому предотвращение. При этом малые водоемы значительно быстрее ное и рекреационное использование водоемов. ванные сообщества, отражающие хозяйственные отличные организмы, разрушаются сбалансированное сообщество, отражающее хозяйственное и рекреационное использование водоемов. При этом малые водоемы значительно быстрее разрушаются на загрязнение. Поэтому предотвратить его вид. Для с этим важно вовремя обнаружить начальные загрязнения в водоеме и определить его вид. Для уменьшить масштабы его проявления. В связи ратить загрязнение невозможно, но можно предотвратить загрязнение. Поэтому предотвращение на загрязнения. При этом малые водоемы значительно быстрее разрушаются на загрязнения в водоемах. В водоемах ежегодно сбрасывается около 700 км^3 планеты ежегодно сбрасывается около 700 км^3 загрязненных вод. Подвергают наиболее участвующие в водообмене. Для этого можно использовать растения-индикаторы.

В Кировской области много малых водоемов, используемых людьми в различных целях. Одним из них является Окультуренное водохранилище, которое является объектом исследования. Водохранилище находится главным образом в пределах лесной зоны, расположенной в Вятско-Камском междуречье. На них строили домы, дворы, подсобные и садоводческие хозяйства, детские оздоровительные лагеря, санатории, пансионаты, дачи. Водоемы являются объектами рыбоводства, рыбной ловли, водного туризма, водного спорта, отдыха, купания, катания на лодках, лодочных гонках, парусных гонках, водных лыжах, водных мотоциклах, водных скутерах, водных мотоциклах, водных скутерах, водных лыжах, парусных гонках, лодочных гонках, катания на лодках, купания, отдыха, водного спорта, водного туризма, рыбной ловли, рыбоводства, объектами которых являются Окультуренное водохранилище, которое является объектом исследования. Водохранилище находится главным образом в пределах лесной зоны, расположенной в Вятско-Камском междуречье. На них строили домы, дворы, подсобные и садоводческие хозяйства, детские оздоровительные лагеря, санатории, пансионаты, дачи. Водоемы являются объектами рыбоводства, рыбной ловли, рыбоводства, объектами которых являются

Водохранилище р. Окультуренное водохранилище – 10 км; ширина – 1.1 км; длина водохранилища – 10 км; ширина – 1.1 км; характер питания водотока – трубчатое, снеговое, дождевое.

Высший р. Окультуренное водохранилище – 32.5 млн. м^3; полный объем водохранилища – 32.5 млн. м^3; ного бассейна до створа гидроузла – 640 км^2; водотока и водохранилища: площадь водосбор-

Основные гидрологические характеристики водохранилища является русловым.

Омутнинского р-на. В настоящее время судоходство и лесосплав по р. Омутная и ее притокам отсутствуют. Гидроэлектростанций в бассейне реки нет. Площадь водосбора в основном покрыта лесами.

Водные ресурсы Омутнинского водохранилища используются для производственного водоснабжения Омутнинского металлургического завода, срезки максимальных расходов, а также культурно-оздоровительных нужд жителей г. Омутнинска (Технический паспорт..., 1957). Хозяйственно-питьевое водоснабжение из водохранилища не осуществляется.

Из водохранилища Омутнинский металлургический завод забирает воду для технических целей. Водозабор расположен в 130 м от водосброса в сторону левого берега р. Омутной. Сброс производственных стоков (включая ливневой сток завода) осуществляется в р. Омутная ниже плотины и на качество воды водохранилища влияния не оказывает. Сброс сточных вод от профилактория завода после очистных сооружений осуществляется в водохранилище.

В летний сезон 2011 г. сотрудниками лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ были проведены работы по исследованию Омутнинского водохранилища. С помощью картплоттера Garmin GPSMAP 521s обследована акватория Омутнинского водохранилища, по результатам составлен батиметрический план.

Для обозначения глубин выбрана специальная шкала, в которой каждому значению глубины соответствует свой оттенок синего цвета, причем, чем глубже, тем насыщеннее оттенок.

Большие глубины (более 4 м) соответствуют руслу р. Омутная, максимальная глубина (8 м и более) отмечена в приплотинной части водохранилища. В целом они уменьшаются постепенно от центра к берегам водоема. Такое распределение глубин типично для русловых водохранилищ.

Параллельно с глубинами фиксировали заросли высших водных растений на акватории водохранилища. Отмечено, что на разных глубинах произрастают разные виды высших водных растений.

На участках с большими глубинами (более 4 м) высшие водные растения отмечены не были.

На преобладающей части акватории глубины небольшие. Достаточно велика (около 30%) площадь мелководий. Располагаются они большей частью по периметру водохранилища, причем площадь мелководий в верховье водохранилища значительно преобладает над таковой в низовье. Практически до впадения р. Песчанка в водохранилище глубины остаются небольшими (1-3 м), лишь руслу р. Омутная соответствуют глубины более 3 м.

На глубине 0.5-1.5 м нами отмечены следующие виды рдестов: туполистный, сплюснутый, пронзеннолистный, блестящий, плавающий. Также обнаружены особи кубышки желтой и кувшинки чисто-белой, водная форма ежеголовника. Возле берега на отметке 0.8-1.4 м встречаются островки камыша озерного. Ближе к верховью пруда идет сплошное зарастание хвощом речным, который заходит и на глубину 1.2-1.4 м (реже до 2). На глубине 1.3-1.5 м наблюдали обширные заросли горца земноводного и рдеста блестящего в виде прибрежных полос. В верховье водохранилища, где впадает р. Омутная, на глубине 1.5-1.7 м камыш и горец образуют сплошные заросли. На глубине 1.6-1.9 м отмечены куртины рдестов пронзеннолистного и блестящего. На глубине 2.2 м зафиксировали большие заросли рдеста блестящего, при этом площадь их увеличивается по направлению к верховью водохранилища. При уменьшении глубины и продвижении к берегу снова лидирующее положение занимает хвощ. На середине водохранилища, где глубины составляют 1-2 м, также отмечены полосы хвоща (ширина полос 3-5, длина – 50-100 м).

В целом можно сказать, что распределение растительности в Омутнинском водохранилище типично, как и для большинства описанных в литературе водоемов.

В процессе обследования водохранилища нами была предпринята попытка проанализировать видовой состав растений с точки зрения наличия в нем видов-индикаторов загрязнения. Как известно из литературных данных (Гигевич и др., 2001; Садчиков и др., 2005), рясковые являются индикаторами органического загрязнения и эвтрофирования водоема (поступления биогенных веществ). Развитие стрелолиста обыкновенного, частухи подорожниковой, элодеи канадской, телореза алоэвидного, роголистника погруженного и урути колосистой свидетельствует о наличии антропогенного воздействия на водные экосистемы. Наличие рдеста блестящего говорит о загрязнении тяжелыми металлами, рдеста курчавого – об органическом загрязнении и эвтрофировании. Роголистники (темно-зеленый, подводный) являются индикаторами органического загрязнения, ацидофикации, эвтрофирования, хвощ речной – индикатор органического загрязнения и ацидофикации.

Наибольшее количество видов – индикаторов загрязнения зафиксировано в районе сброса сточных вод профилактория «Металлург». Здесь были выявлены такие виды, как рдест пронзеннолистный, рогоз широколистный, ряски малая и трехдольная, многокоренник обыкновенный. Последние три вида растений образовали возле коллектора зеленый ковер, сплошь покрывающий поверхность воды. Это свидетельствует о наличии органического загрязнения и эвтрофирования на данном участке. Результаты химического анализа воды также подтверждают наличие загрязняющих веществ в воде.

Индикатор эвтрофирования – рогоз широколистный – отмечен в местах наиболее интен-

сивного поверхностного стока с берегов водохранилища. Данные участки в прошлом активно использовались под сельскохозяйственные угодья, в настоящее время – частично.

Стоит сказать, что в устьях рек исследуемого водохранилища нами отмечен хвощ речной, являющийся видом-индикатором подкисления среды и наличия в ней органического загрязнения. Однако вода в данных участках наиболее чистая, поэтому хорошая жизненность и обильное расселение этого вида свидетельствуют в основном о зарастании водоема, а не о наличии загрязнения.

Таким образом, нами было изучено распределение водных растений по глубине в Омутнинском водохранилище, а также видовой состав высших водных растений с точки зрения наличия в нем видов-индикаторов загрязнения. В ходе обследования установлено, что на берегах водохранилища существует несколько потенциальных источников загрязнения. О влиянии некоторых из них на водоем свидетельствуют такие виды, как рдест пронзеннолистный, рогоз широколистный, ряски малая и трехдольная, многокоренник обыкновенный. Можно сказать, что обследованный водоем действительно подвержен загрязнению, а также процессам эвтрофикации.

Литература

Гигевич Г.С., Власов Б.П., Вынаев Г.В. Высшие водные растения Беларуси. Минск, 2001.

Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидроботаника: Прибрежно-водная растительность: Учебное пособие для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.

Технический паспорт сооружений, входящих в Омутнинское водохранилище на реке Омутная // Государственный проектный институт «Водоканалпроект». Инв. № п 375502. 1957.

ПРЕВРАЩЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПОЧВЕ

Е.В. Кызъюрова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: *kizurova@mail.ru*

Представленный материал – небольшая попытка провести интерпретацию процессов, происходящих в микроочаге почвы, на примере соединений алюминия, опираясь на литературные источники и результаты, полученные в модельных опытах (Кызъюрова, 2011).

Основную роль и участие в почвенных процессах играют подвижные соединения алюминия (водорастворимый, обменный, алюмоорганический).

По мнению И.И. Толпешты, проводившей анализ литературных данных по алюминию, в почве протекают три вида процессов: мобилизация, аккумуляция и миграция соединений алюминия (Толпешта, 2011).

Алюминий в почве мобилизуется из унаследованных из породы алюмосодержащих минералов, из новообразованных аморфных и кристаллических минеральных и алюмоорганических соединений (Зонн, 1992). Проще говоря, из всех соединений, в состав которых входят ионы алюминия.

При изменении условий среды (кислотности, влажности и т.д.) алюминий переходит в более или менее растворимые соединения, т.е. либо мобилизуется, либо аккумулируется.

Изменением среды может быть появление в почве разлагающихся растительных остатков, изменение кислотности почвенного раствора, влажности почвы и т.д.

При разложении растительных остатков в почву поступают различные органические соединения. Под действием микроорганизмов они разлагаются на более простые и часто водорастворимые соединения (сахара, аминокислоты, органические кислоты (щавелевая, уксусная, янтарная).

При взаимодействии разлагающихся растительных остатков с минеральной массой почвы подвижный алюминий сразу же в первую неделю (по материалам лабораторного эксперимента) вступает во взаимодействие (рис. 1) и расходуется почти полностью, переходя, скорее всего, в обменную форму. Содержание обменного

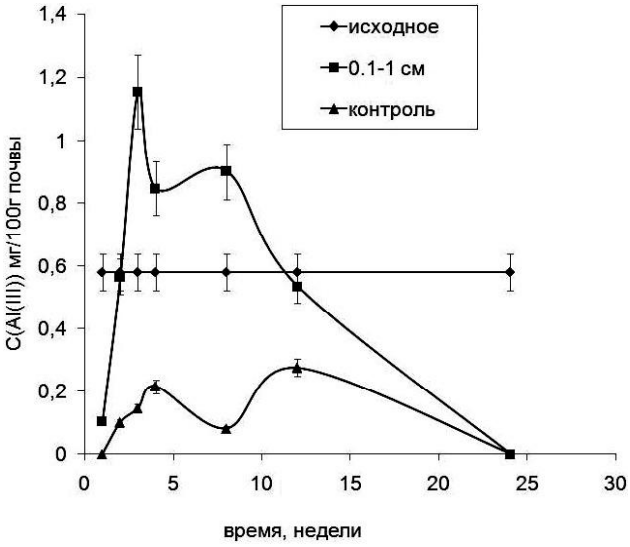


Рис. 1. Содержание водорастворимого алюминия во времени.

алюминия при этом увеличивается (рис. 2). Однако спустя две недели после начала эксперимента водорастворимый алюминий начинает накапливаться, а содержание обменных соединений падает. Возможно, образуются водорастворимые соли органических кислот. Затем все снова изменяется. Следовательно, происходит периодический процесс мобилизации-аккумуляции подвижных соединений алюминия. Проводя эксперимент в лабораторных условиях, мы исключили влияние температуры и влажности на почву. Поэтому такое поведение соединений алюминия можно объяснить внутренними почвенными изменениями: при разрушении растительных остатков меняется кислотность почвенного раствора, а следовательно, и подвижность алюминия. При увеличении кислотности почвенного раствора увеличивается и содержание подвижных соединений алюминия.

Также можно предположить влияние этапов разложения органического вещества. Сначала минерализации подвергаются более простые органические соединения, затем – более сложные. Однако контроль за поведением соединений алюминия показывает, что изменение их форм повторяется, только с меньшей амплитудой. Следовательно, процессы мобилизации и аккумуляции подвижного алюминия протекают постоянно. Наличие разлагающихся органических остатков лишь увеличивает интенсивность этих процессов.

При взаимодействии с разрушающимся органическим веществом соединения алюминия проникают в слой растительных остатков, где также периодически изменяются (рис. 3).

Таким образом в микроочаге почвы протекают периодические процессы мобилизации и аккумуляции соединений алюминия.

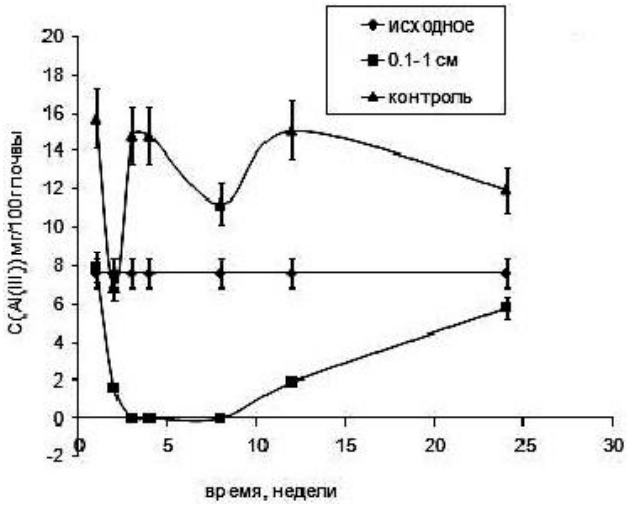


Рис. 2. Содержание обменного алюминия во времени.

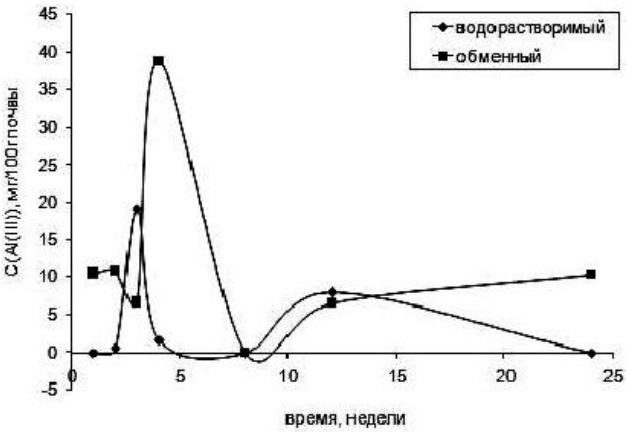


Рис. 3. Содержание соединений алюминия во времени в слое органического вещества.

Литература

Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 261 с.

Зонн С.В., Травлеев А.П. Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. 224 с.

Кызъюрова Е.В. Трансформация соединений алюминия в экспериментальной системе органическое вещество-почва // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XVIII Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 185-187.

Соколова Т.А. Химические основы мелиорации кислых почв: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1993. 182 с.

Толпешта И.И. Подвижные соединения алюминия в почвах ненарушенных экосистем южной тайги. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2010.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА КАРЬЕРАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА СЫКТЫВКАР

И.А. Лиханова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: likhanova@ib.komisc.ru

В условиях современной антропогенной трансформации растительного покрова Республики Коми особую актуальность приобретают исследования по восстановлению растительности на нарушенных территориях. Одно из основных направлений рекультивации – создание лесных насаждений. Изучение возможности посадки древесных пород и кустарников на нарушенных землях европейского Северо-Востока ведется уже более 20 лет (Парфенюк, 1991; Дегтева, Симонов, 1995; Экологические принципы..., 2009).

Цель данной работы – оценить эффективность создания культур сосны (*Pinus sylvestris* L.) на отработанных карьерах строительных материалов.

Район исследований располагается в подзоне средней тайги, в окрестностях г. Сыктывкар. Изучение восстановления растительности проводили на карьерах «Верхний Чов», «Даса» и «Юршор». До начала разработки карьеров на их территориях произрастали сосняки брусничнозеленомошные, сформированные на песках и супесях, подстилаемых моренными суглинками. После окончания работ по добыче строительного материала на карьерах проведены посадки сосны (табл. 1). Подготовка субстрата перед посадкой заключалась в выравнивании поверхности. Улучшение субстрата на карьерах «Верхний Чов» и «Даса» не проводили, на карьере «Юршор» был внесен торф. В качестве посадочного материала были использованы двух-трехлетние сеянцы сосны. Шаг посадки – 0.5-1.0 м, междурядья – 3-5 м в зависимости от участка. На карьерах «Даса» и «Юршор» осуществляли рубки ухода через каждые четыре года.

На всех карьерах в августе 2010 г. нами исследованы культуры, растительный покров и почвы (субстраты) по общепринятым методикам.

После окончания техногенного воздействия на минеральном субстрате начинается самовосстановление растительного покрова по типу первичной сукцессии. На карьере «Верхний Чов» через год после посадки сосны напочвенный покров почти отсутствует. Зафиксировано 39 видов единично растущих травянистых сосудистых растений, мхи не отмечены. В составе преобладают виды, характерные как для лугов, так и для сорных местообитаний (*Taraxacum officinale* Wigg., *Amoria repens* (L.) C. Presl., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. и др.). Отмечаются сорные, рудеральные однолетники и двулетники: *Polygonum aviculare* L., *Tripleurospermum perforatum* (Merat.) M. Lainz, *Chenopodium album* L., *Persicaria lapathifolia* (L.) Gray, обычно выпадающие в первые годы после посадки. Из сорных растений также отмечены *Melilotus albus* Medik., *Cirsium setosum* (Willd.) Bess., *Tussilago farfara* L. и др. Высота высаженной сосны – около 10 см, на формирование напочвенного растительного покрова она не оказывает влияния. Появляются деревья и кустарники (*Betula pubescens* Ehrh., *B. pendula* Roth, *Salix* sp.). Морфологическое изменение субстрата не отмечено.

На карьере «Даса» на девятый-десятый год после посадки сосны высота растений составляла около 2 м (табл. 2), сохранность – около 80%. Кроны смыкались в рядах, но междурядья еще были открыты. Невысокие биометрические показатели сосны объясняются сухостью и бедностью песчаного-супесчаного субстрата карьера. Индикатором неблагоприятных субстратных условий является разреженный травяной покров из *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Melilotus albus*, *Amoria repens* (ОПП до 30%). На поверхности субстрата разрастаются отдельными пятнами мхи *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. с вкраплениями *Polytrichum juniperinum* Hedw. и *P. piliferum* Hedw. При более благоприятных условиях увлажнения (как, например, в юго-западной части карьера) отмечается травянистый покров, ОПП которого около 60 %. Обильны *Calamagrostis epigeios*, *Festuca pratensis* Huds., *Agrostis tenuis* Sibth., *Deschampsia cespitosa*, *Chamaenerion angustifolium*, *Poa pratensis* L., а также клеверы (*Amoria repens, A. hybrida* (L.) C. Presl.). Из сорных видов достаточно обильна *Tussilago farfara*. Появляются виды, характерные для лесных экосистем, но их обилие незначительно (*Luzula pilosa* (L.) Willd., *Lycopodium annotinum* L., *Stellaria holostea* L., *Rubus saxatilis* L. и др.).

Итак, древесный ярус карьера «Даса» представлен высаженной сосной. В связи с проведением регулярных рубок ухода примесь мелколиственных пород (11 видов) незначительна. Всего в разреженном напочвенном покрове отмечено два вида кустарничков, 57 видов травянистых растений. Формирующийся моховой покров состоит из 14 видов, в основном характерных для нарушенных местообитаний.

Восстановление почвы на карьере «Даса» происходит замедленно. Формирование травянисто-моховой подстилки приурочено к участкам с более развитым напочвенным покровом. Под кронами сосен – подстилка преимущественно из хвои. Заметны некоторые изменения в профиле почв. Сероватый оттенок, появившийся в следствие начавшегося накопления органического вещества (табл. 3), отмечается в верхнем, скрепленном протонемой мхов сантиметровом слое. Ниже – коричневая бесструктурная песчаная минеральная толща. До глубины 20 см – редкие корни.

На территории карьера «Юршор» (13 год после посадки сосны) отмечаются значительные вариации в характере растительного покрова. На пониженных элементах рельефа (небольшая по площади юго-западная часть карьера) при наличии застойного переувлажнения (глубина залегания почвенно-грун-

Таблица 1

Характеристика посадок сосны на карьерах в окрестностях г. Сыктывкар

Карьер, номер участка	Субстрат	Год, сезон посадки	Площадь посадки, га	Густота посадки, шт./га
«Верхний Чов»	Супесь	2009, весна	0.3	4000
«Даса», уч. № 1	Песок	2001, осень	0.4	4600
«Даса», уч. № 2	Песок, супесь	2000, осень	4.9	4600
«Юршор»	Песок, супесь	1997, осень	3.5	3300

товых вод колеблется на уровне поверхности почвы) сформировались сообщества из *Equisetum fluviatile* L., по окрайкам которых разрастаются *Typha latifolia* L., *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Agrostis stolonifera* L. и осоки (*Carex rhynchophysa* C.A. Mey., *C. rostrata* Stokes, *C. vulpina* L.). Зарегистрированы многочисленные виды рода *Salix*. В моховом покрове преобладает *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. Растения сосны в депрессиях рельефа не отмечены.

На основной части карьера «Юршор» культуры сосны находятся в достаточно хорошем состоянии (табл. 2), сохранность – 85%, бонитет III (Ипатов, 1974). Кроны сосны в рядах сомкнулись, и вследствие затенения проективное покрытие растений напочвенного покрова под ними небольшое. Междурядья довольно широкие (5 м), затенение сосной вне зоны кроны слабое. В связи с этим в травяном ярусе, ОПП которого возрастает до 80%, обильны луговые и опушечно-луговые злаки (*Festuca pratensis, Calamagrostis epigeios, Agrostis tenuis* и др.) и разнотравье (*Vicia cracca* L., *Lathyrus pratensis* L., *Trifolium pratense* L., *Amoria repens* и др.). Высокая встречаемость – у *Tussilago farfara*, *Chamaenerion angustifolium*, *Deschampsia cespitosa*.

Таким образом, на основной части карьера «Юршор» (исключая депрессии рельефа) древесный ярус состоит из высаженной сосны. Сомкнутость крон – 0.3. Внедрение мелколиственных пород деревьев и кустарников (около 10 видов) подавляется рубками ухода. Внесение торфа способствовало созданию практически сомкнутого напочвенного покрова из 78 видов сосудистых растений и 17 – мохообразных. Возрастание числа видов связано не только со спецификой субстратных условий карьера, но, по-видимому, и с усилением средообразующего влияния культур сосны, проявляющегося в возрастании числа лесных видов (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Carex digitata* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Luzula pilosa*, *Equisetum sylvaticum* L. и др.).

Почва карьера «Юршор», в отличие от «Даса», характеризуется ясно выраженным верхним темно-серым (за счет накопления гумуса) горизонтом мощностью 1-2 см. В нем отмечается максимальное количество элементов-биогенов (табл. 3). До глубины 20 см имеются включения растительных остатков (видимо, внесенного торфа) и прослойки глины. Глубже – не затронутый почвообразовательным процессом песчаный минеральный субстрат.

Таблица 2

Средние значения биометрических показателей культур сосны с границами доверительных интервалов (*P* = 0.95) на карьерах в окрестностях г. Сыктывкар. Рельев поверхности дна ровный

Карьер, номер участка	Высота, см	Диаметр на высоте груди, см	Диаметр основания стволика, см	Радиус кроны, см	
				Поперек ряда	Вдоль ряда
«Даса», уч. № 1	207.0±31.3	–	4.5±0.4	63.1±9.7	62.4±8.9
«Даса», уч. № 2	200.6±57.1	–	4.3±1.2	61.1±14.3	56.4±13.4
«Юршор»	382.1±60.0	4.0±1.0	7.4±1.5	85.2±18.5	83.7±15.2

Таким образом, на 9-13-й годы после посадки сеянцев сосны на карьерах в окрестностях г. Сыктывкар сохранность растений составляет около 80%. На сухих песчаных субстратах (карьер «Даса») класс бонитета сосновых молодняков – IV при высоте 11-12-летней сосны около 2 м, при более благоприятных субстратных условиях бонитет увеличивается до III, высота 15-летней сосны достигает почти 4 м (карьер «Юршор»). Формирующийся древесный ярус представлен высаженной сосной, примесь мелколиственных пород в связи с проведением регулярных рубок ухода незначительна.

Изучение напочвенного покрова на карьерах с посадкой культур выявило типичное прохождение стадий первичной сукцессии – от поселения единичных растений со значительной долей участия одно-двулетних сорных трав до формирования практически сомкнутого разнотравно-злакового яруса. Дальнейшие исследования, по-видимому, должны показать усиление эдификаторной роли сосны, формирование соответствующего лесной экосистеме напочвенного покрова.

Соответственно развитию растительного покрова происходит формирование почв. На карьере «Верхний Чов» морфологические изменения субстрата не отмечены. Варьирование агрохимических показателей по профилю незначи-

Таблица 3

Агрохимические показатели почв (субстратов) на карьерах в окрестностях г. Сыктывкар

Карьер, номер участка	Глубина взятия образца, см	$pH_{вод.}$	$C_{орг.}$, %	$N_{гидр.}$	K_2O	P_2O_5
				мг/100 г в.с.п.		
«Верхний Чов»	0-10	8.00	0.43	0.8	8.0	8.8
	10-20	7.95	0.40	0.8	7.8	9.1
	20-40	8.10	0.34	1.1	7.5	7.4
«Даса», уч. № 1	0-0.5(1)	5.25	0.20	2.3	5.3	10.2
	0.5(1)-10	4.99	0.15	1.9	6.1	5.1
	10-20	4.91	0.11	0.6	3.8	1.1
	20-40	4.81	0.10	0.5	4.1	1.4
«Юршор»	0-1(2)	6.54	2.44	6.2	23.8	17.7
	1(2)-10*	7.07	1.37	2.7	12.8	14.7
	20-40	8.01	0.20	0.6	2.9	10.8

Примечание: * слой с прослойками глины и включениями торфа.

тельно. На территории карьера «Даса» начинают формироваться слаборазвитые почвы, в верхнем слое которых происходит некоторое накопление элементов-биогенов. На карьере «Юршор» органо-аккумулятивный горизонт ясно выражен и морфологически, и по агрохимическим показателям. Согласно «Классификации почв» (2004), почвы на карьерах «Даса» и «Юршор» можно отнести к псаммоземам гумусовым, профиль которых состоит из гумусово-слаборазвитого горизонта W, залегающего на песчаной (супесчаной) почвообразующей породе.

Литература

Дегтева С.В., Симонов Г.А. Рекультивация земель на Севере. Фиторекультивация отвалов отработанных россыпей в условиях Приполярного Урала. Сыктывкар, 1995. Вып. 2. 40 с.

Ипатов Л.Ф. Строение и рост сосны на европейском Севере. Архангельск, 1974. 108 с.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Парфенюк В.И. Лесная рекультивация нарушенных земель в зоне крайнесеверной тайги Коми АССР // Освоение Севера и проблемы рекультивации: Докл. Междунар. конф. Сыктывкар, 1991. С. 155-156.

Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере. Сыктывкар, 2009. 176 с.

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Н.А. Лукина
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева
E-mail: *lukina.nataliya@bk.ru*

На формирование и современное состояние почв Якутии решающее влияние оказывает вечная мерзлота и криогенные процессы. Почвы криолитозоны Якутии существенно отличаются от почв, развивающихся под сходными типами растительности в других регионах. Особенностью почвообразования в криолитозоне Якутии является совмещение сфер проявления малого биологического и большого геологического круговорота веществ, впервые установленные В.Г. Зольниковым (1954). Водонепроницаемая толща вечной мерзлоты исключает вертикальный сток, промывание почвы и деятельного слоя.

В зоне развития сплошной толщи вечномерзлых пород к биологической аккумуляции веществ присоединяется криогенная аккумуляция в сезонно-талом слое, обусловленная наличием водонепроницаемого барьера вечномерзлых пород. В результате в деятельном слое происходит накопление всех веществ, попадающих в почву при хозяйственной деятельности людей и высвобождающихся в ходе биологических и геохимических процессов в сезонно-талом слое. Таким образом, в мерзлотных почвах происходит аккумуляция биофильных элементов, а также всех мобильных веществ, переносимых водой в растворенном или взвешенном состоянии. Миграция веществ ограничивается локальным переносом мобильных веществ поверхностными и надмерзлотными водами в ближайшие понижения.

Укороченный вегетационный период (60-100 дней) и уровень естественного плодородия мерзлотных почв недостаточны, чтобы в максимальной степени использовать поступающую солнечную энергию. Крайне ограниченная экологическая емкость таежно-аласных экосистем усугубляется малой биопродуктивностью, низкой напряженностью геохимических, микробиологических процессов северных экосистем.

Несмотря на это, даже в условиях Севера за счет рационального применения удобрений на научной основе вполне можно добиться удвоения урожаев без причинения ущерба природе и при улучшении качества продукции.

Цель работы – изучить динамику агрохимических показателей мерзлотных почв.

Объекты исследования – мерзлотные палевые почвы, формирующиеся на древнеаллювиальных отложениях, расположенные в центральной части Якутии. В качестве экспериментальных объектов были выбраны три хозяйства: «Сухаhыт», «Никольское» и «Урюн-Бас» под посевами зерновых культур.

Результаты агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий обобщены по четырем основным показателям: подвижная форма фосфора, обменный калий, актуальная кислотность почвы ($pH_{водн.}$) и гумус. Подвижные формы фосфора и калия определены методом Эгнера-Римма для мерзлотных почв, гумус – методом Тюрина.

Известно, что каждый элемент выполняет свою определенную роль и не может быть заменен другим. Например, калий играет основную роль в наращивании биомассы. Фосфор необходим для синтеза макроэнергетических веществ, несущих генетическую информацию, а также ускоряет процессы роста и развития растений.

Из практики агрохимических исследований известно, что при понижении температуры экстрагирующего раствора уменьшается количество извлекаемых из почвы подвижных форм элементов питания, особенно фосфора (Прижукова и др., 1970). Опыты в диапазоне температур от +5 до +25 °С показали, что при температуре растворов ниже +13...+15 °С резко понижается переход подвижного фосфора и обменного калия в раствор (Репневская, Курашева, 1967). Таким образом, низкие температуры поч-

вы вызывают снижение фактора интенсивности плодородия почвы, измеряемого в единицах концентрации соответствующего иона в почвенном растворе.

Хорошо известно, что способность фосфат-ионов к диффузии в почве весьма мала. Исследования подвижности фосфатов в песке показали, что скорость диффузии фосфат-иона при +4 °С в 1.85 раза ниже, чем при +15...+20 °С, соответственно сокращается и расстояние, на которое перемещается фосфат-ион (Карпачевский и др., 1980). Следовательно, в холодной почве уменьшается подвижность растворенных фосфатов и ограничивается зона их распространения в почвенной массе.

Результаты исследования седьмого тура (2001-2005 гг.) показывают, что в хозяйствах преобладает низкое и среднее содержание подвижной формы фосфора: в «Сухаhыт» – 51 и 30%, в «Урюн-Бас» – 41 и 57% соответственно. В хозяйстве «Никольское» этот показатель характеризовался средним уровнем содержания фосфора (76-150 мг/кг почвы). В восьмом туре (2006-2010 гг.) по всем хозяйствам преобладает средний показатель подвижной формы фосфора от 61 до 86%. По остальным градациям данные варьируют от 6 до 20%.

Таким образом, за пять лет фосфорное состояние мерзлотных палевых почв исследуемых хозяйств значительно улучшилось за счет применения удобрений.

За седьмой тур в хозяйстве «Никольское» содержание обменного калия характеризовалось как низкое, в «Сухаhыт» – низкое (52%) и среднее (42%), в «Урюн-Бас» – среднее (18%) и высокое (82%). В восьмом туре в хозяйстве «Никольское» этот показатель возрос до высокого (92%) и очень высокого (8%) уровней.

Таким образом, калийное состояние исследуемых почв за два последних тура (седьмой и восьмой) улучшилось. Мерзлотные палевые почвы сравнительно хорошо обеспечены подвижными формами калия, что обусловлено гранулометрическим составом почв.

Все хозяйства по показателю реакции среды в седьмом туре характеризуются как щелочные и сильнощелочные. В восьмом туре в «Никольском» реакция среды в основном нейтральная (48%) и слабощелочная (47); в «Сухаhыт» – щелочная (89%) и сильнощелочная (11). За пять лет реакция среды стала более благоприятной для произрастания зерновых культур в «Никольском», что, возможно, связано с известкованием исследуемых почв.

Хозяйства «Сухаhыт» и «Урюн-Бас» значительно обеспечены гумусом по сравнению в «Никольским». Во втором туре содержание гумуса на экспериментальных объектах изменилось незначительно.

Таким образом, выявлена динамика агрохимических показателей мерзлотных палевых почв центральной Якутии. В целом, изменение показателей произошло в положительную сторону, значительно улучшилось плодородие почв за счет применения хозяйствами органо-минеральных удобрений.

Литература

Зольников В.Г. Почвы восточной половины центральной Якутии // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Вып. 4. С. 55-222.

Прижукова В.Г. Влияние температуры на извлечение из почвы подвижного фосфора и обменного калия по методу Кирсанова // Химия в сельском хозяйстве, 1970. № 2. С. 66-68.

Репневская М.А., Курашева Т.Г. Влияние температурных условий на вытеснение подвижных форм фосфора и калия из почвы // Агрохимия, 1967. № 9. С. 19-121.

Карпачевский Л.О. Влияние температуры на подвижность фосфатов в системе песок-анионит // Агрохимия, 1980. № 1. С. 39-45.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА ВОЖЕ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЕГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ

Н.Н. Макаренкова
Вологодская лаборатория ФГБНУ «ГосНИОРХ»
E -mail: mackarenckowa@yandex.ru

Эвтрофирование вызывает нежелательные изменения состояния водных экосистем и особенно быстро развивается в мелководных озерах. Наглядным примером может служить оз. Воже, расположенное в северной части Вологодской области, имеющее площадь 418 км^2 при средней глубине около 1.4 м. Несмотря на отсутствие прямой антропогенной нагрузки при нахождении водоема вдали от центров хозяйственной деятельности, наблюдается ускорение процессов его эвтрофирования (Болотова, 1999, 2009). Это связано с лимнологическими особенностями, способствующими зарастанию и заилению, а также притоком аллохтонной органики с заболоченного и обширного водосбора. В результате увеличение темпов эвтрофирования оз. Воже происходит в основном за счет внутренней биогенной нагрузки (Болотова, 2006).

Известно, что продуценты первого трофического уровня, к которым относится фитопланктон, являются начальным звеном для развития эвтрофирования, поэтому изменение их состояния служит индикатором происходящих процессов (Изменение структуры..., 1988 и др.). Однако выраженность ответной реакции фитопланктонного сообщества на избыточное поступление

является характерной закономерностью при зеленых при увеличении доли последних, что основных групп водорослей: диатомовых и синезеленых (Водопьянов, 1999). В основном это представлены (Водопьянов, 1999). В основном это происходило за счет изменения соотношения двух тонной части сообщества в следующие два десятилетия. Одним из факторов, обеспечивающих эту же обусловило значительную перестройку планктонной части оз. Воже, которые влияют на уровень развития. Кроме того, из-за интенсивной динамики водных масс создается повышенная мутность воды, особенно в условиях высокого загнивания, что определяет крайне неравномерную следующие. Это интенсивное ветровое перемешивание и структуру фитопланктона, относится также оз. Воже, которые влияют на уровень развития фитопланктона в озере. К особенно-

Повышение концентрации фосфора в оз. Воже-ния, что является причиной цветения воды, особенно в условиях высокого загнивания водных масс создается повышенная мутность воды. Кроме того, из-за интенсивной динамики кислородный режим является озера и происходит резкое снижение прозрачности в первой частых штормов, что ухудшает условия для фотосинтеза. Однако благоприятным обстоятельством для развития фитопланктона в условиях мелководья является хорошая прогреваемость водной толщи наряду с надводными в последние десятилетия увеличением поступления фосфора. Это для является хорошая прогреваемость водной толщи наряду с надводными в последние десятилетия увеличением поступления фосфора. Это обеспечивает повышение продуктивности водоема и ускоряет его заторфовывание.

Результаты многолетних исследований состояния экосистемы оз. Воже позволяют проследить динамику количественных и качественных показателей фитопланктона как первичного продуцента. Первое изучение фитопланктона оз. Воже было проведено в рамках комплексной экспедиции Института озеробоведения в 1972-1974 гг. (Трофимова озер..., 1978). Затем исследования проводились Волоцкой лабораторией ФГБНУ «ГосНИОРХ» в 1992-1993 гг., ежегодные исследования начались в 2000-е гг. и сейчас ведутся данные, собранные в 2011 г. Сравнительный анализ этих материалов дает возможность выявить тенденции в изменении таксономической состава, смену доминантного комплекса фитопланктона.

В целом фитопланктонное сообщество оз. Воже формируется за счет диатомовых, синезеленых, зеленых, золотистых, жгутоносных, криптофитовых, динофитовых и заглеченных водоросли. В 1970-х гг. основная доля биомассы и численности в углеродоизах приходилась на диатомовые, синезеленые, зеленые, жгутоносные водоросли. Среди массовых форм большей частью встречались представители интродукции синезеленых (p. Anabaena, Oscillatoria subtilissima и др.). Среднее значение биомассы и численности увеличивается в 1990-е гг. увеличение количества зеленых водорослей (хотя они и не достигли уровня развития диатомовых и синезеленых) определялось повышением содержания в озере фосфора (Водопьянов, 1999). Произошло изменение не столько общего состава фитопланктона, сколько увеличение числа массовых форм за счет ранее немногочисленных видов из группы диатомовых (роды Fragilaria, Melosira, Synedra), синезеленых (p. Microcystis), а также зеленых водорослей (p. Scenedesmus). Заметно увеличилась доля криптофитовых, что указывает на обогащение загрязнения озера.

По рассуду показателей, основанного на сравнении с поступлением биогенов, оз. Воже в этот период классифицировалось как «естественно-загрязненный» водоем (Петрова, 1990).

В 2000-е гг. абсолютным доминантом по численности в оз. Воже стала группа синезеленых водорослей, составляя 92-98% от общей численности. Хотя по биомассе (6-66%) эта группа сравнима с диатомовыми (24-60%) и зеленым водорослями (12-60%). Следует отметить, что синезеленые отличаются преобладанием нитчатых форм, и большинство из них постоянно входило в состав доминантных видов за первое десятилетие 2000-х гг. Для следования озера, начиная с 1970-х гг. Для диатомовых и зеленых водорослей по численности приблизительно были одинаковы, достигая 4-5% от общей численности соответственно. Среди зеленых по биомассе, численность разнообразию выделяются пенодиатомовые формы из порядка хлорококковых (роды Scenedesmus, Radiastrum). Сравнительно многочисленны и разнообразно представлены золотистые водоросли p. Dinobryon. Колебания численности фитопланктона оз. Воже в 2000-е гг. составляли 66-105 млн. кл/л, а биомасса изменялась в пределах 4.2-7.4 мг/л.

Таким образом, в оз. Воже основная перестройка фитопланктона произошла за счет изменения соотношения доминирующих таксономических групп водорослей при большой варьирующей численности основных представителей (Растопнова, 2003, 2008).

По нашим данным, в начале следующего десятилетия основные тенденции изменения фитопланктонного сообщества в связи с загрязнением оз. Воже сохраняются. Основу фитопланктона в 2011 г. составили представители отдела диатомовых, синезеленых, зеленых водорослей, и гораздо меньшую роль в его формировании имели такие систематические группы, как золотистые, криптофитовые, заглеченные и жгутоносные водоросли.

Для фитопланктона оз. Воже характерен осенний пик численности и как в 1970-е гг. продолжает отмечаться высокое содержание отмерших водорослей за счет интенсивного осеннего взмучивания.

четыре раза и достигла 400.45 млн. кл./л. Осредненная численность возросла почти в 6.8 мл/л, что сравнимо с предыдущим 90% от общей численности фитопланктона. В среднем биомасса фитопланктона в 2011 г. составила 6.8 мг/л, что сравнимо с предыдущим не в центре по численности составляли более 45% от общей биомассы. Доминирующие группы водоросли: Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta. Доминирующие виды: *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon gracile*, *Aphanizomenon issatschenkoi*, *Aphanizomenon klebahnii*, *Aphanizomenon yezsanense*, *Aphanizomenon yezsanense*, *Aphanizomenon yezsanense

carbon from the ecosystem as a result of increased microbial decomposition (The effect..., 2009, Carbon..., 2009). Part of the remobilized carbon, if it ends up in anaerobic conditions, will be released in the atmosphere as methane (CH_4), a potent greenhouse gas (IPCC, 2007). Furthermore, the CH_4 emissions from the Arctic might increase due to areal expansion of wet peatlands as a result of permafrost thaw, a process that has been already observed in Northern Scandinavia with sporadic permafrost (Decadal..., 2006). On the other hand, higher temperatures and increased evapo-transpiration might reduce the CH_4 efflux per unit area due to lower ground water level and thicker aerobic soil layer. This study addresses this thematic by investigating the CH_4 fluxes and environmental factors behind them in a tundra area with discontinuous permafrost.

The study was conducted Seida site that is located in southern tundra in Northeast European Russia, Komi Republic (67°03′ N, 62°56′ E). The mean air temperature in the region is −5.6 °C and the mean annual precipitation 501 mm [long-term averages for 1977-2006, data from Vorkuta station (67°48′ N, 64°01′ E, 172 m a.s.l.); Komi Republican Center for Hydrometeorological and Environmental Monitoring]. The study area has a heterogeneous landscape consisting of upland tundra, fens, willow wetlands and massive peat plateau complexes spotted by thermokarst lakes. From these land cover types willow wetlands and fens have water-logger soils and were recognized as the potential sites of high CH_4 efflux at the start of the study. The willow stands are typically 0.5-1.5 m high and grow on low-lying positions with water logged soils. The fens are found on littoral area of thermokarst lakes and on the edges of the frozen peat plateau peatlands. The fens in the area are mesotrophic and can be divided according to the dominant vascular plant into *Eriophorum* and *Carex* fens. *Sphagnum* is dominating in the ground layer and forms a dense mat floating on the water together with vascular plant roots.

Fluxes of CH_4 were measured at 11 land cover types during snow-free seasons 2007 and 2008 using the static chamber technique (Hot..., 2011). The CH_4 concentrations in the samples were analyzed within three months from sampling using a gas chromatograph with a flame ionization detector (Agilent 6890N, Agilent Technologies Deutschland, Boblingen, Germany). A leakage test with a high CH_4 concentration (15 ppm) showed that the reduction in gas concentration in the sample vials over two months was less than 1% (data not shown). Flux calculation and criteria to accept or reject fluxes for further analysis are described in Marushchak et al. (2011). Vascular leaf area index (LAI), water table level (WT), active layer depth (AL; depth of the thawed soil layer) and soil temperature at a depth of 25 cm were monitored at different land cover types by manual and continuous measurements as described by Marushchak et al. (2011). In 2008 the adjustment of moss surface to water table fluctuation on willow and fen microsites was read from a scale of a pole pushed down to the mineral soil.

Empirical models based on temperatures measured at a depth of 25 cm and water table level were used to produce hourly CH_4 dynamics during the snow-free period for the plots with large CH_4 fluxes (willow stands, *Carex* fen, *Eriophorum* fen).

$$CH_4 \text{ flux} = \alpha \cdot \beta\hat{}(T - 10)/10) \cdot \exp(\gamma \cdot WT),$$

where T is the soil temperature at 25 cm and WT is the water table level. Model parameters were estimated in SPSS 14.0 statistical software. The models were able to explain up to 94% of the temporal variability in the fluxes.

Willow wetlands and fens (15% of the landscape) were significant sources of CH_4, while CH_4 emissions from the rest of the terrestrial surfaces were very small. As a result of permanently high water tables on willow and fen sites, the CH_4 fluxes showed strong temperarature depence during both years. The CH_4 emissions increased in the order Eriophorum fen < Carex fen < willows, and were linearly dependent on the leaf area of vascular plants. The growing season emissions for these wetland types were 5.7, 19.6 and 21.2 gCm^{-2} (mean from 2007 and 2008), respectively, and the annual emissions 8.0, 26.5 and 30.6 gCm^{-2} (mean growing season plus the cold season).

The permanently high water tables at the fen microsites are due to the floating Sphagnum mat that follows the fluctuations of the ground water level during the season. This smoothens out changes of the water table level relative to the moss surface. While the absolute amplitude of the water table level at the fen sites in 2008 was 23 cm, as a result of the surface adjustment, this was reduced to 10-11 cm. Consequently, the fen sites remained water-logged below top 5-10 cm even during the lowest ground water levels in July. At the willow microsite the moss surface did not respond to changes in ground water level but also there the mean water table relative to the moss surface was close to zero.

Vascular leaf area index (LAI) explained well the variability in CH_2 fluxes across the studied wetland surfaces. According to a LAI map produced for the same area (Marushchak et al., in prep.), the fen plots used for flux measurements were not totally representative for the whole study area. While the flux measuring plots on fens had a mean LAI of 1.2, the overall LAI for the fens in the region was lower, 0.7. The linear relationship between CH_4 flux and LAI was used to correct CH_4 fluxes from the fen in the landscape scale in order to account for the difference in the LAI.

Our observations show that on fens typical for this area the floating peatland surface adjusts to the water table fluctuations. This means that these fen types might remain water-logged even if other

tundra ecosystem types would dry out as a consequence of increased evapotranspiration in the warmer climate. If the water table level remains in favorable range for methanogenesis and CH_4 efflux, the higher temperatures would enhance the CH_4 flux. Adjustment to the changes of water table was not observed on the willow stands but the reported enhancement in the willow growth by warmer temperatures (Forbes et al., 2009) may lead to increased CH_4 emissions from willow wetlands. According to the positive dependence between the LAI and CH_4 flux we found in this study, e.g., an increase in the LAI from 1.0 to 1.5 would mean 35% increase in the CH_4 emission on the tundra wetlands.

References

Carbon respiration from subsurface peat accelerated by climate warming in the subarctic / *E. Dorrepaal, S. Toet, R.S.P. van Logtestijn* et al. // Nature, 2009. Vol. 460. P. 616-U79.

Decadal vegetation changes in a northern peatland, greenhouse gas fluxes and net radiative forcing / *T. Johansson, N. Malmer, P.M. Crill* et al. // Global Change Biology, 2006. Vol. 12. P. 2352-2369.

Forbes B.C., Macias Fauria M., Zetterberg P. Russian Arctic warming and «greening» are closely tracked by tundra shrub willows // Global Change Biology, 2010. Vol. 16. P. 1542-1554.

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

Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region / *C. Tarnocai, J.G. Canadell, E.A.G. Schuur* et al. // Global Biogeochemical Cycles, 2009. Vol. 23. GB2023.

The effect of permafrost thaw on old carbon release and net carbon exchange from tundra / *E.A.G. Schuur, J.G. Vogel, K.G. Crummer K.G.* et al. // Nature, 2009. Vol. 459. P. 556-559.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ФИТОМАССЫ В ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.В. Махныкина
Сибирский федеральный университет
E-mail: sunlife1408@yandex.ru

Настало время, когда накопленные данные наук о Земле позволяют более глубоко взглянуть на происходящие глобальные изменения в природе, переосмыслить их масштабы и роль в стабильном развитии цивилизации (Халилов, 2010).

В климатологии пока не выработано консолидированного представления о причинах изменений климата, в том числе современных. Многие специалисты не согласны с выводами Межправительственной группы экспертов по изменениям климата о том, что современное потепление климата обусловлено главным образом антропогенной эмиссией парниковых газов. По их мнению, оно в преобладающей мере связано с естественными колебаниями климата (Серегин, 2011).

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата сфокусировали внимание исследователей на оценке продуктивности и бюджета углерода различных типов наземных экосистем. Интенсивная проработка проблемы до сих пор не привела к формированию согласованной точки зрения на пространственное распределение наземных стоков и источников углерода (Вомперский, 2011).

Бореальные леса играют важную роль в глобальном цикле углерода, представляя собой огромный резервуар аккумуляции атмосферного углерода в подземной и надземной фитомассе и почве. В мире насчитывается примерно 1.2 млрд. га бореальных лесов и лесных земель, при этом около 2/3 бореальных лесов находится в России (Кукавская, 2009).

Приводимые показатели стока углерода в леса России изменяются в широких пределах, что объясняется как большим разнообразием российских лесов по составу, структуре и продуктивности, так и недостатком, а часто и полным отсутствием региональных оценок баланса углерода (Шибистова, 2004).

Цели работы: определить запасы углерода в древостое сосновых насаждений Кеть-Сымской низменности, сравнить полученные результаты с данными за 2005 г. по этой территории, а также провести анализ общепринятых таблиц хода роста для исследуемой территории.

Район исследований находится на юге Туруханского р-на Красноярского края и относится к числу труднодоступных таежных территорий. Характерной чертой растительного покрова является высокая мозаичность лесных экосистем, которая выражена как в видовом разнообразии растительного мира, так и величине их биометрических показателей. На данной территории широкое распространение имеют как высокополнотные сосняки со сложной вертикальной и возрастной структурой, так и низкополнотные и низкопродуктивные древостои.

Для выявления участков со сходными типами растительного покрова на территории радиусом до 100 км от опорной точки наших измерений (измерительной вышки «ZOTTO») была проведена автоматическая классификация кос-

моснимков LANDSAT ETM+ с использованием метода максимального правдоподобия (Maximum likelihood), реализованного в пакете ГИС ERDAS IMAGINE. Для однородных участков в ГИС определены географические координаты. На основе анализа космоснимков в районе проведения исследований выделены трансекты, на которых были запланированы точки для закладки пробных площадей.

Закладка пробных площадей производилась по двум методикам. По первой – пробные площади закладывались в соответствии с общими нормативными требованиями, изложенными в ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». Здесь был проведен сплошной перечет с нумерацией деревьев, в который входил обмер диаметров всех деревьев на высоте 1.3 м. Минимальный диаметр деревьев, включаемых в перечет, должен быть 8 см для насаждений со средним диаметром от 10 см и более. Для насаждений со средним диаметром до 16 см – должен составлять 0.4 среднего диаметра. Высота измерялась у 25 разных по диаметру деревьев на каждой пробной площади. Среднюю высоту преобладающей породы определяют по графику высот для дерева среднего диаметра.

Для определения запаса надземной фитомассы древесного полога на постоянных пробных площадях отбирались модельные деревья. Выбор среднего модельного дерева провели в соответствии с распределением в древостое деревьев разной ступени толщины и рангом их положения в пределах категории жизненного состояния. Масса стволовой части у деревьев с диаметром на высоте груди более 40 см рассчитывается через объем цилиндров, диаметр оснований которых равен диаметрам двухметровых секций (Ярмишко, 2002).

Вторая методика состояла в том, что пробную площадь разбивали на три концентрических круга. Диаметр первого – 3.5 м, второго – 7.5 и третьего – 15.0 м. Центр каждой пробной площади отмечался деревянной вешкой (1.3 м высотой). Разбивка пробной площади на местности осуществлялась по направлениям С, Ю, З, В. Перечет древостоя в первом круге – сплошной. Минимальная длина окружности деревьев, принимаемая в перечет, – 10 см. Перечет древостоя во втором круге – выборочный. Перечету подлежали деревья, минимальная длина окружности которых равнялась 30 см. Перечет древостоя в третьем круге также являлся выборочным. Минимальная длина окружности деревьев, принимаемая в перечет, – 60 см. Перечет осуществлялся от направления на север с указанием породы дерева, азимута, дистанции от центра пробной площади до дерева, длины окружности на высоте 1.3 м, высоты, повреждений. Сухостойные деревья также учитывались. Измерение общей высоты древостоя и сухостоя проводилось с использованием высотомера-дальномера «Vertex» (см. рисунок).

По результатам наших исследований, общий запас углерода фитомассы в 2011 г. варьирует от 3.0 до 79.9 тСга$^{-1}$ с минимумом в насаждениях, пройденных вырубками главного пользования, и максимумом в насаждениях, не нарушенных хозяйственной деятельностью человека.

Полученные нами данные по запасам фитомассы согласуются с работами многих авторов, приводимых для этой территории (Шибистова, 2004; Кукавская, 2009), что свидетельствует о точности и практической значимости проведенных работ.

При сравнении полученных нами данных с запасами фитомассы за 2005 г. по исследуемой территории мы получили, что за последние шесть лет произошло явное увеличение запасов надземной фитомассы, которое в среднем составило 68.9 2.6 м^{3}га$^{-1}$ (13.8 тСга$^{-1}$). Из этого можно сделать вывод о том, что за рассматриваемый период времени на данной территории не происходило природных (пожары, вспышки численности насекомых) или антропогенных (рубки леса) губительных воздействий на экосистемы.

Сравнив полученные значения с данными региональных и всеобщих таблиц хода роста, мы выяснили, что данные по запасу фитомассы разнятся в больших пределах с показателями, представленными в региональных таблицах хода роста. При использовании этих таблиц полностью игнорируется широтная специфика исследуемой терри-

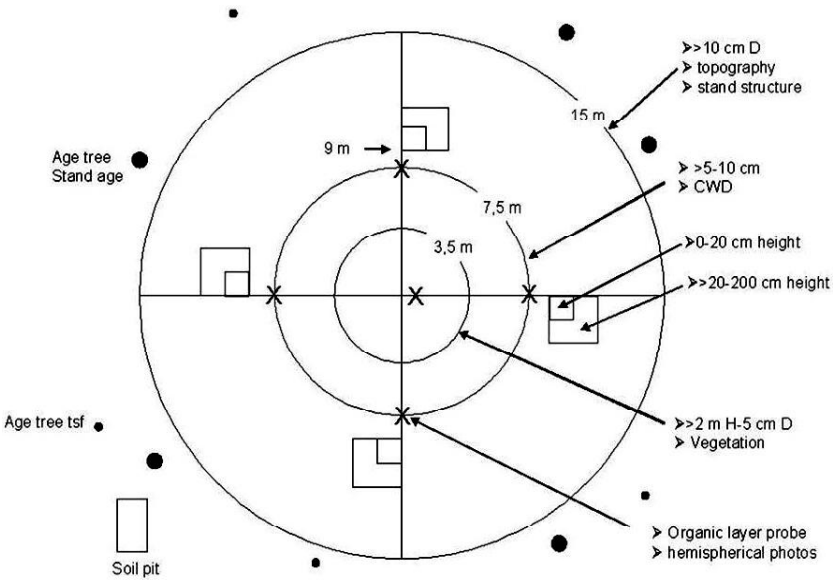


Схема пробной площади.

тории, что и приводит к различиям в запасах фитомассы, достигающим 20-30% по отношению к реальным запасам на изучаемой территории.

Проведенный анализ показывает, что наиболее точные результаты можно получить при использовании исходных, а не усредненных для лесхозов данных таблиц хода роста, из чего следует вывод о несостоятельности данных этих таблиц и дальнейшего их применения для определения запасов углерода древесных насаждений на исследуемых нами территориях.

Работа выполнена в рамках гранта правительства РФ (Постановление № 220) «Биогеохимия экосистем Евразии».

Литература

Вомперский С.Э. О неопределенностях углеродного цикла экосистем // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Матер. Междунар. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 25-26.

Кукавская Е.А. Воздействие лесных пожаров на баланс углерода среднетаежных сосняков Енисейской равнины: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2009. 19 с.

Серегин С.Я. Естественные причины современного колебательного потепления климата Земли // Экология и жизнь, 2011. Вып. 11. С. 46-49.

Халилов Э.Н. Первый доклад председателя Международного комитета по проблемам глобальных изменений геологической среды «GEOCHANGE» // GEOCHANGE IC GCGE, 2010.

Шибистова О.Б. Исследования углеродного баланса экосистемы методом микровихревых пульсаций на примере сосняка лишайникового в средней Сибири // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: Матер. Всерос. конф. Красноярск, 2004. С. 229-231.

Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 2002. 240 с.

РЕАКЦИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА НА СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕЗО-ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

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

Метан атмосферы относится к малым газовым примесям, определяющим парниковый эффект. Несмотря на то, что содержание метана в атмосфере в 200 раз меньше, чем диоксида углерода, интерес к исследованиям его цикла в биосфере постоянно растет, что можно объяснить более сильным парниковым эффектом этого газа. Его концентрация в атмосфере в 2002 г. составляла 1.78 ppm (WDCGG, 2004). Общее выделение метана в атмосферу в год – 700-1000 млн. т, при этом около 130-260 млн. т выделяют болотные экосистемы (Ehhalt, 1986). Эмиссия метана с поверхности болот – это динамичный процесс, который зависит от скорости его продукции и окисления и характеризуется высокой пространственной и временной изменчивостью, что связано с влиянием специфических факторов на процессы окисления и продукции метана (Dise, 1993; Kettunen, 2003). К ним относятся гидротермические условия и содержание питательных веществ в торфяной залежи.

Цель наших исследований – изучить сезонную динамику потоков метана в разных типах сообществ при изменении гидротермических и гидрохимических условий болота.

Изучение потока метана проводили с мая по сентябрь 2011 г. на болоте Мэдла-Пэв-Нюр на шести участках, различающихся по микрорельефу и видовому составу растений.

Отбор проб производился с использованием алюминиевых камер объемом 0.075 и 0.095 м^3, установленных на алюминиевые рамки размером 500×500 мм с желобом, заполняемым водой во избежание потерь воздуха. Рамки углубляли в торфяную залежь на 400 мм. Газ из камер собирался в пластиковые шприцы объемом 60 мл в определенные промежутки времени суток с общей экспозицией 20 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.

Анализ проб проводили на газовом хроматографе «Кристалл-5000.2» (ОАО «Хроматек») с использованием плазменно-ионизационного детектора. Микроклиматические параметры регистрировали автоматически датчиками «Hobo» (США). Кислотность болотных вод на глубине 20 см измеряли pH-метром «Эксперт-pH» (ООО «Эконикс-Эксперт») с допустимой абсолютной погрешностью ±0.05 pH. Содержание растворенного органического углерода в грунтовых водах измеряли в полевых условиях с использованием УФ-видимого спектрометра «spectrolyser» (S-can, Австрия) с диапазоном длин волн 200-742.5 нм.

В 2011 г. вегетационный период характеризовался жаркой погодой со среднемесячными температурами, превышающими на 1-4 °С многолетнее среднее. В самый жаркий и сухой ме-

сяц – июль, среднемесячная температура – +21-23 °С. В августе погода была прохладной с недобором осадков, основное количество которых выпало в конце месяца. В сентябре преобладала теплая с частыми осадками погода, средняя температура составила +8-10 °С.

За период с мая по сентябрь 2011 г. уровень грунтовых вод (УГВ) на болоте с повышением температуры постепенно снижался. В конце августа при понижении среднедневной температуры и увеличении количества осадков динамика УГВ менялась в обратном направлении. Минимальное сезонное значение УГВ отмечено 5 августа и составило 25.3 см ниже почвенного горизонта. При этом не выявлено резкое изменение содержания растворенного органического углерода.

Максимальные средние значения потока метана наблюдали в мезотрофной части исследуемого болота. При этом с поверхности мезотрофных участков, покрытых *Carex rostrata*, скорость эмиссии была выше в 1.5 раза, чем на участках без осоки (рис. 1). Полученные нами значения скорости эмиссии метана в 2011 г. в несколько раз превосходили результаты других авторов. Максимальный поток метана на болоте Мэдла-Пэв-Нюр почти в семь раз превышал установленный в тундровых торфяниках на европейском Севере (Heikkinen et al., 2002) и севере Аляски (Schimel, 1995), и был в четыре раза больше эмиссии в болотах таежной зоны (Федоров и др., 2008). Полученные нами в 2011 г. величины эмиссии метана значительно превосходят результаты 2008 г., что, возможно, обусловлено характером погоды в разные годы. Так, лето 2008 г. было более влажным, по сравнению с 2011 г., поэтому уровень грунтовых вод повысился в 1.5 раза.

Величина скорости потока CH_4 зависела от типа микрорельефа и характера увлажнения. Более высокие эмиссионные потоки отмечены на участках осоково-сфагнового ковра (до 19-22 мкг $м^{-2}с^{-1}$) и на кочках олиго- и мезотрофной частей болота (до 20-25 мкг $м^{-2}с^{-1}$). Для шейхцериево-сфагновой мочажины и травяно-сфагновой топи эмиссия составила (3-7 мкг мкг $м^{-2}с^{-1}$). Согласно другим авторам, на грядово-мочажинном болоте эти значения достигали 0.7 мкг $м^{-2}с^{-1}$ для сфагново-пушицевой мочажины и 0.08 – для сфагново-кустарничковой гряды (Федоров и др., 2008).

В течение сезона с мая по июль, когда уровень грунтовых вод на болоте снижался, среднедневные значения эмиссии метана возрастали до 9.14 мкг $м^{-2}с^{-1}$ (рис. 2). Однако в августе при отметке УГВ -20 см выделение метана с поверхности болота резко сокращалось до 2.2 мкг $м^{-2}с^{-1}$. Возможно, что на фоне высоких температур воздуха данная величина УГВ является критической для образования метана в торфяной залежи. Наблюдаемая нами тенденция к увеличению скорости эмиссии метана при понижении уровня грунтовых вод в 2011 г. противоречит данным других авторов, которые наблюдали увеличение эмиссии при повышении уровня воды в почвах болот (Methane..., 1998). Возможно, что при резком понижении или повышении уровня воды на болоте высвобождается большое количество метана, накопленного в нижних слоях торфяной залежи (Moore, Roulet, 1993).

В своей работе мы сравнили сезонную динамику скорости потока метана и температуры почвы на глубине 2 и 50 см на двух участках: олиготрофном и обводненном мезоевтрофном. В сезонной динамике на мезотрофном участке прослеживается увеличение скорости эмиссии метана при повышении температуры поверхности почвы и обратная динамика при ее понижении (рис. 3). Установлена тесная положительная корреляция потока CH_4 с температурой поверхности почвы на глубине 2 см на топяном мезоевтрофном участке (R = 0.7). С температурой нижних слоев торфа (50 см) связь эмиссии прослеживается, но не такая тесная (R = 0.5). На олиготрофном участке корреляция эмиссии метана с температурой не выявлена. Эти различия свидетельствуют о возможности транспорта метана разными путями при меняющихся температурах. На мезоевтрофной топи с невысокой массой растений происходит поток метана из метаногенного слоя почвы непосредственно в атмосферу, поэтому его интенсивность зависит от температуры поверхности и глубинных слоев почвы. На олиготрофном участке преобладает диффузионный транспорт метана через аэренхиму сосудистых растений, преж-

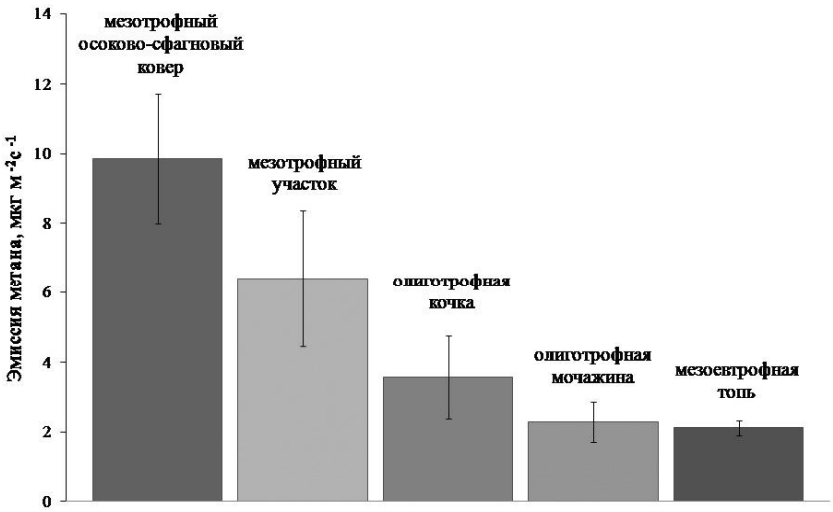


Рис. 1. Средняя скорость эмиссии метана на разных участках болота Мэдла-Пэв-Нюр в 2011 г. Бары соответствуют ошибке среднеарифметического значения.

де всего трав. В этом случае функциональная активность проводящей газ системы зависит от совокупности факторов, а не только от температуры почвы.

Нами не установлена зависимость скорости эмиссии от содержания растворенного органического углерода (РОУ) в болотных водах и pH воды. Концентрации РОУ находились в пределах 28-50 мг/л на олиготрофном участке и 31-42 – на мезоевтрофном. Это указывает на достаточное содержание доступного для микроорганизмов растворенного углерода в течение всего сезона, основная часть которого идет на образование ими метана (Charman et al., 1994). Kang и Freeman (2002) в своей работе отмечают, что на лесном болоте в летний период скорость эмиссии метана находилась в пределах 0.004-0.008 мкг $м^{-2}с^{-1}$ при концентрациях РОУ 18-40 мг/л. В осенний период концентрация РОУ увеличивалась до 80 мг/л, что приводило к росту эмиссии метана на 85%.

Таким образом, приведенные нами данные указывают на зависимость скорости эмиссии метана от гидротермических условий на болоте. Установлена тесная положительная корреляция потока метана и температуры поверхности для мезоевтрофной топи. Увеличение скорости эмиссии метана наблюдается со снижением уровня грунтовых вод до −20 см, а при более низких значениях УГВ этот процесс резко снижался. Не выявлена связь эмиссии CH_4 с содержанием растворенного органического углерода в воде.

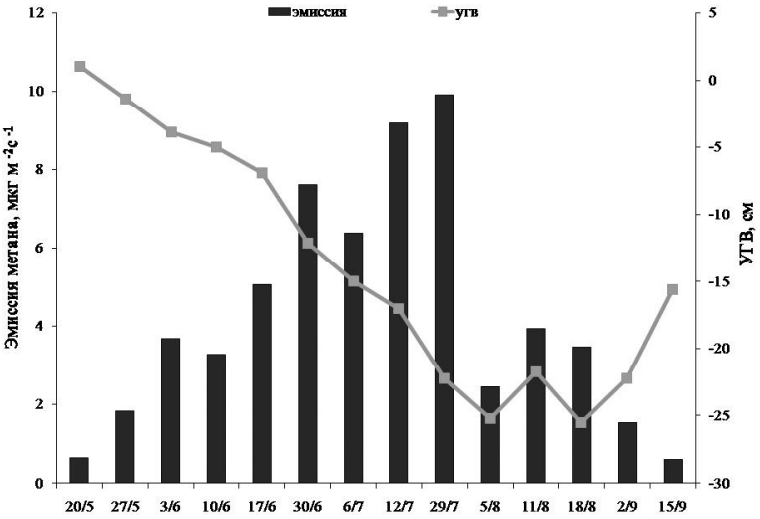


Рис. 2. Сезонная динамика скорости эмиссии метана и УГВ на мезотрофном участке болота Мэдла-Пэв-Нюр.

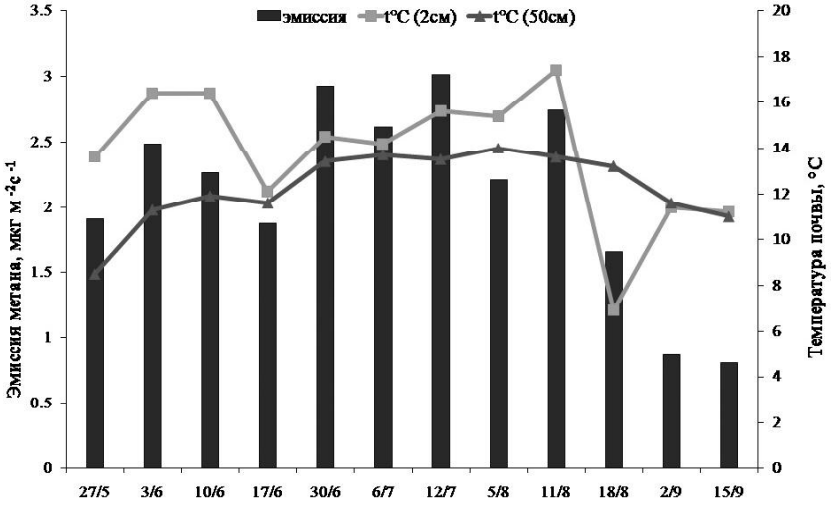


Рис. 3. Сезонная динамика скорости эмиссии и температуры почвы на мезоевтрофном участке на глубине 2 и 50 см.

Литература

Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Хромов М.И. Эмиссия метана с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области // Известия РГО, 2008. Т. 140. Вып. 5. С. 40-46.

Charman D., Aravena R., Warner B.D. Carbon dynamics in a forested peatland in north-eastern Ontario, Canada // Journal of Ecology, 1994. № 82. P. 55-62.

Dise N.B. Methane emission from Minnesota peatlands: spatial and seasonal variability. Global Biogeochemical Cycles, 1993. Vol. 7. P. 123-142.

Ehhalt D.H. The atmospheric cycle of methane // Microbial production and utilization of gases, 1986. P. 13-22.

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.

Kang H., Freeman C. The influence of hydrochemistry on methane emissions from two contrasting northern wetlands // Water, Air and Soil Pollution, 2002. № 141. P. 263-272.

Kettunen A. Connecting methane fluxes to vegetation cover and water table fluctuations at microsite level: a modelling study // Global Biogeochemical Cycles, 2003. Vol. 17. P. 1051.

Methane emission rates from a northern wetland: response to temperature, water table and transport / *J. Macdonald*, D. Fowler, *K.J. Hargreaves* et al. // Atmospheric Environment, 1998. Vol. 32, № 19. P. 3219-3227.

Moore T.R., Roulet N.T. Methane flux: water table relations in northern wetlands // Geophysical Research Letters, 1993. № 20. P. 587-590.

Schimel J.P. Plant transport and methane production as controls on methane flux from arctic wet meadow tundra // Biogeochemistry, 1995. № 28. P. 183-200.

WMO WDCGGases Data Summary. GAW Data // Volume IV Greenhouse and Other Atmospheric Gases. Japan meteorological Agency in Cooperation with World Meteorological Organization. 2004. WDCGG. №. 28. P. 98.

МЕЖСЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМЕ ВЕРХОВОГО БОЛОТА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

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

Торфяные болота имеют важное значение в углеродном цикле планеты, обеспечивая постоянный сток углекислого газа и формируя один из углеродных пулов биосферы (Вомперский, 1994). Запас углерода, накопленного в болотах бореального и субарктического регионов за несколько тысячелетий, достигает 400-500 Гт (Gorham, 1991; Davidson, Janssens, 2006). Межсезонная изменчивость погодных условий влияет на протекание процессов ассимиляции и эмиссии CO_2. Исследования показывают, что значительное влияние на изменение направления вертикальных потоков CO_2 оказывают такие факторы, как состояние растительного покрова (Lafleur et al., 1997), интенсивность ФАР (Comparative..., 2002) и температура почвы (Lloyd, Taylor, 1994).

Цель данной работы – выявление межсезонной изменчивости потоков диоксида углерода в экосистеме верхового болота средней тайги.

Исследования проводили на болоте Мэдла-Пэв-Нюр, расположенном в Сыктывдинском р-не Республики Коми в 40 км на северо-запад от г. Сыктывкар. Площадь болота составляет 2790 га, средняя мощность торфа – 1.4 м, максимальная – 3.4 м. Болото располагается на второй надпойменной террасе, водоприемниками служат реки Пожег и Пычим. Торфяная залежь верхового, смешанного, переходного и низинного типов с зольностью от 23 до 35% (Торфяные ресурсы..., 2000).

В работе использовали измерительную систему закрытого типа, которая включала стандартный комплект оборудования (A system..., 1997). Она состояла из ультразвукового анемометра для измерения направления и скорости ветра в трех проекциях и акустической температуры воздуха (Solent R3, Gill Instruments Ltd., Великобритания), инфракрасного газоанализатора (Li-7000, Li-Cor Inc., США) и автоматической метеостанции для регистрации параметров микроклимата (Campbell Scientific, США). Отбор проб воздуха проводили на высоте 4.23 м от поверхности болота (без учета снежного покрова), что позволяло исследовать пространство в радиусе 400 м от места расположения системы.

Среднюю величину *NEE* – чистого экосистемного обмена диоксида углерода, представляющего сумму величин валовой первичной продукции экосистемы (P_{gross}) и суммарного дыхания ее компонентов (R_{eco}) – рассчитывали за 30-минутные временные интервалы с использованием программного обеспечения EdiRe (Robert Clement, Университет Эдинбурга, Великобритания). После программного анализа полученных величин *NEE* выявляли ошибки измерений, которые могли возникнуть по нескольким причинам: 1) неустойчивой работы системы, калибровки, замены фильтров и деталей; 2) недостаточного перемешивания воздуха при низкой турбулентности ночью или при отсутствии ветра; 3) непостоянства факторов среды (Foken, Wichura, 1996). Не отвечающие параметрам проверки значения потоков CO_2 не учитывали при дальнейшей обработке данных.

В данной работе представлены результаты измерений в период с 30 сентября 2010 г. по 28 апреля 2011 г. Суточная динамика сравнивается для трех периодов года, соответствующих осенним (3-4 октября 2010 г.), зимним (22-23 ноября 2010 г.) и весенним (18-19 апреля 2011 г.) потокам CO_2.

Осенью в суточной динамике наблюдали четкое разделение дневного поглощения и ночного выделения CO_2 (рис. 1). Сток углекислого газа происходил примерно с 9:00 до 18:00 часов и составлял в среднем –13.7 мкг м$^{-2}$с$^{-1}$, в остальное время суток наблюдалась эмиссия CO_2 со средней скоростью 27 мкг м$^{-2}$с$^{-1}$. Эти показатели ниже, чем установлено для аапа-болота Финляндии (Aurela et al., 1998) и верхового болота на севере США (Shurpali et al., 1995). *NEE* за сутки осенью составил в среднем –2.54 г м$^{-2}$сут$^{-1}$, что несколько выше, чем было установлено на верховых болотах в центре европейской России и центральной Сибири (Comparative..., 2002). Зимой эмиссионный поток CO_2 составлял в среднем 12.7 мкг м$^{-2}$с$^{-1}$, *NEE* за сутки – 33.49 г м$^{-2}$сут$^{-1}$. Ранней весной в связи с оттаиванием верхних горизонтов почвы и возобновлением процессов дыхания и фотосинтеза растений, в дневное время наблюдали слабую эмиссию диоксида углерода (1.3 мкг м$^{-2}$с$^{-1}$) или слабый сток CO_2 (–3.7 мкг м$^{-2}$с$^{-1}$). Ночью эмиссия составляла в среднем 23.5 мкг м$^{-2}$с$^{-1}$. Весной *NEE* за сутки достигало в среднем 11.83 г м$^{-2}$сут$^{-1}$, что существенно выше величин, приводимых другими авторами для верховых болот центра Европейской России и центральной Сибири (Comparative..., 2002). Эти различия могут быть связаны с широтной изменчивостью климатических условий, структуры растительности, гидротермического режима болот.

В целом, средний суточный *NEE* осенью-весной может составлять от 10.5 до 25% от среднего суточного значения *NEE* в летнее время (Aurela et al., 1998; Comparative..., 2002).

Корреляционный анализ показал зависимость *NEE* в дневное время от интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР, рис. 2). При этом осенью, когда некоторые высшие ра-

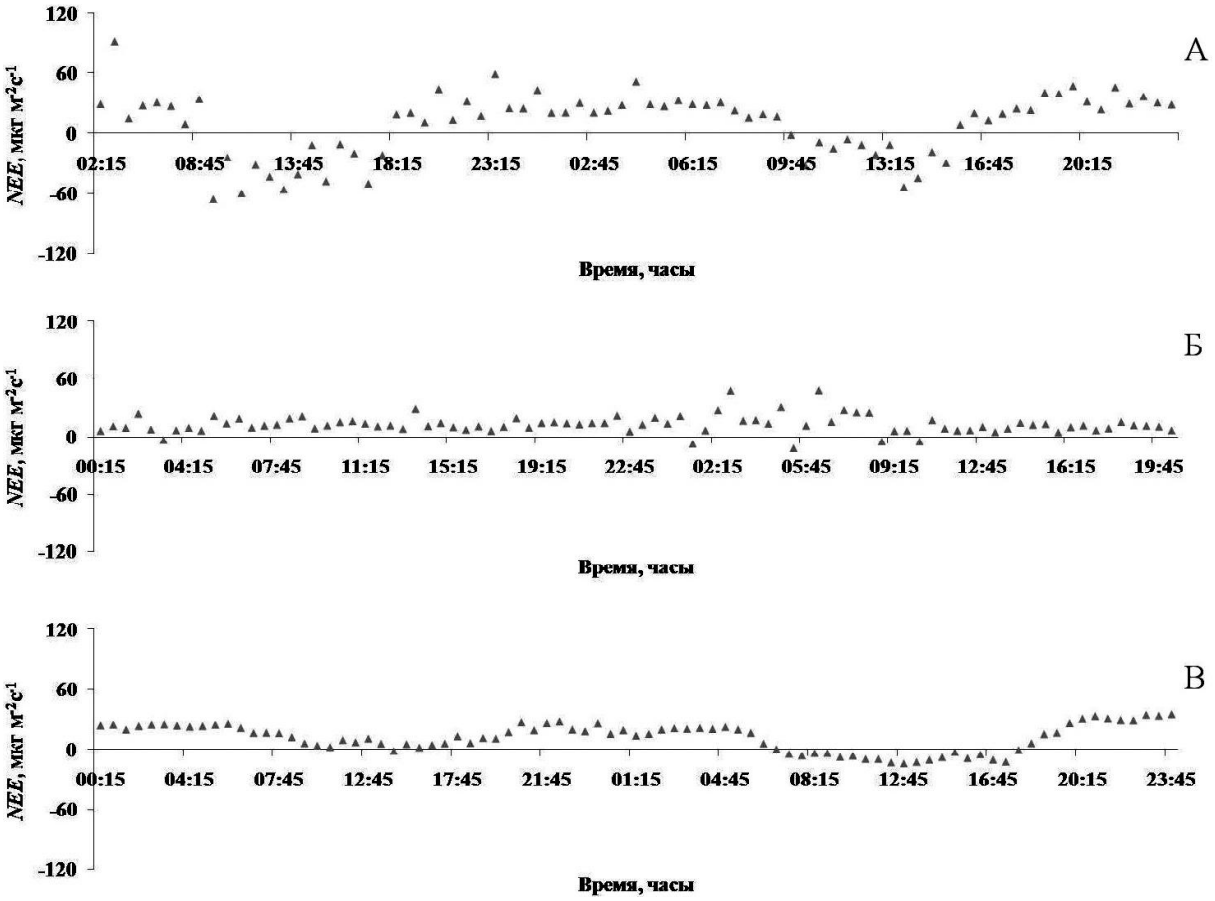


Рис. 1. Суточная динамика потоков CO_2с поверхности верхового болота осенью (А), зимой (Б) и весной (В). Здесь и далее отрицательные значения соответствуют стоку, а положительные – эмиссии CO_2.

стения, преимущественно кустарнички, еще сохраняют способность фотосинтезировать, сток CO_2 начинает превышать его эмиссию при ФАР 90 мкмоль м$^{-2}$с$^{-1}$. Весной превышение стока над эмиссией происходило после достижения ФАР 155 мкмоль м$^{-2}$с$^{-1}$. Это можно объяснить разрушением части пигментов в листьях зимнезеленых растений и мхов на болоте в зимний период, что ограничивает их фотосинтез при низкой солнечной радиации. Также установлена корреляционная зависимость P_{gross} от ФАР и температуры поверхности почвы в течение суток в осенний (r = 0.87 и r = 0.88 соответственно) и весенний (r = 0.73 и r = 0.73 соответственно) периоды.

На направление и интенсивность потоков диоксида углерода сильно влияет температура почвы (Kutzbach et al., 2007). Согласно нашим наблюдениям, увеличение экосистемного дыхания в ночное время сопряжено с повышением температуры поверхности почвы, а зависимость R_{eco} от температуры в течение суток хорошо описываются экспоненциальной функцией (рис. 3). Увеличение $T_{пов}$

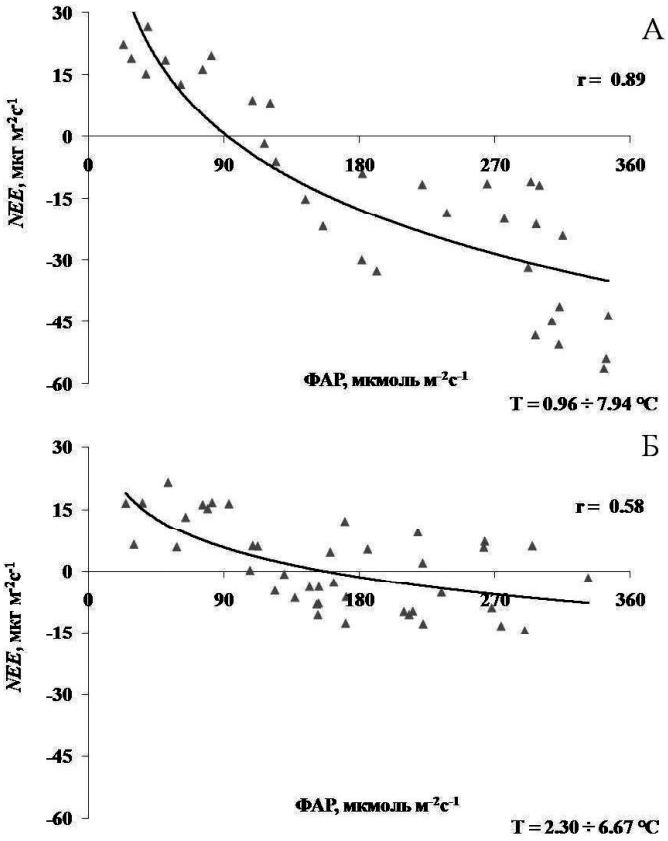


Рис. 2. Зависимость *NEE* от интенсивности ФАР: А – 3-4 октября 2010 г., Б – 18-19 апреля 2011 г.

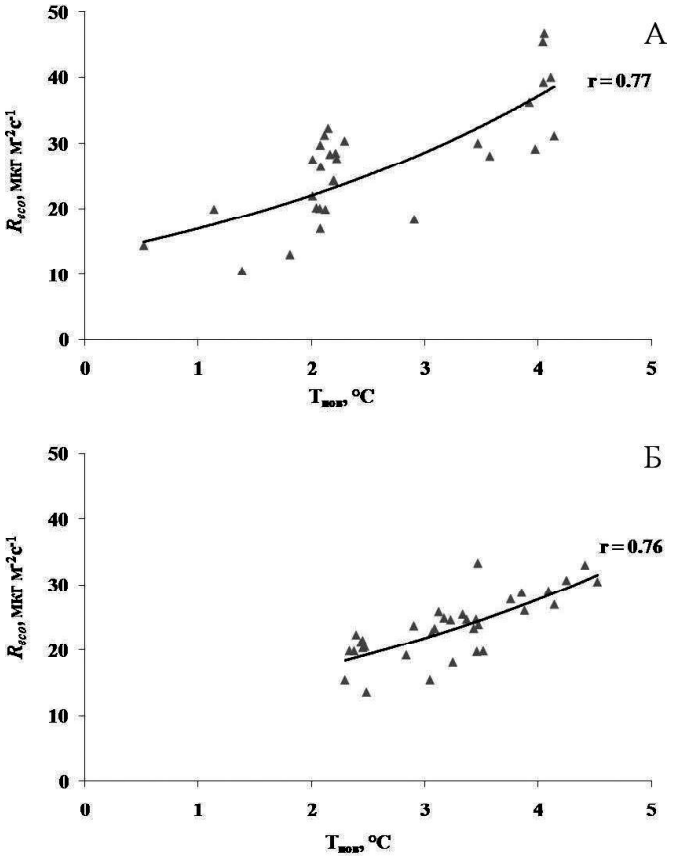


Рис. 3. Зависимость R_{eco} от температуры поверхности почвы ($T_{пов}$): А – 3-4 октября 2010 г., Б – 18-19 апреля 2011 г.

от 0 до 4 °С вызывает возрастание R_{eco} почти в четыре раза. Возможно, поэтому ранней весной и поздней осенью величина *NEE* зависит, прежде всего, от активности почвенного дыхания. Зависимость *NEE* от температуры поверхности почвы в течение суток не установлена.

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что в зимне-весенний период в болотной экосистеме эмиссия CO_2 значительно превышает его сток. Величина *NEE* составила от 11.83 до 33.49 г м$^{-2}$сут$^{-1}$. Осенью при температурах выше +4 °С наблюдается положительный баланс в экосистемном обмене CO_2.

Литература

Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение, 1994. № 12. С.17-25.

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

Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog II. Interseasonal and interannual variability of CO_2 fluxes / *A. Arneth, J. Kurbatova, O. Kolle* et al. // Tellus, 2002. № 54B. P. 514-530.

Aurela M., Tuovinen J.-P., Laurila T. Carbon dioxide exchange in a subarctic peatland ecosystem in northern Europe measured by the eddy covariance technique // Journal of geophysical research, 1998. Vol. 103. P. 11289-11301.

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

Foken Th., Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements // Agricultural and forest meteorology, 1996. № 78. P. 83-105.

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

Kutzbach L., Wille C., Pfeiffer E.-M. The exchange of carbon dioxide between wet arctic tundra and the atmosphere at the Lena River Delta, Northern Siberia // Biogeosciences, 2007. № 4. P. 869-890.

Lafleur P.M., McCaughey J.H., Joiner D.W., Bartlett P.A. Seasonal trends in energy, water, and carbon dioxide fluxes at a northern boreal wetland // Journal of geophysical research, 1997. Vol. 102. P. 29009-29020.

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

A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide / *J.B. Moncrieff, J.M. Massheder, H. de Bruin* et al. // Journal of hidrology, 1997. № 188-189. P. 589-611.

Shurpali N.J., Verma S.B., Kim J., Arkebauer T.J. Carbon dioxide exchange in a peatland ecosystem // Journal of geophysical research, 1995. Vol. 100. № D7. P. 14319-14326.

СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕ 30 ЛЕТ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ НА БРОШЕННЫХ ПАШНЯХ В ЗАПОВЕДНИКЕ «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ»

С.В. Москаленко
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
E-mail: moskalenkosvetlana@yandex.ru

За период 1897-2007 гг. на территории европейской России площадь земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота, оценивается в 43.2 млн. га, из них 22.5 млн. га приходится на центральную Россию (Динамика..., 2010). Несмотря на значительные площади залежей, процессы восстановления на них лесной растительности изучены недостаточно.

Цель нашего исследования – изучение состояния растительности после 30 лет восстановительной сукцессии на залежах в зоне широколиственных лесов.

Объектом исследования является растительность залежей, расположенных на территории южного участка заповедника «Калужские засе-

ки». Залежи представляют собой массив бывших внутрилесных пашен и выгонов, расчлененный овражной сетью и окруженный старовозрастными полидоминантными широколиственными лесами. Эта территория, известная как Чичин луг, с 1992 г. достоверно не испытывала антропогенных воздействий (Бобровский, 2002).

Исследования проводили на трех брошенных пашнях общей площадью 21 га (средняя площадь поляны 6 га). Расположение и форма одной из полян позволила нам провести описания как со стороны широколиственного леса, так и залесенного оврага, поэтому ниже мы будем ее рассматривать в качестве двух отдельных объектов. В 2011 г. на залежах было выполнено 63 полных геоботанических описания на пробных площадях 10×10 м; площадки располагали на трансектах, ориентированных перпендикулярно границе леса. Оценка количественного участия видов дана по комбинированной шкале Браун-Бланке.

При анализе структуры сообществ использовали классификацию эколого-ценотических групп (ЭЦГ) растений, разработанную для европейской России (Смирнова, 2004), классификацию по доминантам, эколого-флористическую классификацию по методу Браун-Бланке (Миркин, Наумова, 1998). Обработку данных осуществляли с помощью программ MS Excel, Eco ScaleWin. PC-ORD for Windows версии 5.0. Видовые названия сосудистых растений даны в соответствии со сводкой С.К. Черепанова (1995). Диагноз синтаксонов, согласно современным тенденциям развития синтаксономии, проведен с использованием единых блоков диагностических видов без подразделения их на характерные и дифференциальные (Миркин, Наумова, 1998; Булохов, Соломещ, 2003; Восточноевропейские леса..., 2004). Региональные блоки диагностических видов для союзов, порядков и классов определены и уточнены с использованием обзорных работ по растительности Южного Нечерноземья России (Миркин, Наумова, 1998; Булохов, Соломещ, 2003; Восточноевропейские леса..., 2004). Названия новым синтаксонам даны в соответствии с «Международным кодексом фитосоциологической номенклатуры» (Вебер и др., 2005). Экологическая оценка местообитаний проведена с помощью экологических шкал Элленберга.

Сформировавшиеся на пашнях растительные сообщества в целом можно отнести к березнякам разнотравным. В древесном ярусе абсолютное доминирование имеют пионерные виды: *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Salix caprea*. В подлеске присутствуют *Corylus avellana*, *Euonymus verrucosus* и *E. europaeus*, *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*, *Lonicera xylosteum*. В составе подроста отмечены неморальные виды: *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides* и *A. campestre*, *Quercus robur*, *Ulmus glabra*, *Tilia cordata*.

Состав травяно-кустарничкового яруса неоднороден. На рис. 1 представлен фрагмент изменения спектра ЭЦГ травяно-кустарничкового яруса вдоль трансекты. В описаниях ближе к границе залежь–лес ярус образован преимущественно неморальными видами с примесью лугово-опушечных. Общее проективное покрытие яруса варьирует от 30 до 65%, в среднем составляет 56%. Здесь обильны *Galeobdolon luteum*, *Asarum europaeum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria holostea*, *Lamium maculatum*, *Glechoma hederacea*, *Dryopteris carthusiana*.

При движении от границы широколиственного леса к центру поляны вдоль трансекты участие лугово-опушечных видов растений заметно возрастает. Общее проективное покрытие яруса в этих описаниях составляет 30-95%, в среднем – 61%. В сообществе обильны *Deschampsia cespitosa*, *Poa trivialis*, *Dactylis glomerata*, *Angelica sylvestris*, *Anthriscus sylvestris*, *Geum urbanum*, *Fragaria vesca*, *Veronica chamaedrys*, *Galeopsis speciosa*, *Campanula patula*, *Filipendula ulmaria*, *Pyrola rotundifolia*.

Покрытие мохового яруса не превышает 5%.

Неметрическое многомерное шкалирование (NMS) позволило нам выявить наличие флористической гетерогенности растительного покрова залежей. На рис. 2 представлено распределение описаний залежной растительности в двух первых осях ординации. Описания в облаках точек оказались сгруппированы по полянам.

В синтаксономическом положении сообщества на залежах относятся к классу мезофитных и мезоксерофитных широколиственных лесов зоны умеренного климата ***Querco–Fagetea*** Br.Bl. et Vlieger in Vlieger 1937, порядку ***Fagetalia sylvaticae*** Pawiowski et al. 1928, союзу ***Querco roboris–Tilion cordatae*** Solometch et Laivinsh ex Bulokhov et Solomeshch 2003 и двум ассоциациям: ***Mercurialo perennis–Quercetum robiris*** Bulokhov et Solomeshch 2003, ***Elytrigo repensi–Anthoxanthoetum odoratum*** ass. prov.

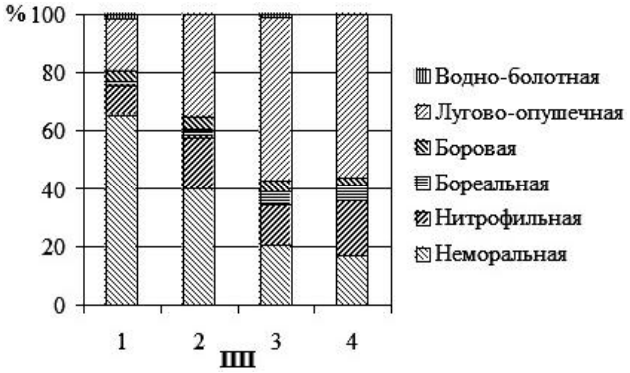


Рис. 1. Изменение спектра эколого-ценотических групп растений травяно-кустарничкового яруса описаний растительности на залежах. По оси X отмечены временные пробные площади (ПП) на трансекте. По оси Y – соотношение видов различных ЭЦГ.

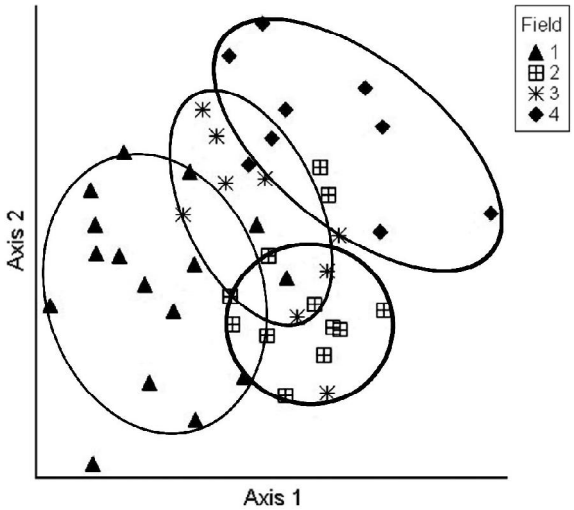


Рис. 2. Положение описаний растительности залежей в двух первых осях NMS. Разными символами отмечены площадки, относящиеся к различным полянам.Цифрами 1-4 обозначены номера полян.

Ассоциация ***Mercurialo perennis–Quercetum robiris*** Bulokhov et Solomeshch 2003 объединяет мезофитные лесные сообщества; описана на двух полянах. Диагностическими видами являются *Ulmus glabra* (B), *Malus sylvestris* (B), *Festuca altissima*, *Dryopteris filix-mas*. Расчет по экологическим шкалам Г. Элленберга характеризует субстрат как средневлажный (5.9), умеренно кислый (5.9), богатый азотом (5.8). В составе ассоциации установлено три варианта.

Вар. ***Campanula latifolia*** var. nov. диагностируют *Campanula latifolia*, *Veronica officinalis*, *Crepis tectorum*.

Вар. ***Betula pubescens*** var. nov. опознаваем по присутствию в травяно-кустарничковом ярусе *Betula pubescens* (C), *Corylus avellana* (C), *Salix caprea* (C), *Clinopodium vulgare*.

Вар. ***typica*** объединяет типичные фитоценозы ассоциации.

Ассоциация ***Elytrigo repensi–Anthoxanthoetum odoratum*** ass. prov. объединяет средневлажные растительные сообщества. Фитоценозы распространены только на одной брошенной пашне, на ней геоботанические описания проводились вдоль трансект со стороны широколиственного леса и залесенного оврага пашни в ходе полевых исследований. Ее диагностические виды: *Anthoxanthum odoratum*, *Elytrigia repens*, *Galeposis bifida*, *Leucanthemum vulgare*, *Agrostis tenuis*, *Rumex confertus*, *Cirsium arvense*, *Scutellaria hastifolia*. По сравнению с предыдущей ассоциацией здесь значительно выше доля луговых трав класса ***Molinio–Arrhenatheretea***. Расчет по экологическим шкалам Г. Элленберга характеризует субстрат как средневлажный (5.6), умеренно кислый (5.7), умеренно богатый азотом (5.1). Синтаксон включает два варианта.

Вар. ***Carex hirta*** var. nov. диагностируют *Carex hirta*, *Stellaria nemorum*, *Scrophularia nodosa*, *Vicia cracca*; объединяет описания, проведенные на поляне со стороны залесенного оврага.

Вар. ***typica*** представляет типичные сообщества ассоциации.

Таким образом, через 30 лет после прекращения антропогенного воздействия в ходе демутационных процессов растительности на выведенных из сельскохозяйственного оборота пашнях сформировался березняк разнотравный, который в синтаксономическом пространстве относится к классу мезофитных и мезоксерофитных широколиственных лесов ***Querco–Fagetea***. Если учесть, что леса заповедника «Калужские засеки» в основном принадлежат классу ***Querco–Fagetea*** (Восточноевропейские леса..., 2004), то можно предположить, что восстановительная сукцессия идет в направлении формирования полидоминантного широколиственного леса с доминированием неморальных видов во всех ярусах.

Автор выражает благодарность сотрудникам заповедника «Калужские засеки» за предоставленную возможность проведения исследований и помощь в организации работ; коллегам за помощь в сборе материала. Особую благодарность автор выражает своему научному руководителю М.В. Бобровскому за всестороннюю помощь работе.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ №12-04-01734.

Литература

Бобровский М.В. Козельские засеки (эколого-исторический очерк). Калуга, 2002. 92 с.

Булохов А.Д., Соломещ Л.И. Эколого-флористическая классификация лесов южного Нечерноземья России. Брянск, 2003. 359 с.

Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Под ред. О.В. Смирнова. М.: Наука, 2004. Кн. 2. 575 с.

Вебер Х.Э., Моравец Я., Терийя Ж.-П. Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры. Изд. 3-е // Растительность России, 2005. № 7. С. 3-38.

Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / *Д.И. Люри, С.В. Горячкин, Н.А. Караваева* и др. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.

Смирнова О.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Эколого-ценотические группы в растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Под ред. О.В. Смирнова. М.: Наука, 2004. Кн. 1. С. 165-175.

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 990 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТОРФЯНИКОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

А.В. Пастухов, Д.А. Каверин
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: alpast@mail.ru

Высокоширотные наземные экосистемы являются ключевыми компонентами глобального углеродного цикла (Sensitivity..., 2009; High-resolution..., 2011). Пул углерода органических соединений почв и торфяников (*далее*: почвенного углерода)в мерзлотных регионах очень высок, и этот законсервированный в мерзлоте углерод легко минерализуется при оттаивании почвы. Вместе с тем, значительно меньше известно о распределении углерода в ландшафтных компонентах различных экосистем и природных зон (Upscaling...,2002; Vulnerability..., 2008).

Район исследований находится на северо-востоке европейской России и характеризуется умеренно-континентальным умеренно-холодным климатом. Изучаемая территория, приуроченная к бассейну р. Сейда (1 участок), представляет собой низменную холмистую равнину, перекрытую мощным слоем четвертичных отложений. Участок Сейда представляет собой экотон лесотундры с несплошной многолетней мерзлотой: Гистик Криосоли (Histic Cryosols) распространены ограниченно и приурочены преимущественно к термокарстовым депрессиям на водоразделах. В равной степени получают распространение как минеральные мерзлотные – Криосоли (Cryosols), так и немерзлотные глеевые почвы – Гистик Глейсоли (Histic Gleysols). Под лесными массивами развиваются преимущественно неоподзоленные типы профилей. Альбелювисоли (Albeluvisols), текстурно-дифференцированные почвы, типичные для таежных экосистем, встречаются на данной территории под лесной растительностью, а также в виде погребенных двухъярусных почв под тундровой растительностью, по-видимому, являясь индикаторами изменения границы леса. Часть исследуемой территории занимают древние термокарстовые торфяные плато с мощностью торфа до 3.5 м. На них доминируют мерзлотные комплексы бугристых торфяников – Краик Гистосоли и Фибрик Гистосоли (Cryic Histosols и Fibric Histosols), в которых аккумулированы наибольшие запасы углерода (табл. 1).

На торфяном плато участка Сейда проведены исследования, целью которых было получение трехмерной картины распределения мерзлотных бугров, мочажин и термокарстовых озер. Для этого на ключевом участке была разбита пикетажная сеть и проведены теодолитная съемка, мониторинг глубины деятельного слоя, заложены две траншеи и проведено бурение до 2.5 м с отбором кернов на вершине, склоне и у подножия торфяного бугра. В этих траншеях подсчитаны запасы почвенного углерода и азота для верхних 30 см – мощности сезонно-талого слоя и до глубин нижних границ бурения 150 см и до 257 см (табл. 2).

Содержание углерода органических соединений в проанализированных скважинах находится примерно на одном уровне, варьируя в среднем от 42.3 до 50% (от массы почвы). Причем, как правило, для одной и той же глубины различия в показателях почвенного углерода между скважинами находятся в пределах ошибки определения. Различия в проанализированных скважинах четко проявляются при оценке профильного изменения величины C/N, характеризующей степень разложенности торфа и его обогащенности азотом. Во всех скважинах четко выделяется слой торфа на глубине 30-257 см, т.е. слой торфа, находящийся круглогодично в

Таблица 1

Запасы углерода органических соединений в основных почвенных группах в экотоне лесотундры (участок Сейда)

WRB, почвенные подгруппы	C, % (0-30 cm)	C, % (всего)	Горизонты		
			органические	минеральные	криотурбированные
	кг C·м² ± SD				
Folic Cambisols	8.7±3.2	15.0±3.7	4.0±2.2	11.0±4.1	–
Cambisols	5.9±2.2	10.2±2.0	2.1±0.9	8.1±1.9	–
Fluvisols	6.0±1.3	13.0±1.7	1.4±0.6	11.6±1.4	–
Histic Fluvisols	8.9±3.3	18.1±4.5	3.4±4.9	14.7±4.5	–
Histic Gleysols	7.0±2.3	17.5±2.7	4.4±2.5	13.2±2.3	–
Fibric Histosols	9.1±8.9	54.1±36.4	45.6±34.9	8.5±3.6	–
Others	5.6±1.7	9.7±0.6	2.4±1.9	7.1±2.2	–
Cryic Histosols	21.2 ±12.5	147.0 ±52.5	137.4±52.4	9.6±2.0	–
Cryosols	10.1±4.9	16.9±6.0	7.7±5.8	6.4±2.9	2.7±4.5
В среднем, кг C·м² ± SD	10.8	39.5	25.0	11.7	1.5

Таблица 2

Запасы углерода и азота органических соединений торфяников

№ скважины	Слой	Глубина, см	Запасы С, кг/м^2		Запасы N, кг/м^2	
			Траншея 1	Траншея 2	Траншея 1	Траншея 2
Скважина 1 Торфяное пятно	Сезонно-талый слой (СТС)	0-30	28.2	28.2	1.3	1.5
	Многолетнемерзлые породы (ММП)	30-150	46.5	51.7	2.0	2.3
		30-257	–	84.3	–	3.7
		0-150	74.8	80.0	3.4	3.8
		0-257	–	112.5	–	5.3
Скважина 2 Кромка торфяного бугра ("Пояс")	СТС	0-30	34.0	33.3	1.8	1.9
	ММП	30-150	90.3	93.1	4.9	5.2
		30-258	–	131.2	–	7.8
		0-150	124.3	145.9	6.7	7.2
		0-257	–	179.1	–	9.6
Скважина 3 Переувлаженная нижняя часть бугра, покрытая кустарниковой растительностью	СТС	0-25	5.7	5.8	0.2	0.3
	ММП	25-150	94.8	96.6	5.2	5.4
		25-257		151.4		8.0
		0-150	100.6	102.4	5.4	5.7
		0-257		157.2		8.3

мерзлом состоянии. Различия между тремя разрезами по каждой глубине незначительны и примерно находятся на одном и том же уровне. В какой-то мере можно говорить о том, что эта толща попала в мерзлое состояние, находясь примерно в одинаковых экологических условиях.

Все различия связаны с верхней 30-сантиметровой толщей торфа, которая включается в процессы сезонного замораживания-оттаивания. Четко выделяются два уровня – слой 0-10 см и 30-80 см. Верхний 0-10-сантиметровый слой – деятельный слой, так как в условиях тундры и лесотундры вся микробиологическая активность сосредоточена только в нем – четко различается по степени обогащенности азотом. В направлении от скважины 1 к скважине 3 снижается степень обогащения торфа азотом.

По абсолютному содержанию водорастворимых компонентов торфяная толща также четко разделяется на части. Мерзлая часть (с глубины 30-40 см и ниже) во всех разрезах характеризуется примерно близкими величинами углерода водорастворимых органических соединений ($C_{вов}$), извлекаемого водой при комнатной температуре (0.09-0.24% от массы почвы). Дополнительная обработка горячей водой позволяет в три-пять раз увеличить выход углерода водорастворимых органических соединений из образцов торфа мерзлой толщи (выход $C_{вов}$ 0.43-0.83%).

При оценке относительного содержания углерода водорастворимых органических соединений – в долях от почвенного углерода, видно, что в верхней части торфяника идут процессы минерализации торфа, с высвобождением легкоминерализуемых фракций, поддерживающих микробиологическую деятельность, рост и развитие растений. Доля легкоминерализуемых органических соединений в пятне существенно меньше, что может в какой-то мере объяснять, почему на нем полностью отсутствует растительность, так как именно легкоминерализуемые фракции обеспечивают растения азотом и питательными элементами в течение вегетационного периода.

Для рассмотренных торфяников характерна очень низкая доля фульвокислот в составе органического вещества: в мерзлых горизонтах – 6-13%, в сезонно-талых – 11-31%, тогда как высока доля гуминовых кислот. Соотношение Сгк/Сфк варьирует от 1.1 до 5.0, возрастая в мерзлых горизонтах. Но при этом следует отметить, что слои торфа, находящиеся на границе между постоянно мерзлой и верхней сезонно-талой толщей, отличаются максимальным относительным содержанием группы гуминовых кислот, что, по-видимому, связано с процессами надмерзлотной коагуляции и накопления гуминовых кислот. Мерзлые и сезонно-талые горизонты четко различаются по соотношению «подвижной» фракции ГК-1, представленной преимущественно гуматами железа и алюминия и гуминовыми кислотами, в которых протоны водорода в карбоксильных группах не замещены на ионы металлов, и «прочно связанной фракцией» ГК-3, представленной преимущественно прочными комплексами с остальными компонентами почвы (в случае торфов может быть с нерастворимым остатком – гумином). В мерзлых горизонтах (начиная с глубины 70 см

и ниже) в составе гуминовых кислот преобладают «прочно связанные» гуминовые кислоты, которые могут быть извлечены из образца только после нагревания в присутствии щелочи). В верхних слоях (с сезонной мерзлотой) на первое место выходят подвижные компоненты гуминовых кислот – гуматы железа и алюминия, т.е. те, которые могут участвовать в миграции в профиле и в ландшафтах.

Согласно современным исследованиям, считается, что органическое вещество немерзлотных и многолетнемерзлых грунтов имеет различный молекулярный состав и возраст (момент консервации в них углерода), а следовательно, различную скорость минерализации и, соответственно, чувствительность к изменениям температуры (Rodionow et al., 2006). Недавние экспериментальные исследования показали, что устойчивый пул органического вещества является наиболее чувствительным к температурным изменениям и первым подвергается декомпозиции (минерализации) (Conant et al., 2010).

Проведенные нами аналитические исследования подтвердили различный состав углерода органических соединений в сезонно-талых и многолетнемерзлых горизонтах, причем именно в сезонно-талой толще преобладают легкоминерализуемые фракции, т.е. даже незначительная повышенная чувствительность органического вещества при его оттаивании, учитывая его общие огромные запасы в высоких широтах, способна привести к значительному повышению эмиссии парниковых газов в наземных экосистемах уже в XXI в.

Последние проведенные аналитические и экспериментальные исследования показали, что молекулярная структура углерода органических соединений почв сама по себе не определяет степень его устойчивости: на самом деле определяющими являются экологические и биологические факторы: ризосфера и корни растений, почвенные микроорганизмы и ключевой фактор – циклы промерзания и оттаивания мерзлоты (Persistence..., 2011), поэтому необходимо дальнейшее продолжение мониторинга динамики глубины протайки и изменения поверхности торфяных пятен на исследуемых участках.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке проекта № 12-Е-4-1006 «Экологические качества эталонных почв европейского северо-востока России, их биоорганический потенциал как критерий продуктивности и охраны в свете подготовки Красной книги почв Республики Коми».

Литература

Conant R.T., Haddix M.L., Paustian K. Partitioning soil carbon responses to warming: model-derived guidance for data interpretation // Soil Biology and Biochemistry, 2010. Vol. 42. P. 2034-2036.

High-resolution mapping of ecosystem carbon storage and potential effects of permafrost thaw in periglacial terrain, European Russian Arctic / *G. Hugelius, T. Virtanen, D. Kaverin* et al. // J. Geophys. Res., 2011. Vol. 116. G03024.

Upscaling soil organic carbon estimates for the Usa Basin (Northeast European Russia) using GIS-based landcover and soil classification schemes / *P. Kuhry, G.G. Mazhitova, P.-A. Forest* et al. // Danish Journal of Geography, 2002. Vol. 102. P. 11-25.

Sensitivity of the carbon cycle in the Arctic to climate change / *A.D. McGuire, L.G. Anderson, T.R. Christensen* et al. // Ecological Monographs, 2009. Vol. 79. P. 523-555.

Rodionow A., Flessa H., Kazansky O., Guggenberger G. Organic matter composition and potential trace gas production of permafrost soils in the forest tundra in northern Siberia // Geoderma, 2006. Vol. 135. P. 49-62.

Persistence of soil organic matter as an ecosystem property / *M. Schmidt, Margaret S. Torn, S. Abiven* et al. // Nature, 2011. Vol. 478. P. 49-56.

Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle / *E.A.G. Schuur, J. Bockheim, J.G. Canadell* et al. // BioScience, 2008. Vol. 58(8). P. 701-714.

ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА ДИПЛОПОД (DIPLOPODA, MYRIAPODA) – СООТВЕТСТВИЕ ДАННЫХ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА И ТРАДИЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ

И.И. Семенюк
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
E-mail: free-cat@bk.ru

Для почвенного сообщества сапрофагов характерно необъяснимо большое количество сосуществующих видов, не обнаруживающих четкого разделения по трофическим, временным, пространственным или иным предпочтениям, что не вполне согласуется с общепринятой концепцией дифференциации видовых экологических ниш в сообществах (Anderson, 1975). Кроме того, крупные почвенные сапрофаги, как и большинство других животных, достигают максимума биологического разнообразия в низких широтах, что также не получило единого объяснения на данный момент (De Deyn, Van der Putten, 2005).

Высокое видовое разнообразие почвенных сапрофагов, несомненно, связано с историческими аспектами формирования сообществ, скоростью видообразования и специализации, однако поддержание этого разнообразия, по всей видимости, осуществляется путем разделения экологических, в том числе трофических, ниш.

В последние годы для исследования трофической структуры почвенных сообществ активно применяют изотопный анализ. Метод основан на наличии у ряда биогенных макроэлементов (C, N, O, S, H) нескольких стабильных изотопных форм, относительное количество которых изменяется в биологических и экологических процессах. Изменения относительного обилия тяжелых и легких атомов элемента, или «фракционирование», как правило, очень невелики, сотые доли атомных процентов, однако закономерны.

Для экологических исследований чаще всего используют азот (соотношение ^{15}N и ^{14}N) и углерод (соотношение ^{13}C и ^{12}C). В целом изотопный состав тканей потребителя отражает изотопный состав пищи. Однако в пищевой цепи происходит устойчивое накопление тяжелых изотопов азота (^{15}N) (в среднем около 2.7‰ на один трофический уровень), что позволяет из данных по содержанию ^{15}N в тканях разных животных получить информацию об их положении в пищевой сети, в частности, в сообществах с большим числом близких видов. Именно с помощью изотопного метода было доказано четкое разделение видовых трофических ниш в сообществах коллембол (Chahartaghi et al., 2005), орибатид (Schneider et al., 2004).

В наших предыдущих работах (Semenyuk, Tiunov, 2011) аналогичная трофическая дифференциация была выявлена в сообществе тропических многоножек, включающем более 30 морфологически близких видов (рис. 1). Диапазон изотопного состава тканей разных видов составил более 10‰ по азоту ($\delta^{15}N$) и 3‰ по углероду ($\delta^{13}C$). По величине $\delta^{15}N$ исследованные виды образовали континуум, в котором, однако, можно выделить три группы. Животные первой из этих групп по изотопной подписи приближались к хищным многоножками, вторая – занимала место типичных сапрофагов, питающихся опадом, а животные третьей группы были обеднены ^{15}N, что позволяет предположить в качестве источников их пищевого субстрата водоросли или лишайники.

Однако изотопный анализ, как правило, не дает возможности точно установить источник питания того или иного вида. Так, сходство изотопного состава первой группы диплопод с хищными многоножками вовсе не означает, что в их рационе преобладает животная пища. Другие потенциальные пищевые объекты диплопод (например, минеральная почва, плодовые тела микоризных грибов) также обладают достаточно высоким содержанием тяжелого азота (Тиунов, 2011). Таким образом, более точное определение состава рационов отдельных видов и, в конечном итоге, понимание структуры детритной трофической сети требует сочетания изотопного анализа с другими методами.

Одним из таких методов является традиционный анализ состава экскрементов животных. Метод малопродуктивен при попытках использовать его для определения полного состава рациона отдельных видов, поскольку часть пищевых субстратов не оставляет заметных следов в экскрементах (например, жидкие продукты гниения), часть субстратов весьма трудна для идентификации (фрагменты эпителиев различных растений неопределимы без знания структуры эпителиев всех растений сообщества). Однако мы предположили, что разрешающей способности метода хватит для выделения основных типов пищевых субстратов без дальнейшей таксономической конкретизации.

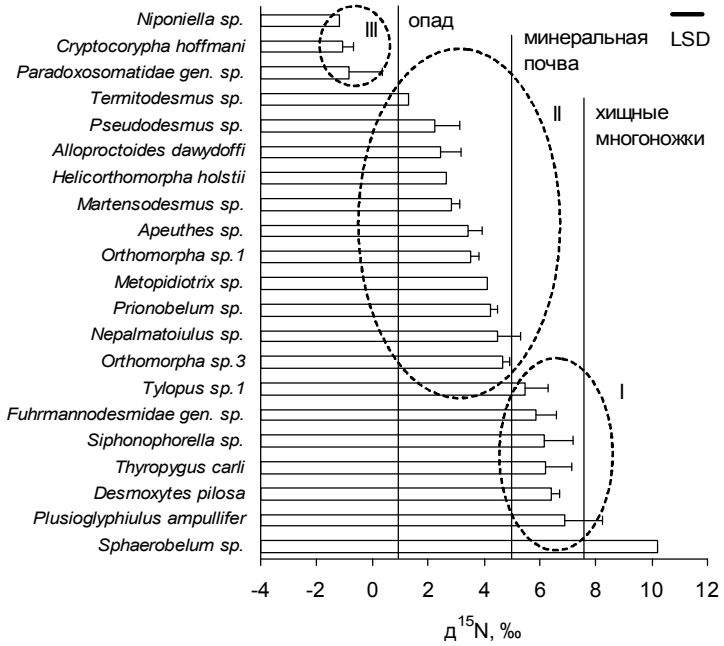


Рис. 1. Изотопный состав азота (δ15N) мышечных тканей разных видов тропического сообщества диплопод. Пунктиром выделены условные трофические группы, вертикальными линиями показан средний изотопный состав растительного опада, органического вещества почвы и тканей хищных многоножек. Планка погрешности показывает стандартное отклонение (n = 1-14). LSD – минимальная достоверная разница, $p < 0.05$.

Мы применили микроскопический анализ экскрементов некоторых видов в сообществе тропических диплопод, ранее подвергнутом исследованию изотопным методом, с целью конкретизировать трофические взаимоотношения в этом сообществе, выявить основные источники питания у некоторых спорных видов и подвергнуть оба метода перекрестной проверке.

Сбор материала был проведен в мае-июне 2011 г. и с ноября 2011 по февраль 2012 г. в национальном парке «Нам Кат Тьен», Южный Вьетнам (11°21′–11°48′ N; 107°10′–107°34′ E). Эти территории располагаются в зоне тропического муссонного климата с чередованием влажного и сухого сезонов, со среднегодовыми тем-

пературами около 26 °С и ежегодным количеством осадков около 2450 мм. Почвы в основном суглинистые, сформированы на выветренных базальтах, нейтральной или слабокислой реакции. Парк покрыт равнинными лесами с преобладанием *Lagerstroemia calyculata* (*Lythraceae*) и представителей семейств *Dipterocarpaceae*, *Fabaceae* и *Datiscaceae* в первом ярусе. Видовое богатство диплопод на территории парка составляет по меньшей мере 36 видов (Тиунов, 2011).

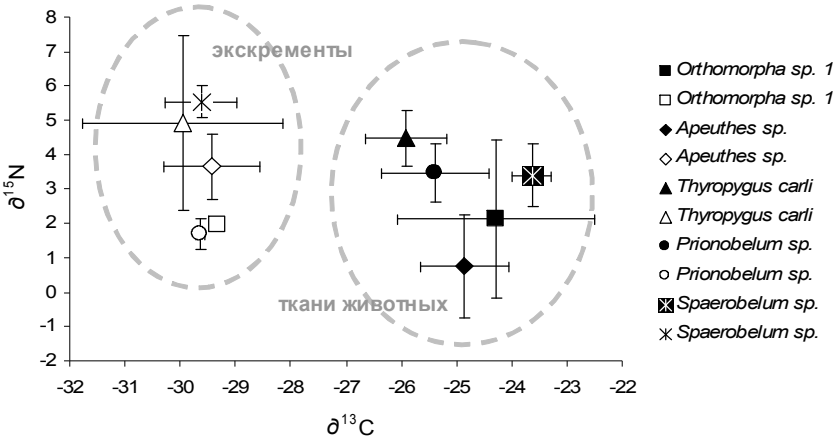


Рис. 2. Изотопный состав экскрементов и тканей животных разных видов. Планки погрешностей показывают стандартное отклонение (n = 1-32).

В первый период работы вручную собранных животных на некоторое время помещали в чистые пластиковые боксы (на одни-двое суток в зависимости от размера). Пробы тканей диплопод (несколько пар конечностей) и экскременты высушивали при 60 °С и сохраняли в герметичных емкостях при комнатной температуре. Таким образом были обработаны *Orthomorpha* sp. 1, *Apeuthes* sp., *T. carli*, *Prionobelum* sp. и *Spaerobelum* sp.

Изотопный анализ проводили в Центре коллективного пользования на базе ИПЭЭ РАН, на изотопном масс-спектрометре Finnigan Delta V Plus, соединенном с элементным анализатором Flash EA 1112. Одна проба включала в себя около 500 мкг животного материала или около 1200 мкг материала экскрементов. Изотопный состав выражали в тысячных долях отклонения от международного стандарта (δ, ‰):

$$\delta = [(R_{проба} - R_{стандарт})/R_{стандарт}] \times 1000,$$

где R – молярное соотношение тяжелых и легких атомов элемента в анализируемой пробе и в стандарте (VPDB для углерода, атмосферный N_2 для азота). Аналитическая ошибка измерения $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ составляла не более ±0.2‰.

Зимой аналогичным способом были отобраны экскременты у всех видов диплопод, использованных в работе, зафиксированы в 70%-ном этиловом спирте и впоследствии исследованы на микроскопах Nicon Eclipse E600 (Вьетнам, научный центр парка «Кат Тьен») и Olympus BX41 (Москва, ИПЭЭ РАН).

Изотопный состав тканей диплопод в данной работе согласовывался с предшествующими данными, локальные несоответствия изотопных подписей отдельных видов, по всей видимости, связаны с разными точками сбора материала (рис. 2). Изотопные подписи экскрементов трех видов диплопод оказались обогащены ^{15}N относительно тканей самих животных (в среднем на 2.9‰ у *Apeuthes* sp., 0.4 – у *T. carli* и 2.1‰ – у *Spaerobelum* sp.), хотя в большинстве случаев эта тенденция была недостоверна. У двух других видов экскременты были обеднены ^{15}N относительно тканей (1.8‰ у *Prionobelum* sp. и 0.2 – у *Orthomorpha* sp. 1).

Наиболее яркой закономерностью было очень существенное (на 4-5‰) обогащение тканей диплопод тяжелым изотопом углерода относительно материала экскрементов (и растительного опада). Причины этого явления не вполне понятны. Экскременты являются остатками пищеварения, т.е. неусвоенными частями пищевых материалов, преимущественно растительного происхождения. Можно предположить, что низкое содержание ^{13}C объясняется преобладанием в составе экскрементов наиболее устойчивых к перевариванию компонентов растительных материалов, прежде всего лигнина, для которого характерно низкое содержание ^{13}C (Bowling et al., 2008). Также вероятно, что повышенное количество ^{13}C в тканях животных связано с высоким содержанием тяжелого углерода в подстилочных сапротрофных микроорганизмах, заселяющих опад, так как именно они, а не сами растительные материалы, являются основным источником энергии у крупных почвенных сапрофагов (Тиунов, 2011).

При микроскопии экскрементов рассмотрен состав основной фракции (от 0.1 мм), размер частиц которой коррелировал с размером тела животного. В составе основной фракции среди всех исследованных видов диплопод был отмечен 71 компонент, которые были сгруппированы в восемь основных «пищевых субстратов»: эпителии листовых пластинок высших растений; минеральная почва – песок и мелкие камешки; мох; древесина; растительные волокна, представляющие собой фрагменты стеблей трав и черешки листьев; хитиновые остатки членистоногих; мицелий грибов из термитных садов. Кроме того, в некоторых экскрементах были обнаружены бесструктурные растительные остатки, не поддающиеся классификации и отнесенные к «аморфному детриту».

Группа исследованных видов диплопод отчетливо разделилась на «олигофагов» и «полифа-

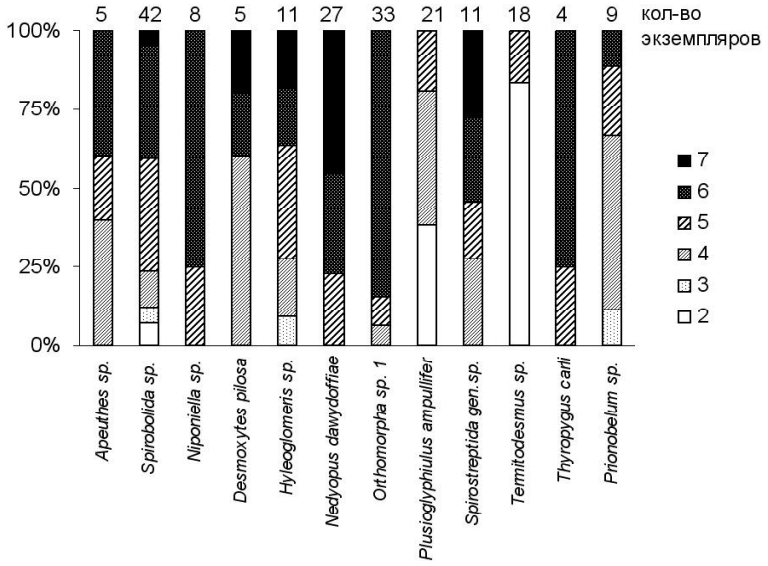


Рис. 3. Соотношение экземпляров с разным количеством одномоментно обнаруженных пищевых субстратов (от 2 до 7) в экскрементах разных видов диплопод.

гов» (рис. 3). К видам-олигофагам, у большинства индивидуумов которых в экскрементах было обнаружено не более пяти различных пищевых субстратов одномоментно (т.е. в одной пробе от одного животного), относятся *Termitodesmus* sp. и *P. ampullifer*. Первый вид ассоциирован с термитами, он был встречен только внутри грибных садов и термитных ходов. *P. ampullifer* был встречен исключительно в пещерах вулканического происхождения, населенных летучими мышами семейства *Phyllostomidae* и кистехвостыми дикобразами *Atherurus macrourus*. Эти животные оставляют в пещерах многочисленные экскременты, составляющие основу рациона беспозвоночных сапрофагов.

Склонность к полифагии продемонстрировали *N. dawydoffiae, Orthomorpha* sp. 1, *T. carli*, у большинства индивидуумов которых в экскрементах одномоментно присутствовало более шести различных видов пищевых субстратов. По данным наших наблюдений за поведением животных в естественных условиях, эти три вида обладают высоким уровнем двигательной активности, которая перемежается короткими периодами приема пищи. У других видов эти периоды значительно дольше, что ведет к уменьшению разнообразия одномоментного состава потребленных пищевых субстратов.

Хотя в пробе экскрементов от одного животного обычно обнаруживалось несколько видов пищевых субстратов, как правило, какой-либо один субстрат был преобладающим. Анализ встречаемости преобладающих пищевых субстратов показал, что разные виды диплопод специализируются на различных источниках питания. В экскрементах *T. carli* более 30% занимала минеральная часть почвы, у других видов доля почвы была значительно меньше (не более 20%). Весьма вероятно, что этим объясняется высокое содержание тяжелого азота в тканях *T. carli,* так как минеральная почва обогащена ^{15}N по сравнению с листовым опадом и другими растительными материалами (см. рис. 1). У многих видов значительную долю в экскрементах составляли остатки древесины (до 75%). Большинство этих видов было ассоциировано с разлагающимися колодами, они либо колонизировали мягкую древесину, проникая вглубь колод (*Apeuthes* sp., *Spirobolida* sp., *Prionobelum* sp.), либо встречались на поверхности бревен (*N. dawydoffiae, Orthomorpha* sp. 1). Эти виды оказались близки по величине $\delta^{15}N$ в тканях тела. Большое количество листового материала обнаружено в экскрементах *Orthomorpha* sp. 1, вида, показавшего себя в изотопном анализе как типичный сапрофаг. Экскременты *D. pilosa* также были богаты остатками листовых пластинок, однако ткани этого вида весьма обогащены ^{15}N. Возможно, это связано с еще одним значительным компонентом экскрементов D. *pilosa* – аморфным детритом. Значительную долю в экскрементах *P. ampullifer* составляли хитиновые остатки различных беспозвоночных (около 10%), что объясняет высокое содержание ^{15}N в тканях этого вида. В большинстве экскрементов *Termitodesmus* sp., живущего в термитниках, основную долю составляли остатки грибов. Ассоциированные с термитами грибы имеют невысокое содержание ^{15}N, что отражается на изотопном составе азота в тканях *Termitodesmus* sp.

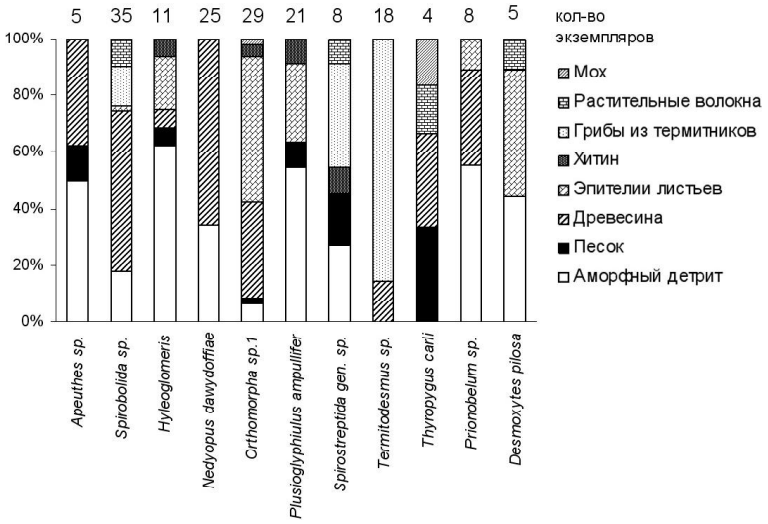


Рис. 4. Соотношение экземпляров с преобладанием различных пищевых субстратов в экскрементах для разных видов.

Таким образом, мы подтвердили, что межвидовые различия изотопной подписи тканей диплопод коррелируют с заметными различиями в рационе этих видов, а именно с преобладанием того или иного пищевого субстрата. Кроме того, микроскопический анализ экскрементов животных позволил уточнить данные о трофической структуре сообщества диплопод, выявив конкретные типы пищевых субстратов среди нескольких потенциально возможных и сходных по изотопным подписям.

Литература

Anderson J.M. The enigma of soil animal species diversity / Progress in soil zoology. Prague: Academia, 1975. P. 51-58.

Bowling D.R., Pataki D.E., Randerson J.T. Carbon isotopes in terrestrial ecosystem pools and CO_2 fluxes // New Phytol., 2008. Vol. 178. P. 24-40.

Chahartaghi M., Langel R., Scheu S., Ruess L. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios // Soil Biol. and Biochem., 2005. Vol. 37. P. 1718-1725.

De Deyn G.B., Van der Putten W.H. Linking aboveground and belowground diversity // Trends in Ecol. and Evol., 2005. Vol. 20. № 11. P. 625-.

Schneider K., Migge S., Norton R.A. et al. Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios ($^{15}N/^{14}N$) // Soil Biol. and Biochem., 2004. Vol. 36. P. 1769-1774.

Semenyuk I.I., Tiunov A.V. Trophic niche differentiation in millipede communities of forests of the temperate and tropical belts // M. Univ. Biol. Sciences Bull., 2011. Vol. 66. № 2. P. 68-70.

Тиунов А.В. Структура и функции почвенного населения тропического муссонного леса (национальный парк «Кат Тьен», Южный Вьетнам). М.: КМК, 2011. 277 с.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ТОРФЯНИСТО-ПОДЗОЛИСТО-ГЛЕЕВАТЫХ ПОЧВ (НА ПЫЛЕВАТЫХ СУГЛИНКАХ) ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Ю.В. Холопов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E -mail: Vegalyn@mail.ru

Исследования проводились в таежной зоне Республики Коми по изучению генетических особенностей торфянисто-подзолисто-глееватых почв.

Приведены материалы по двум почвенным разрезам:

1. Разрез Р-8-Х (координаты – 61°38′ с.ш. 50°43′ в.д.) заложен в 10 км на юго-запад от г. Сыктывкар, западная часть средне-таежной подзоны, среднегодовая температура воздуха +0.4 °С. Наблюдения на базе этого разреза велись в течение вегетационного периода (июнь, август, октябрь) (Атлас..., 1964).

2. Разрез Р-10-Х (координаты – 61°58' с.ш. 54°05′ в.д.) заложен вблизи с. Помоздино в восточной части среднетаежной подзоны, среднегодовая температура воздуха –0.2 °С (Атлас..., 1964).

Торфянисто-подзолисто-глееватые почвы составляют подтип полугидроморфных болотно-подзолистых почв, это наиболее распространенные почвы в таежной зоне, имеют большое лесохозяйственное значение (Забоева, 1975). Развиты в сочетании с торфяно-подзолисто-глеевыми почвами на обширных равнинных слабодренированных водораздельных пространствах. По приречным увалам в автоморфном ряду почвообразования торфянисто-подзолисто-глееватые почвы развиты в сочетании с типичными подзолистыми почвами, занимают слабодренированные равнинные территории, пологие склоны увалов. Формируются под еловыми зеленомошно-политриховыми кустарничковыми еловыми лесами в условиях поверхностного гидроморфизма. Водный режим рассматриваемых почв – промывной периодически переувлажненный (Забоева, 1996).

Морфологическое строение торфянисто-подзолисто-глееватых почв отражает характер их биогидрологического развития. Трансформация мохово-лесного опада происходит медленно. Мощность органогенного горизонта торфянистой подстилки О равна 10-20 см. По степени разложенности выделяются два подгоризонта О′ и О″. Под подстилкой часто развит коричнево-бурый горизонт A2hg с сизыми пятнами, мощность 3-5 см, мелкокомковатый. Более характерно под подстилкой развитие подзолистого горизонта A2g – серо-сизый, комковато-ореховатый. В этом горизонте в наибольшей степени выражено оглеение и образование железисто-марганцевистых конкреций. Переход в горизонт A2Bg постепенный. Мощность A2Bg 20-30 см, светло-бурый с сизыми пятнами оглеения, переход постепенный. Горизонт B1g бурый, уплотнен, плитчато-ореховатая структура, переход постепенный. Горизонт B2g плотный, отличается многопорядковой структурой: плитки толщиной 4-5 мм распадаются на более тонкие плитки и орехи, верхняя поверхность плиток покрыта светлыми пылеватыми скелетанами. Переход постепенный. Горизонт BCg – бурый с сизыми пятнами, очень плотный, липкий, бесструктурный. В июне и октябре на глубине 55-80 см поступала в разрез верховодка, отмечалась полная полевая влажность.

Исследуемые почвы развиты на пылеватых среднесуглинистых водно-ледниковых четвертичных отложениях. Анализ гранулометрического состава показывает, что содержание в профиле почв илистой фракции характерно подзолообразовательному процессу – в элювиальных горизонтах A2g, A2Bg происходит значительное разрушение (вынос) илистой фракции. Более высокое содержание илистой фракции в горизонте A2hg (P-10-X) связано с нахождением в нем частиц растительных остатков.

Торфянисто-подзолисто-глееватые почвы обладают высокой кислотностью по всему профилю. Наиболее высокая кислотность в верхних горизонтах. Обменная кислотность обусловлена подвижным Al. Гидролитическая кислотность связана с поступлением из подстилки в минеральные горизонты ненасыщенных низкомолекулярных органических кислот (Структурно-функциональная..., 2001). Рассматриваемые почвы бедны гумусом, несколько более высокое содержание гумуса (3.7%) в горизонте A2hg вследствие содержания в нем слаборазложившихся растительных остатков, а также поступления из подстилки водорастворимых органических и органо-минеральных соединений. В подзолистом горизонте A2g гумуса сокращается до 0.7-1.0%. Содержание аморфных оксалаторастворимых форм железа (по Тамму) более всего в горизонтах A2hg и A2g, что связано с наибольшим оглеением в этих горизонтах, испытывающих периодическое переувлажнение. Содержание двухвалентных форм железа связано с оглеением (Зайдельман, 2009), результаты анализов указывают на сезонный характер оглеения, обусловленный содержанием влаги в почве. В июне в почве возможна остаточная весенняя влага, почва оглеена по всему профилю; в августе содержание влаги падает. Значительно меньше и содержание FeO, оглеение выражено слабо; в октябре почва увлажнена с поверхности с признаками застойной влаги, наиболее оглеены горизонты A2g, A2Bg. Диагностическим признаком исследуемых почв является образование марганцовисто-железистых конкреций в A2g и A2Bg. Содержание ортштейнов в A2g может достигать до 5% от веса образца почвы.

Выводы

1. Основные генетические особенности торфянисто-подзолисто-глееватых почв обусловлены подзолисто-элювиальными и глеевыми процессами.

2. Торфянисто-подзолисто-глееватые почвы оглеены по всему профилю вследствие периодического повышенного увлажнения атмосферными осадками.

3. Актуальным свойством рассматриваемых почв является образование железисто-марганцовистых конкреций в горизонтах A2g и A2Bg.

4. Элювиально-глеевые процессы обуславливают тиксолабильные свойства пространственно-коагуляционной структуры торфянисто-подзолисто-глееватых почв.

5. Важнейшим биосферно-экологическим качеством торфянисто-позолисто-глееватых почв является накопление в биогеоценозе органического вещества в виде органогенного горизонта торфянистой подстилки. В процессе трансформации растительных остатков в минеральные горизонты поступают и органо-минеральные комплексные соединения. Накопление органического углерода в этих почвах в сочетании с промывным водным режимом с периодическим переувлажнением ставит торфянисто-подзолисто-глееватые почвы в разряд основного почвенно-земельного фонда лесохозяйственного и экологического значения.

Литература

Атлас Коми АССР. Сыктывкар, 1964.

Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар,1975. 345 с.

Забоева И.В. География и генезис подзолисто-болотных почв // Труды Коми НЦ УрО РАН, 1996. № 146. С. 5-17.

Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов: Учебник. М.: КДУ, 2009. 720 с.

Структурно-функциональная организация почв и почвенного покрова европейского Северо-Востока. СПб.: Наука, 2001. 224 с.

АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СОСТАВА ГУМУСА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Э.О. Чимитдоржиева
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
E-mail: erzhena_ch@mail.ru

Гумус является универсальной системой, определяющей и регулирующей практически все факторы, влияющие на формирование почвенного профиля и уровень плодородия. Почвенный гумус – один из основных звеньев непрерывной цепи трофических связей между различными жизненными формами. Гумус замыкает эту цепь и в то же время служит ее первым звеном. Для непрерывности жизни на Земле необходимо, чтобы после завершения каждого очередного цикла биологического круговорота оставалось какое-то количества гумуса –

источника энергии для микроорганизмов, начинающих новый цикл (Орлов, 1974). Однако после освоения почв и вовлечения их в длительное сельскохозяйственное производство происходит значительное ослабление и даже нарушение основных функций почвенного гумуса (Кленов, 2000), превалирование процессов распада над накоплением гумуса может привести к разрыву этой цепи и резкой смене экологических условий (Орлов, 1974).

Поскольку почвенный гумус является главным аккумулятором солнечной энергии на Земле, распределителем углерода, универсальным экраном, удерживающим в биосфере углеродсодержащие соединения, защищая их от геохимического выноса в Мировой океан и гарантом прежде всего получения растительной продукции, а значит, и устойчивости биосферы, то его потеря может быть одной из причин экологической катастрофы. Механизмы и размеры потерь гумуса варьируют в зависимости от типа почв и угодий. В настоящее время прослеживается общая тенденция потерь гумуса во всех или почти во всех освоенных и длительно используемых почв и достигают 0.1 кг/м^2 в год, а иногда и более (Кленов, 2000). Г.С. Макуниной (1989) рассчитаны средние запасы гумуса в метровом слое почв, среднемноголетние потери гумуса при земледельческом освоении черноземов и каштановых почв, согласно которым среднегодовая убыль гумуса составляет 0.1 и 0.07 кг/м^2 соответственно.

Сложные сочетания факторов почвообразования определяют различие состава и свойств гумуса. Так, например, в природных условиях при формировании почв под естественной растительностью гумусное состояние почвы приобретает равновесие вследствие сбалансированного протекания процессов поступления и расхода веществ.

В пахотном горизонте агрогенных почв идет процесс усиленной минерализации гумуса, уменьшается общее содержание органического вещества, меняется его качественный состав и структурно-функциональные параметры.

Для гумуса самых восточных каштановых почв Забайкалья характерно преобладание ФК над ГК, где отношение Сгк:Сфк в верхнем горизонте составляет 0.8, в нижнем – 0.7. При смене экологической обстановки в результате сельскохозяйственного использования эта величина возрастает до 0.9, тогда как, например, даже в светло-каштановых почвах европейской части России это отношение в пахотном слое составляет 1.3 (Гришина, Орлов, 1978). Теплый период в Забайкалье наступает только в июле и продолжается до середины августа, когда создаются благоприятные условия для разложения ОВ, но это наблюдается не во все годы.

Во фракции ГК отмечается значительное содержание ГК-1 (7-11% от суммы ГК), что является особенностью качественного состава гумуса длительно-сезоннопромерзающих каштановых почв (Чимитдоржиева, 1990), тогда как для каштановых почв европейской части России и Западной Сибири свойственно незначительное содержание или практически отсутствие этой фракции (Пономарева, Плотникова, 1980).

В составе ФК выявлена такая же закономерность в распределении по фракциям, как в ГК. Доля ГК в составе гумуса уменьшается с глубиной, а ФК – изменяется незначительно, что способствует фульватизации гумуса вниз по профилю. По-видимому, в условиях короткого и биологически активного периода создаются предпосылки для преимущественного образования более мобильных и упрощенных по структуре ГВ типа ФК. На долю гумина почвы приходится 44-52%. Данный факт обусловлен тем, что в условиях жесткого гидротермического режима происходит быстрое обезвоживание новообразованных ГК, что способствует их прочному связыванию с минеральной частью почвы и переходу в малоподвижные формы – гумин.

В агрогенной каштановой почве наблюдается незначительная потеря гумуса, но гораздо более выражено изменение его состава по сравнению с целиной, особенно в верхней и средней частях гумусового профиля. В пахотном слое по сравнению с гумусо-аккумулятивным горизонтом целинной почвы произошло уменьшение количества ГК, тогда как содержание ФК осталось на прежнем уровне. Подвижность ГК возрастает и с глубиной увеличивается доля ГК-2 и ФК-2.

В составе гумусовых веществ каштановых почв преобладают ФК, вследствие чего отношение Сгк:Сфк ниже единицы и составляет 0.6-0.9. В ГК преобладают ГК-2 и ГК-3. В ФК наблюдается такая же закономерность в распределении по фракциям, как в ГК. На долю гумина приходится 28-44%.

Таким образом, качественный состав гумуса, прежде всего, характеризует типовые признаки, эволюционирующие в течение длительного времени и сохраняющиеся в основных циклах, поэтому сельскохозяйственное использование каштановых почв сохраняет зональные особенности гумусообразования. При этом наиболее положительный баланс углерода обеспечивает и лучший его качественный состав и, наоборот, уменьшение поступления растительных остатков ведет к фульвотизации гумуса.

Каштановые почвы характеризуются ниже среднего содержанием гумуса. Его запасы в слое почвы 0-20 см низкие. Обогащенность гумуса азотом средняя-высокая. Степень гумификации ОВ – средняя. В составе ГВ преобладают ФК, вследствие чего отношение Сгк:Сфк ниже единицы (0.8-0.9). В ГК преобладают ГК-2, также значительно количество ГК-3. Во фракции ГК отмечается относительно низкое содержание фракции ГК-1.

Агрогенные каштановые почвы имеют низкие запасы гумуса, тип гумуса гуматно-фуль-

ватный Сгк:Сфк = 0.9. Степень гумификации ОВ средняя, обогащенность гумуса азотом высокая, содержание ГК-1 низкое, с малым содержанием ГК-2 и высоким ГК-3.

Таким образом, в исследуемых каштановых почвах запасы гумуса в слое 0-20 см незначительные. Это свидетельствует о низком потенциальном плодородии каштановых почв Забайкалья.

Литература

Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения, 1978. С.42-47.

Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал «Гео», 2000. 176 с.

Макунина Г.С. Потери в содержании и запасах гумуса при земледельческом освоении черноземов и каштановых почв // География и природные ресурсы, 1989. № 2. С. 52-58.

Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ, 1974. 332 с.

Чимитдоржиева Г.Д. Гумус холодных почв: Экологические аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. 145 с.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 219 с.

КОНЦЕНТРАЦИЯ И МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

О.В. Шахтарова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: olga.shakhtarova@mail.ru

Оценка состояния почв промышленных зон является одним из приоритетных направлений прикладной геохимии. Почвы, как главная депонирующая среда, влияют на загрязнение других компонентов ландшафта (Перельман, Касимов, 1999). Одна из функций почв как центрального компонента биосферы – регулирование поведения загрязнителей. Процессы почвообразования, свойства почв, формирующиеся в них геохимические барьеры определяют уровни концентрации и миграцию химических элементов.

Почвы субарктики, испытывающие значительный техногенный пресс, наиболее чувствительны к антропогенным воздействиям. Территория Воркутинского промышленного района более 60 лет подвергается высоким техногенным нагрузкам вследствие развития угольной, строительной отраслей промышленности и теплоэнергетики. Ежегодно в атмосферу в радиусе до 20 км и более выбрасываются аэрозоли, содержащие Cd, Pb, Zn, Co, Hg (Melnikov, 1991).

К настоящему времени детально исследовано содержание и профильное распределение тяжелых металлов в основных типах целинных почв Большеземельской тундры, установлен региональный уровень фонового содержания (Дымов и др., 2010).

Цель данной работы – оценка содержания ТМ в отдельных компонентах почв (ВПМ, скелетаны) для выявления современной миграции и аккумуляции в скелетанах, концентрации во внутрипедной массе.

Воркутинский р-н характеризуется ландшафтами с кислым глеевым классом миграции (Перельман, Касимов, 1999), представляет эрозионно-денудационно-аккумулятивную равнину с островным характером залегания многолетнемерзлых пород на глубине 0.9-2.0 м. В почвенном покрове этих ландшафтов до 30% занимают глееземы криометаморфические (тундровые поверхностно-глеевые почвы), формирующиеся на пылевато-среднесуглинистых отложениях (О, 0-9 см – Bh, 9-13 см – Bg(G), 13-38 см – CRM1, 38-60 см – CRM2, 60-100 см – BC, 100-120 см). Отличительной особенностью почв является сочетание под торфянистой подстилкой глеевого и криометаморфического горизонтов. Для глеевого горизонта характерны тиксотропность во влажном состоянии, уплотнение и компактность – в сухом. В оптимальных условиях дренирования и экстремально сухие годы признаки оглеения в гор. G могут быть представлены в минимальной степени. Преобладание в окраске бурых тонов, редких сизых и ржавых пятен дает основание выделению гор. Bg(G). Криометаморфический горизонт не оглеен, обладает специфической округло-ооидной структурой. Ведущими процессами педогенеза в почвах являются криогенный и глеевый, биогенная аккумуляция и трансформация органического вещества, слабо выраженные процессы миграции подвижных соединений. Анализы гранулометрического состава показывают обеднение илом верхней части почвенной толщи. В освоенных почвах (сеяный луг) из-за усиления контрастности водного и окислительно-восстановительного режимов (Стенина и др., 1981) усиливаются процессы физического выветривания, что приводит к некоторому увеличению содержания ила в верхней части. Под влиянием освоения ослабевают тиксотропные свойства, однако развитие дернового процесса остается слабым, а глубже 15 см почва сохраняет черты целинных тундровых почв.

В качестве объекта исследований были взяты также автоморфная почва лесотундры, формирующаяся под тундровой растительностью: органо-криометаморфическая (О, 0-7 см – CRMe, 7-11 см – CRMg, 11-24 см – CRM1, 24-38 см – CRM2, 38-70 см) и под лесной растительностью –

Рис. 2. Распределение тяжелых металлов в скелетах глеезема кромметаморфических – 1, светлозема – 2 и органо-кромметаморфических почв – 3.

Рис. 1. Распределение тяжелых металлов во внутрипенной массе глеезема кромметаморфических – 1, светлозем – 2 и органо-кромметаморфических почв – 3.

2010). Выполнено исследование профильного муса в подзолистом торфянте (Тонконогов, теряются кислой реакцией и наполнением гуминно Fe и его несгнатными формами. Характерна дифференцирована по ряду и валовому содержанию окиси Al. Наблюдается элювиально-иллювиальная дифференциация по валовому содержанию Fe, Cr и Co также аккумулируется гумусом в отсутствии окислов Fe. Сорбция Co усиливается в присутствии закисного Fe, а Zn увеличивает поглощаемость в кислой среде.

Накопление тяжелых металлов в почвах сравнено с хемосорбционными барьерами на поверхности кислородсодержащих минералов, образуют комплексы с органическим веществом, поглощены в кислой среде и сорбируются на окислах Fe, Mn.

Zn и Cd поглощаются глинистыми минералами, окислами Fe. Zn является элементом-биофилом; Cd и Co также аккумулируется гумусом в отсутствии окислов Fe. Сорбция Co усиливается в присутствии закисного Fe, а Zn увеличивает поглощаемость в кислой среде.

Накопление тяжелых металлов в почвах сравнено с хемосорбционными барьерами на поверхности кутанного комплекса, отбор проб внутрипенной массы (ВПМ) и пересаженных растений кутан (скелетан). Определение содержания Cu, Pb, Cd, Zn, Co выполнено в соответствии с аттестованными методами в лаборатории «Экоаналит».

Содержание тяжелых металлов, кроме Cu (рис. 1, 2) во внутрипенной массе (ВПМ) и скелетных тор. Bg(G) глеезема кромметаморфического несколько превышает таковое в тор. Bg почв фоновых ланшафтов Воркутинского р-на (Дымов и др., 2010). Фоновое содержание тяжелых металлов в тор. Bg глеезема кромметаморфического, мг/кг: Cu – 6.2±0.6, Pb – 7.1±0.3, Cd – 0.11±0.1, Zn – 22.9±1.2 (Дымов и др., 2010).

Известно, что Cu и Pb – металлы-органофилы, образуют комплексы с органическим веществом, поглощены в кислой среде и сорбируются на окислах Fe, Mn.

Zn и Cd поглощаются глинистыми минералами, окислами Fe. Zn является элементом-биофилом; Cd и Co также аккумулируется гумусом в отсутствии окислов Fe. Сорбция Co усиливается в присутствии закисного Fe, а Zn увеличивает поглощаемость в кислой среде.

Накопление тяжелых металлов в почвах сравнено с хемосорбционными барьерами на поверх-

ности минеральной толщи, поглощением коагуляционными агрегатами и гидроксидами Fe. Адсорбционный микрогеохимический барьер в почвах представляют Fe-Mn новообразования, роренштейны. В срединной части профиля в качестве барьеров выступают аккумуляции ила, а также глеевые горизонты для элементов с пониженной миграционной активностью в восстановительных условиях, и в зоне контакта окислительных и восстановительных условий.

В ВПМ глеезема криометаморфического прослеживается возрастание содержания меди в гор. CRM1, убывание в гор. CRM2 и равномерное распределение с глубиной. Сходный характер распределения меди наблюдается в светлоземе, с наибольшей концентрацией в гор. CRM1. В органо-криометаморфической почве содержание меди в ВПМ уменьшается вниз по профилю, аккумуляция происходит в верхних горизонтах. В скелетанах глеезема криометаморфического наблюдается элювиально-иллювиальный тип распределения с двумя пиками концентрации в гор. CRM1 и BC1. В скелетанах светлозема прослеживается незначительное увеличение с глубиной, а в органо-криометаморфической почве распределение меди элювиально-иллювиальное с концентрацией в гор. CRM2 в связи с изменением окислительно-восстановительных условий.

Распределение свинца в ВПМ глеезема криометаморфического носит также элювиально-иллювиальный характер с небольшой аккумуляцией в гор. Bh. Концентрация Pb в светлоземе происходит в гор. BF/BH и постепенно возрастает вниз по профилю. В органо-криометаморфической почве наблюдается иллювиирование в гор. CRMe, с уменьшением и равномерным распределением с глубиной. В ВПМ этой почвы содержание Pb самое высокое.

Поведение свинца в скелетанах почвы сеяного луга сходно с поведением меди и остальных ТМ, что связано с гидротермическим и окислительно-восстановительным режимами гор. Bg(G) и формированием глеевого геохимического барьера. Элементы с пониженной миграционной активностью в восстановительных условиях концентрируются на этом барьере. Увеличение концентрации в нижележащих горизонтах связано со сменой средних суглинков на тяжелые, появлением механического барьера. Окислительные условия и кислая среда увеличивают миграционную способность металлов в почвах. Высокая концентрация Co, Zn и Cu может быть связана и с использованием транспорта при внесении минеральных удобрений. Повышенное содержание Co, Pb и Zn может быть за счет железо-марганцевых конкреций. Данные выводы относятся к ТМ, содержащимся в скелетанах, характеризующих современные процессы в почвах. Внутрипедная масса законсервировала в себе продукты более ранних периодов функционирования почвы. Увеличение содержания физической глины в гор. Bg(G) и CRM2 способствует сорбции ТМ. В светлоземе накопление свинца происходит в гор. BF/BH в связи с близостью к органогенному горизонту и, следовательно, высоким содержанием органического вещества. Уменьшение его содержания наблюдается в скелетанах гор. CRM2, дальнейшее незначительное повышение происходит в нижележащих горизонтах. Тот же характер поведения прослеживается в скелетанах светлозема по всем рассматриваемым ТМ. Распределение свинца, кадмия, цинка и кобальта в скелетанах органо-криометаморфической почвы сходно с поведением меди. Наибольшее содержание физической глины (Тонконогов, 2010) в данной почве относится к гор. CRM1, наименьшее – к гор. CRMg, что определяет поведение ТМ. Высокие показатели ТМ в верхних горизонтах связаны с содержанием гумуса. Фульватный характер органического вещества определяет активность поведения ТМ.

В профильном распределении кадмия в ВПМ прослеживается возрастание концентрации вниз по профилю в глееземе криометаморфическом. В ВПМ светлозема содержание кадмия повышено в гор. Eg и резко снижается в гор. BF/BH с последующим иллювиированием его в нижележащие горизонты. В ВПМ органо-криометаморфической почвы распределение кадмия вниз по профилю носит аккумулятивно-элювиально-иллювиальный характер, и концентрация Cd в ВПМ этой почвы выше по сравнению с глееземом криометаморфическим и светлоземом. Поведение кадмия в скелетанах глеезема криометаморфического аналогично поведению меди, что прослеживается также для цинка и кобальта.

В ВПМ глеезема криометаморфического наблюдается накопление Zn в гор. Bg(G) и CRM2 с уменьшением концентрации вниз по профилю. В светлоземе прослеживается накопление в нижележащих горизонтах. В органо-криометаморфической почве аккумуляция Zn происходит в гор. CRMg с уменьшением его содержания вниз по профилю.

Поведение кобальта в ВПМ профиля глеезема криометаморфического аналогично распределению меди, в светлоземе – сходно с характером распределения Pb. Во внутрипедной массе органо-криометаморфической почвы профильное распределение кобальта практически не дифференцировано.

Наблюдается более высокое содержание элементов в скелетанах по сравнению с внутрипедной массой (рис. 2). Скелетаны, приуроченные к границе раздела фаз, выполняют функцию микробарьера, на котором происходит как сорбционная концентрация компонентов из мигрирующих растворов, так и осаждение. Повышенная концентрация тяжелых металлов в скелетанах может служить индикатором загрязнения мигрирующих в почвах растворов.

Таким образом, поведение элементов в почвах контролируется свойствами почв: величи-

ной pH, содержанием физической глины, органического вещества, выраженностью криогенных процессов.

Выводы

1. Содержание ТМ в структурных компонентах почв близко к региональному уровню фонового содержания в почвах Большеземельской тундры.

2. Несколько более интенсивно ТМ накапливаются в профиле органо-криометаморфической почвы, что может быть объяснено влиянием железнодорожного транспорта.

3. Ведущую роль в накоплении и профильном распределении ТМ играют природные факторы: физико-химические свойства почв, содержание гумуса, физической глины, окислительно-восстановительные условия, глеевые и термодинамические барьеры.

4. Распределение ТМ в компонентах кутанного комплекса (скелетаны) выявляет особенности современной миграции и аккумуляции в профиле почв.

5. Концентрация в ВПМ обусловлена составом почвообразующих пород, влиянием природных факторов на развитие почв.

Выражаю благодарность научному руководителю, ведущему научному сотруднику отдела почвоведения ИБ Коми НЦ УрО РАН д.б.н. Г.В. Русановой.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 12-Т-4-1004 «Формирование и функционирование почв криолитозоны европейского Северо-Востока в условиях изменения климата и антропогенных воздействий» программы ОНЗ РАН № 14 «Состояние окружающей среды и прогноз ее динамики под влиянием быстрых глобальных и региональных природных и социально-экономических изменений».

Литература

Дымов А.А., Лаптева Е.М., Калашников А.В., Денева С.В. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры // Теоретическая и прикладная экология, 2010. № 4. С. 43-48.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея, 2000. 768 с.

Стенина Т.А., Кононенко А.В., Цыпанова А.Н. Влияние сельскохозяйственного освоения на свойства тундровых почв // Почвоведение, 1981. № 2. С. 92-104.

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

Melnikov S.A. Report of heavy metals // The state of the Arctic environment. Rovaniemi, 1991. P. 82-154.

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ БЕНЗ[А]ПИРЕНОМ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ

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

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – соединения, проявляющие по отношению к живым организмам канцерогенные, мутагенные и другие токсичные свойства (Bispo et al., 1999). В качестве показателя присутствия канцерогенных ПАУ в природных объектах чаще всего определяют незамещенный индивидуальный углеводород – бенз[а]пирен (БП). Этот углеводород наряду с другими высокомолекулярными ПАУ (дибензпирены, дибензантрацен, бензфлуорантены) – очень сильный канцероген первого класса опасности, 3,4-бензпирен относится к самым сильным мутагенам (Растения и..., 1979). В России обязательному контролю в почве подлежит лишь БП. Предельно допустимая концентрация бенз[а]пирена для почвы – 20 нг/г (ГН 2.1.7.2041-06). Генотоксические канцерогены не имеют порогового уровня, т.е. их присутствие в любом определяемом количестве опасно для живого организма.

Ячмень – древнейшая культура с широким спектром достоинств. Растение отличается высокой пластичностью, что позволяет возделывать его в самых различных почвенно-климатических условиях. Это самая северная, высокогорная и скороспелая культура. Ячмень занимает одно из ведущих мест в мировом зернопроизводстве, что обусловлено его использованием в пищевой, кормовой, пивоваренной, фармацевтической и косметической промышленности (Головко и др., 2004).

Цель работы – определить воздействие бенз[а]пирена на рост и развитие ячменя в условиях модельного эксперимента.

Исследование включало выращивание ячменя (*Hordeum vulgare L.*) при загрязнении субстрата бенз[а]пиреном в дозах 10, 20, 30 и 40 нг/г почвы. Контрольный вариант без внесения бенз[а]пирена. Эксперимент проводили в девяти повторностях. В качестве почвенного субстрата использовали предварительно прокаленный боровой песок, в который вносили питательную смесь солей следующего состава: 0.334 г NH_4NO_3; 0.166 г KNO_3; 0.70 г $Ca_3(PO_4)_2$; 0.25 г $Fe_2(SO_4)_3$; 0.614 г KCl; 0.50 г $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0.50 г $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в расчете на 1 кг песка. Данная питательная смесь считается оптимальной для пшеницы, ячменя, гречихи и ряда других культур, имеет pH = 5. В опыте использовали ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Новичок».

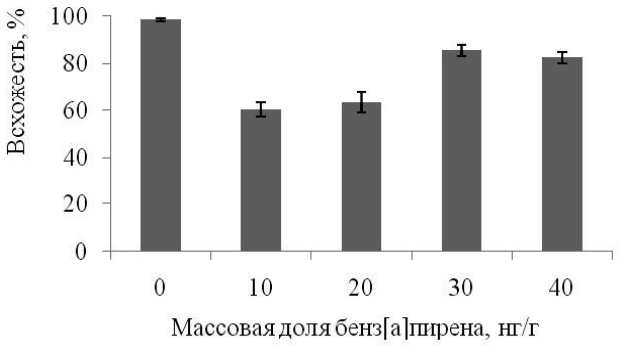


Рис. 1. Всхожесть ячменя при разных уровнях загрязнения почвы бенз[а]пиреном.

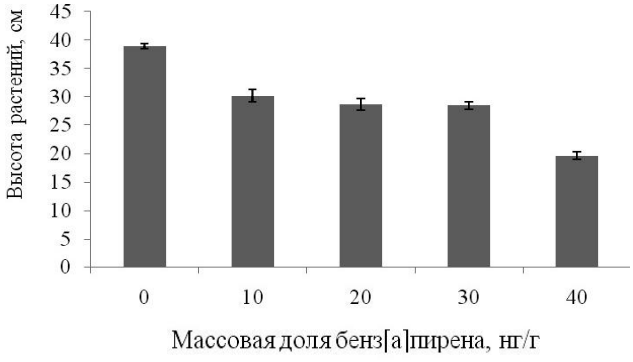


Рис. 2. Зависимость высоты растений от уровня загрязнения почвы бенз[а]пиреном.

Эксперимент проводили в течение месяца, на пятый день опыта учитывали количество всходов. Перед окончанием опыта измеряли высоту надземной части растений, затем растения извлекали из почвы. Учет сырой биомассы проводили раздельно для корней и надземной части.

Анализ результатов опыта показал, что внесение БП в почву оказывает значительное влияние на физиологические процессы, проходящие в растениях. Загрязнение почвы бенз[а]пиреном в разных дозах приводило к уменьшению всхожести семян, оказывало значительное влияние на интенсивность роста и биомассу ячменя.

Максимальная всхожесть ячменя (98%) отмечена в контрольном варианте (рис. 1). При загрязнении почвы БП в малых дозах (10, 20 нг/г) всхожесть резко снижалась до 60%. Бенз[а]пирен – сильный экотоксикант, который оказывает негативное влияние на рост растений при низких дозах. Полученные нами результаты придают объективный статус критическим показателям воздействия поллютантов и вводимым экологическим нормативам (ПДК). Высокие дозы загрязнителя (30-40 нг/г) приводили к повышению уровня всхожести (80-85%). Возможно, это связано с явлением, когда БП оседает на поверхности корня, в связи с чем ограничивается число участков, в которых происходит его поглощение (Растения и..., 1979).

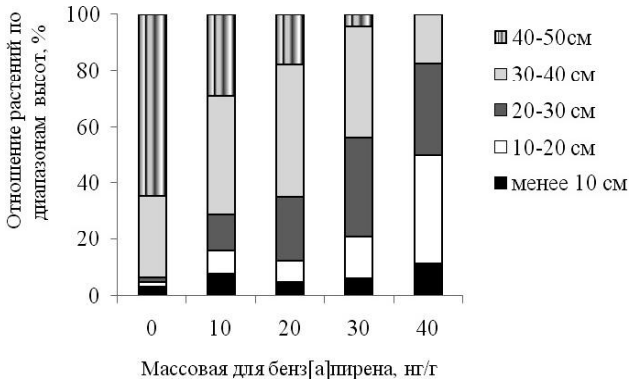


Рис. 3. Диапазоны варьирования высоты растений при загрязнении почвы бенз[а]пиреном.

Зависимость роста ячменя от доз БП носит линейный характер (рис. 2). Средняя высота растений закономерно снижалась с повышением доз бенз[а]пирена, внесенного в почву. Данные ряда авторов показали, что содержание ПАУ 3 г/кг почвы вызывало угнетение роста растений (Xiao-Dong Huang et al., 2004), что согласуется с результатами, полученными в нашей работе. Ингибирование роста растений во многом вызвано токсичным действием бенз[а]пирена.

Следует отметить, что в ходе опыта был выявлен большой разброс данных по высоте растений (рис. 3). Однако в целом для контрольного варианта свойственно наличие большего числа высокорослых растений, чем для других вариантов опыта. При дозе бенз[а]пирена 40 нг/г растения с высотой более 40 см не встречались вообще, преобладали растения в диапазоне высот 10-30 см, 10% растений имели высоту менее 10 см.

Загрязнение почвы БП приводило к снижению биомассы как всего растения в целом, так и его отдельных органов (рис. 4) по сравнению с контрольным вариантом. Полученные нами данные согласуются с исследованиями, проведенными для трех видов растений: кукуруза, рожь и белый клевер на почвах, загрязненных фенантреном и пиреном (Xu et al., 2006). В данном случае выявлено снижение биомассы при увеличении уровня загрязнения почвы ПАУ, однако различия не были статистически достоверны.

Следует отметить, что биомасса надземной части ячменя при загрязнении снижалась линейно, корней – подчинялась нелинейной зависимости с пиком при дозах 20-30 нг/г бенз[а]пирена в почве.

Возможно, такое изменение биомассы корней связано с функциональной ролью бенз[а]пирена в растении. Бенз[а]пирен после карбоксилирования в растении мог выполнять роль фитогормона ауксина (β-индолилуксусная кислота) в виду близости их молекулярной структуры или интенсифицировать процессы образования ауксина в надземной части растения. Ауксин даже в микроколичествах регулирует рост растений. Основное его действие направлено на

рост корневой системы, который мы и наблюдали в ходе опыта. Аналогичная реакция на загрязнение почвы бенз[а]пиреном была получена Т.В. Крестовской с соавторами (Растения и..., 1979) для корней *Allium cepa*. Повышение концентрации ауксина выше оптимальной вызывает торможение роста. Это может быть связано с тем, что он стимулирует синтез другого фитогормона – этилена, ингибирующего рост растений. Данные, полученные в опыте, тесно согласуются с ранее проведенными исследованиями по выращиванию *Tradescantia* (clon 02) на почве, загрязненной бенз[а]пиреном (Яковлева, Габов, 2011).

Таким образом, можно констатировать, что загрязнение почвы бенз[а]пиреном приводит к уменьшению всхожести семян ячменя: при малых дозах – до 60%, при более высоких – 80%. Средняя высота растений закономерно снижалась с повышением доз бенз[а]пирена, внесенного в почву. Изменение биомассы надземной части ячменя при загрязнении БП подчиняется линейной зависимости, корней – нелинейной с пиком при дозах 20-30 нг/г бенз[а]пирена в почве, что может быть обусловлено ауксиновым действием бенз[а]пирена на растения.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президиума УрО РАН № 12-У-4-1003 и РФФИ № 11-04-00086

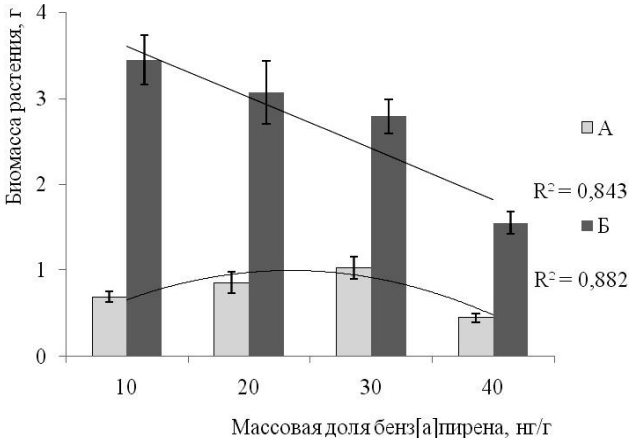


Рис. 4. Зависимость биомассы ячменя от степени загрязнения почвы бенз[а]пиреном. А – биомасса коней, Б – биомасса надземной части.

Литература

ГН.2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве//Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.

Головко Т.К., Родина Н.А., Куренкова С.В., Табаленкова Г.Н. Ячмень на Севере (селекционно-генетические и физиолого-биохимические основы продуктивности). Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 154 с.

Растения и химические канцерогены / Под ред. Э.И. Слепяна. Л.: Наука, 1979. 205 с.

Яковлева Е.В., Габов Д.Н. Полициклические ароматические углеводороды в системе почва–растение. Saarbrucken: Lap Lambert academic publishing, 2011, 217 с.

Bispo A., Jourdain M.J., Jauzein M. Toxicity and genotoxicity of industrial soils polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // Organic Geochemistry, 1999. Vol. 30. № 8. P. 947-952.

Xiao-Dong Huang, Yousef El-Alawi, Donna M. Penrose et al. A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils // Environmental Pollution, 2004. Vol. 130. P. 465-476.

Xu S.Y., Chen Y.X., Wu W.X. et al. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation // Science of the Total Environment, 2006. Vol. 369. P. 206-215.

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

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДА РАУНДАП НА АКТИВНОСТЬ ГЛИКОЗИДАЗ В ОРГАНИЗМЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ И МОЛОДИ РЫБ

А.И. Аминов
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: golovan@ibiw.yaroslavl.ru

Среди токсикологических факторов, влияющих на функционирование водных экосистем, важная роль принадлежит ксенобиотикам. Высокотехнологичный системный гербицид широкого спектра действия глифосат [N-(phosphonomethyl) glycine] используется с середины 70-х гг. прошлого века. На основе его действующего вещества изопропиламиновой соли глифосата создано много гербицидов, самый известный из которых Раундап. Он широко используется для уничтожения сорной растительности на полях, в коллекторно-дренажных каналах, оросительных системах и прудах. Данные литературы по исследованию токсичности глифосата в основном касаются оценки острой токсичности и хронического действия низких сублетальных концентраций гербицида на бактерии, микроводоросли, простейших, рачковый зоопланктон и рыб (Folmar et al., 1979; Папченкова, 2007). В то же время влияние гербицида Раундап на гидролиз углеводов в тканях водных беспозвоночных и рыб практически не изучено. Поскольку углеводы играют важную роль в энергетическом и пластическом обмене организма, цель работы – изучить *in vitro* влияние гербицида Раундап в сублетальных концентрациях (0.1-50.0 мкг/л) на активность гликозидаз в целом организме беспозвоночных животных и молоди рыб.

В работе использована молодь семи видов пресноводных рыб: судак *Stizostedion lucioperca* L., щука *Esox lucius* (L.), плотва *Rutilus rutilus* L., речной окунь *Perca fluviatilis* (L.), карп *Cyprinus carpio* L., карась серебряный *Carassius auratus* L., ротан *Perccottus glenii* Dybowski, а также беспозвоночные животные: рачковый зоопланктон (суммарные пробы, включающие представителей отр. Dafniiformes, Copepoda и Ostracoda), личинки хирономид *Chironomus plumosus* L., дрейссена *Dreissena polymorpha* Pall. и прудовик большой *Limnea stagnalis* L.

Активность гликозидаз (мальтаза и амилолитическая активность) определяли в гомогенатах целого организма беспозвоночных и рыб. Амилолитическую активность, отражающую суммарную активность ферментов, гидролизующих крахмал (α-амилазы КФ 3.2.1.1, глюкоамилазы КФ 3.2.1.3 и мальтазы КФ 3.2.1.20) оценивали по приросту гексоз модифицированным методом Нельсона (Уголев, Иезуитова, 1969). Для определения активности мальтазы применяли набор для клинической биохимии «Фотоглюкоза» (ООО «Импакт», Россия). Для приготовления растворов токсиканта использовали коммерческий препарат гербицида, имеющий торговое название «Раундап». Средство представляет собой 36%-ный водный раствор глифосата.

В целом организме беспозвоночных при действии Раундапа отмечены разнонаправленные изменения амилолитической активности: максимальное повышение на 21% выявлено у прудовика, максимальное снижение на 30% контроля – в тканях рачкового зоопланктона (см. таблицу). У хирономид ферментативная активность снижается в меньшей степени (на 7-12% контроля). У дрейссены низкие концентрации Раундапа 0.1 и 1.0 мкг/л снижают амилолитическую активность на 12 и 14% соответственно, в то время как более высокие (25-50 мкг/л) – увеличивают на 14-20% контроля. Активность мальтазы в присутствии Раундапа достоверно повышается на 6-27%.

В целом организме молоди рыб в присутствии Раундапа также отмечены разнонаправленные эффекты. У щуки и плотвы амилолитическая активность повышается на 19-46% контроля при концентрациях Раундапа 10-50 мкг/л (см. таблицу). У карпа низкие концентрации токсиканта 0.1 и 1.0 мкг/л снижают амилолитическую активность на 39 и 17% соответственно, концентрация 25 мкг/л – увеличивает на 15% контро-

Влияние Раундапа на уровень амилолитической активности и активности мальтазы в целом организме беспозвоночных животных и молоди рыб

Объект	Концентрация Раундапа, мкг/л					
	0	0.1	1	10	25	50
	Амилолитическая активность, мкмоль/(г·мин.)					
Зоопланктон	1.31±0.05[а, б]	1.10±0.16[а, в]	1.33±0.16[а, б]	1.60±0.13[б]	0.92±0.04[в]	0.86±0.08[в]
Хирономиды	5.97±0.07[а]	5.87±0.08[а]	5.76±0.11[а, б]	5.55±0.05[б, в]	5.55±0.10[б, в]	5.44±0.07[в]
Дрейссена	2.93±0.06[а]	2.59±0.06[б]	2.52±0.05[б]	3.11±0.07[а, г]	3.52±0.12[в]	3.33±0.07[в, г]
Прудовик	7.92±0.30[а]	7.44±0.21[а]	7.60±0.13[а, б]	8.32±0.20[б]	9.12±0.23[в]	9.60±0.28[в]
Карп	4.30±0.18[а, б]	2.63±0.26[г]	3.58±0.14[в]	4.00±0.16[б, в]	4.95±0.19[а]	4.34±0.35[а, б]
Плотва	9.07±0.32[а]	10.0±0.56[а, б]	10.2±0.54[а, б]	10.8±0.53[б]	11.4±0.78[б]	11.1±0.37[б]
Плотва*	8.27±0.12[а]	6.67±0.34[б]	6.40±0.40[б]	6.47±0.39[б]	6.13±0.63[б]	5.60±0.39[б]
Ротан	8.12±0.12[а]	7.24±0.12[в]	7.52±0.31[б, в]	7.96±0.16[а, б]	8.58±0.15[а]	8.04±0.16[а, б]
Карась	22.3±0.73[а, б]	17.9±1.38[в]	19.5±0.80[б, в]	23.5±0.90[а]	21.9±0.33[а, б]	23.7±0.27[а]
Щука	3.93±0.24[а]	4.07±0.12[а]	4.13±0.17[а]	5.40±0.19[б]	5.53±0.27[б]	5.73±0.29[б]
	Активность мальтазы, мкмоль/(г·мин.)					
Зоопланктон	1.24±0.01[а]	1.43±0.02[б]	1.21±0.07[а]	1.46±0.07[б]	1.46±0.06[б]	1.58±0.11[б]
Хирономиды	4.94±0.04[а]	5.26±0.07[б]	5.31±0.10[б, в]	5.42±0.07[б, в]	5.31±0.04[б, в]	5.55±0.17[в]
Дрейссена	2.25±0.13[а]	2.64±0.13[а, б]	2.31±0.23[а, б]	2.62±0.14[а, б]	2.66±0.07[б]	2.51±0.03[а, б]
Прудовик	3.15±0.02[а]	3.24±0.03[а]	3.21±0.05[а]	3.49±0.02[б]	3.31±0.07[а, б]	3.53±0.14[в]
Карп	2.14±0.04[а]	3.26±0.04[б, в]	3.48±0.10[в]	3.15±0.15[б]	3.44±0.10[в]	3.32±0.15[б, в]
Плотва	0.90±0.18[а]	1.51±0.14[б]	2.07±0.25[в, г]	2.01±0.08[в, г]	2.26±0.11[г]	1.70±0.14[б, в]
Плотва*	0.88±0.12[а]	0.70±0.04[а, б, в]	0.80±0.04[а, б]	0.81±0.11[а, б]	0.59±0.10[б, в]	0.52±0.11[в]
Ротан	8.02±0.16[а, б]	7.60±0.09[б, в]	7.03±0.07[г]	7.53±0.10[в]	6.69±0.10[г]	8.25±0.31[а]
Окунь	1.33±0.10[а]	1.49±0.03[а, б]	1.71±0.06[в, г]	1.82±0.03[г]	1.69±0.04[в, г]	1.57±0.08[б, в]
Щука	0.23±0.06[а]	0.29±0.06[а, б]	0.38±0.08[а, б]	0.48±0.05[а, б]	0.48±0.04[а, б]	0.50±0.06[б]
Судак	1.23±0.12[а]	1.15±0.08[а]	1.21±0.12[а]	0.94±0.09[а, б]	0.75±0.08[б]	1.27±0.10[а]

Примечание. * молодь плотвы, извлеченная их желудка щуки (реальная жертва). Разные надстрочные индексы указывают на статистически достоверные различия между показателями в каждой строке (ANOVA, LSD-test), $p < 0.05$.

ля. У карася и ротана показано снижение амилолитической активности на 11-20% контроля при самой низкой концентрации Раундапа. В то же время у плотвы, извлеченной из желудка щуки (реальная жертва), выявлен четкий концентрационно-зависимый тормозящий эффект: с ростом концентрации Раундапа от 0.1 до 50 мкг/л амилолитическая активность снижается на 19-32% контроля.

Активность мальтазы при действии Раундапа изменяется разнонаправленно. У плотвы, окуня, щуки и карпа выявлено увеличение активности на 28-152%, у ротана и судака – снижение на 6-16% от контроля. У плотвы, извлеченной из желудка щуки, активность мальтазы достоверно снижается на 38-41% от контроля, в большей мере при высоких концентрациях Раундапа.

Изучение активности гликозидаз (мальтаза, амилолитическая активность) в целом организме беспозвоночных и молоди рыб при действии *in vitro* гербицида Раундап в широком диапазоне концентраций 0.1-50.0 мкг/л показало, что ферменты беспозвоночных менее чувствительны к действию гербицида по сравнению с ферментами молоди рыб. При этом самая низкая из исследованных концентраций в 10 раз меньше, а самая высокая – в 50 раз больше значений ПДК. Раундап вызывает разнонаправленные изменения активности гликозидаз в тканях исследованных животных, при этом не выявлено зависимости эффекта от экологии вида. Больший токсический эффект на активность гликозидаз в тканях плотвы, извлеченной из желудка щуки, демонстрирует негативное влияние Раундапа на гидролиз углеводов в условиях реального желудочного пищеварения и возможное снижение вклада ферментов жертвы в пищеварение консументов. Кроме того, это указывает на возможную зависимость эффекта Раундапа от pH среды, что требует дальнейших экспериментальных исследований.

Литература

Голованова И.Л., Таликина М.Г. Влияние низких концентраций хлорофоса в период раннего индивидуального развития на пищеварительные карбогидразы сеголетков плотвы *Rutilus rutilus* // Вопр. ихтиологии, 2006. Т. 46. № 3. С. 412-416.

Голованова И.Л., Таликина М.Г., Филиппов А.А. и др. Влияние сверхмалых концентраций N-метил-N'-нитро-N-нитрозогуанидина на ранний онтогенез плотвы *Rutilus rutilus*: Активность карбогидраз и кинетические характеристики гидролиза углеводов в кишечнике сеголетков // Вопр. ихтиологии, 2008. Т. 48. № 2. С. 276-283.

Папченкова Г.А. Исследование хронической токсичности гербицида «Раундап» в ряду поколений *Daphnia magna* // Токсикологический вестник, 2007. № 5. С. 14-17.

Уголев А.М., Иезуитова Н.Н. Определение активности инвертазы и других дисахаридаз // Исследование пищеварительного аппарата у человека. Л.: Наука, 1969. С. 192-196.

Folmar L.C., Sanders H.O., Julin A.M. Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates // Arch. Environ. Contam. Toxicol., 1979. Vol. 8. № 3. P. 269-278.

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫМИ И ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

И.С. Боднарь
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E- mail: bodnar@ib.komisc.ru

Биоэлемент – это та форма, в которой химический элемент находится в живых системах и участвует в процессах жизнедеятельности (в качестве «строительного» материала (пластический материал) и мессенджера биологических функций) (Оберлис и др., 2008).

Классификация химических элементов по их биологической роли позволяет подразделить все элементы на группы эссенциальных (жизненно необходимых), условно эссенциальных и токсических. Группа эссенциальных включает в себя все макроэлементы, часть микроэлементов и ультрамикроэлементов. Вторую значительную группу составляют токсичные микроэлементы (Авцын и др, 1991).

Север представляет собой огромную полиэлементную биогеохимическую провинцию со сниженными адаптивными возможностями человека, где нарушения минерального обмена носят масштабный характер. В настоящее время отечественная биоэлементология располагает представительным материалом, характеризующим элементный статус населения многих регионов России. В географическом аспекте наименее изученным остается север России (Горбачев и др., 2007).

Цель работы – оценить элементный статус населения европейского Севера (на примере Республики Коми).

Элементный состав волос является интегральным показателем элементного статуса организма человека, который может быть использован для оценки адекватности питания, состояния здоровья человека и его адаптации к окружающей среде (Авцын, 1991). Проведено исследование содержания 19 химических элементов (натрий, калий, медь, цинк, кальций, магний, фосфор, сера, селен, алюминий, кобальт, хром, никель, железо, марганец, мышьяк, свинец, кадмий, ртуть) в волосах детей из Республики Коми.

В исследование вошли 85 детей, включая 43 девочек и 42 мальчиков (возраст – 4-16 лет). Для оценки влияния эколого-географических факторов волосы брали у детей из пяти районов республики (Троицко-Печорский, Усть-Цилемский, Ижемский, Прилузский) и г. Ухта. Образцы волос получали путем состригания с затылочной части головы, помещали в специальные конверты, к которым прилагались идентификационные записи. Для элементного анализа волос использовались пряди со средней длиной 4-5 см.

Анализ волос проведен экоаналитической лабораторией «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Анализ образцов проводили методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре атомно-эмиссионном с индуктивно-связанной плазмой Spectro Ciros^{ccd} фирмы Spectro Analytical Instruments CmbH, Германия.

В ходе исследования были определены центильные интервалы накопления биоэлементов в волосах детей республики и их сравнение с референтными показаниями в среднем по Российской Федерации. В Коми в волосах детей обнаружен избыток марганца, железа, никеля, кальция, магния и недостаток меди, селена, хрома.

Соотношение содержания элементов в волосах детей Республики Коми (в числителе – избыток содержания элементов, в знаменателе – недостаток элементов, медиана выше/ниже нормы по сравнению с физиологической нормой, вгн – медиана соответствует верхней границе нормы, нгн – медиана соответствует нижней границе нормы):

$$\frac{Ni\ Mn\ Ca\ Fe(вгн)\ Mg}{Cu(нгн)\ Se\ CrP}.$$

Медь. Анализ элементного состава волос детей показал снижение содержания меди по сравнению с референтными значениями, медиана соответствует нижней границе нормы, дефицит выявлен у 74% девочек и 42% мальчиков). Такая разница и большая потребность у девочек может быть обусловлена вовлеченностью меди в выработку женских половых гормонов. Для Республики Коми с ее подзолистыми почвами характерно низкое содержание меди (менее 1 мг/кг). В то же время при холодовом воздействии может существенно увеличиваться потребность в данном микроэлементе, что в условиях Севера может приводить к акклиматизационному (метаболическому) дефициту и развитию «северной анемии».

Селен. Северо-запад России относится к селенодефицитным регионам. Межквартильный интервал по селену в волосах детей Республики Коми ниже, чем 25 центиль в рамках центиль-

ных среднероссийских показателей. Гипоселеноз характерен для 95% обследованного детского населения.

Никель. Его содержание в волосах детей повышено. Высокие показатели связаны с наличием образцов волос, где никель в несколько раз превышает норму, из них в два-семь раз – у 90%. Можно говорить об избытке никеля в волосах детей Ухты, медианное значение в два раза выше референтного значения 75 центиля. Избыток обнаружен в 51% проб. Высокое содержание никеля в волосах объясняет его присутствие выше ПДК в питьевой воде, почве и является биогеохимической особенностью местности (Оберман и др., 2004).

Марганец. Содержание марганца в волосах детей на порядок выше референтных значений, медиана для детей 1-18 лет – 0.3 мг/кг, в Республике Коми она составляет 3.3 мг/кг. Количество проб волос детей выше средних установленных показателей – 91%. Содержание этого элемента в почвах исследованных районов превышает ПДК и содержание его варьирует от чрезвычайно опасного до умеренно опасного (Оберман и др., 2004).

Фосфор. Медиана содержания фосфора в волосах детей входит в межквартильный интервал среднего содержания элемента в волосах детей в России. Высокое количество проб ниже нормы (39.3%) указывает на дефицит этого элемента больше чем у трети детей республики. В Троицко-Печорском р-не 83% обследованных детей испытывают недостаток фосфора. Среди детей 7-14 лет этот недостаток испытывают 51.7% девочек и 44.8% мальчиков.

Свинец. Содержание свинца в волосах 92.5% детей республики не превышает границы установленного референтного интервала. Наибольшие концентрации этого элемента в волосах детей отмечаются в Троицко-Печорском р-не – медиана равна 1.5 мг/кг, что соответствует верхней границе референтного интервала, максимальная концентрация, найденная в ходе всего исследования, составляет 12 мг/кг.

Кадмий. Медиана содержания кадмия в волосах детей 4-14 лет не превышает верхнюю границу референтного интервала, количество проб выше нормы составляет 21%. Наибольшее содержание кадмия – в волосах детей Прилузского р-на (медиана – 0.18 мг/кг), у половины обследованных детей – избыток кадмия в волосах, в Троицко-Печорском р-не у 33%.

Ртуть. Содержание ртути в волосах мальчиков 7-14 лет в республике не превышает средние нормы, у девочек межквартильный интервал шире по сравнению с референтным в сторону увеличения, медиана выше средней, но не выходит за рамки нормы. Наибольшее накопление ртути в волосах детей Троицко-Печорского р-на соответствует верхней границе нормы, установленной для детей 7-14 лет.

У жителей различных регионов особенности макро- и микроэлементного баланса могут проявляться не только в количественных показателях уровней элементов в организме, но и структуре взаимодействия между собой, что может представлять для популяции присущий только микроэлементный профиль (портрет).

В результате статистического анализа была выявлена взаимосвязь между некоторыми элементами в волосах детей. Наибольшее количество статистически значимых корреляций у макроэлементов, а также у эссенциальных элементов: калий (11), а также натрий (9), марганец (9), медь (9). Наименьшее число корреляционных взаимосвязей имеют токсичные мышьяк, свинец, кадмий, а также эссенциальные элементы – фосфор и цинк. Наименьшее количество корреляционных связей – у мышьяка (2).

С позиций адаптационной теории более высокий уровень корреляционных взаимосвязей, отраженных в интегральном показателе адаптированности исследуемой системы элементного баланса, может использоваться при сравнительной оценке физиологических резервов организма. Марганец имеет самое большое количество отрицательных взаимосвязей и, находясь в избыточных концентрациях в волосах и окружающей среде, выступает антагонистом эссенциальных калия, натрия, фосфора, серы, селена. В ходе статистического анализа выявлена высокая степень корреляции между кальцием и марганцем (r_s = 7.91). Всасывание марганца замедляется при избытке кальция и фосфора. При недостатке в окружающей среде кальция и фосфора и избыточном содержании марганца всасывание марганца скорее всего усиливается.

Наиболее сильные коэффициенты корреляции между элементами, которые взаимосвязаны в минеральном обмене: калий и натрий (r_s = 9.2), кальций и магний (r_s = 14), кальций и марганец (r_s = 7.91).

Связь между тяжелыми металлами приводит к усилению токсического эффекта (Плотникова, 2009). Содержание кадмия в волосах детей коррелирует с концентрацией свинца. Кадмий связан также с железом, серой, хромом.

Установлено, что особенностью элементного статуса детей Республики Коми является дисбаланс эссенциальных и условно эссенциальных элементов: избыток никеля, марганца, железа, преддефицит кальция, магния, недостаток меди, селена вследствие биогеохимических особенностей территории.

Литература

Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.

Горбачев А.Л., Добродеева Л.К., Теддер Ю.Р., Шацова Е.Н. Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и прогноз развития эндемических заболеваний // Экология человека, 2007. № 1. С. 4-11.

Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с.

Оберман Н.Г., Шеслер И.Г., Рубцов А.И. Экогеология Республики Коми и восточной части Ненецкого автономного округа. Сыктывкар: ПрологПлюс, 2004. 256 с.

Плотникова И.А. Клинические маркеры отклонений в состоянии здоровья детей, обусловленные воздействием свинца // Уральский медицинский журнал, 2009. № 7. С. 67-71.

Anke M., Risch M. Haaranalyze und Spurenelement status. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1997. 415 с.

ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОКА ЭЛОДЕИ КАНАДСКОЙ В ТЕСТАХ НА ИНФУЗОРИИ-ТУФЕЛЬКЕ

К.А. Вагонов, М.В. Аниськина
Сыктывкарский государственный университет
E -mail: niberurecords@mail.ru; m_aniskina@rambler.ru

Элодея канадская – одно из наиболее распространенных водных растений как в естественных, так и искусственных водоемах. Растение хорошо приспосабливается к разным условиям и быстро разрастается. Водоемы, в которых произрастает элодея, имеют практическое значение для людей. В них может вестись хозяйственная деятельность, к примеру, разведение рыб. В книгах времен Н.Ф. Золотницкого многие авторы, как и сам Золотницкий, указывают на токсичность сока элодеи канадской, а именно, что она способна замедлять рост рыб и убивать молодь, прячущуюся в зарослях данного растения (Золотницкий, 1993). Учитывая то, что во многих рыбных хозяйствах проводятся водно-мелиоративные работы, сюда также входит выкос растений, возможное попадание различных концентраций сока в водную среду, что оказывает влияние на организмы. Поэтому в данной работе мы провели исследование для выявления экотоксикологических свойств сока элодеи на водные организмы.

Цель работы – выявить возможные воздействия концентраций сока элодеи канадской на модельный организм – инфузория-туфелька.

Задачи: сбор материала для проведения исследований, сбор элодеи канадской; разведение культуры инфузории; применение методики на организме инфузория-туфелька.

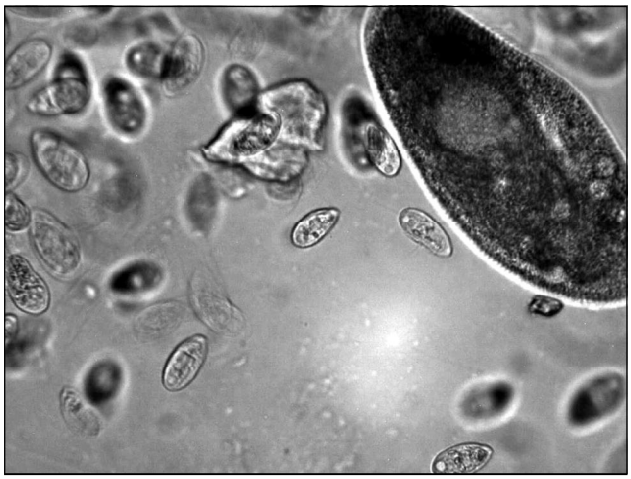


Рис. 1. Внешний вид инфузории-туфельки.

Нами были проведены исследования по выявлению экотоксикологических свойств сока элодеи канадской на организмы. Опыты проводились на организме инфузория-туфелька (рис. 1).

Данный модельный организм был выбран из-за его доступности, легкости в содержании и разведении (Опекунова, 2004). Получение чистой культуры производилось данным способом. На чистое стекло помещали большую каплю воды с видимыми через лупу инфузориями. Рядом с ней, обязательно со стороны света располагают каплю свежей, заранее отстоянной воды без признаков жизни в ней. Между каплями прокладывают швейной иглой тонкую водную дорожку. Туфелька медленно устремлялась по ней к источнику света, опережая другие инфузории. Как только миграция туфельки хотя бы частично закончится, доступ других инфузорий в чистую каплю немедленно прекращают, разъединив водную «магистраль». После нескольких сортировок получали материал, достаточный для разведения туфельки. Дальше брали трехлитровую банку кипяченой воды, в которую кидали сушеную банановую кожуру, после чего в нее вливали культуру инфузорий, и через три-четыре дня на поверхности появлялись инфузории, постепенно они опускались на дно и, в конце концов, заполняли всю банку, которую держали в слабо освещенном месте и при температуре не выше 25 °С (Уфимцева, Шварев, 2002).

Для дальнейшей работы были выбраны три различные концентрации сока элодеи (9, 23, 33%), получаемые путем вытяжки сока из растений и смешивая в определенных пропорциях с водой.

Опыт с каждой концентрацией имел 10-кратную повторность. В каждую пробу помещалось 20 особей инфузорий (т.е. в опытах с концентрацией в 9% было 200 инфузорий-туфелек). В чашку Петри помещалась полученная среда с определенной ранее концентрацией сока. После в среду выпускались объекты исследования. Производился подсчет времени смерти половины контрольной группы, т.е. 10 особей инфузорий-туфелек. Для каждой концентрации выявлялось LD50 (Егорова, Мелехова, 2007).

В ходе работы были отмечены особенности поведения организмов. При концентрации в 9% поведение в начальной стадии эксперимента не менялось. Через некоторое время (10-15 мин.) наблюдались круговые движения особей вокруг своей оси, к 30-32 мин. опыта – летальность организмов. Среднее время смерти – 32 мин.

При концентрации 23% наблюдались судорожные движения. Круговые движения вокруг своей оси. Смерть наступает на 20-22 мин. опыта. Наблюдался разрыв оболочек. Среднее время смерти – 23 мин.

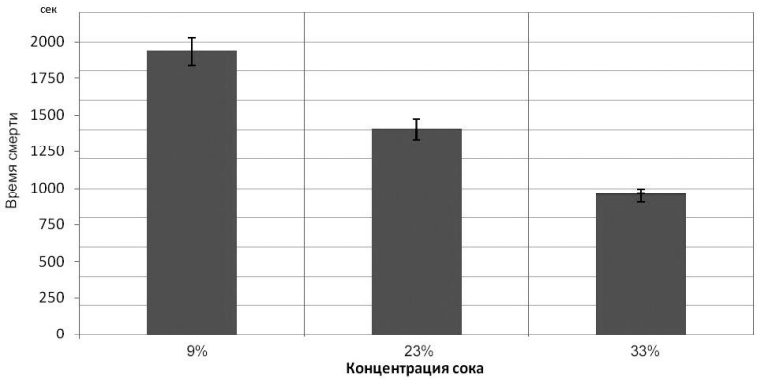


Рис. 2. Зависимость времени смерти от концентрации сока элодеи канадской.

При концентрации 33% – быстрые скачкообразные движени вокруг своей оси. Смерть наступает на 15-16 мин. из-за разрыва оболочек. Среднее время смерти – 15 мин. (рис. 2).

В ходе данного исследования мы провели анализ полученных данных, по результатам которых вычислили среднее время смерти организмов в каждой среде с определенной концентрацией. Для концентрации 9% составило 32 мин., 23% – 23 мин., 33% – 15 мин. Отличия между вариантами статистически достоверны – $p < 0.05$. Данным исследованием мы доказали, что сок элодеи имеет губительное влияние на простейшие организмы. Мертвые клетки инфузорий, оказавшиеся лопнувшими, не могли быть разорваны в результате осмоса (соки пресноводных растений имеют немного больше соли, чем окружающая вода), возможно, что в соке элодеи могут находиться некие аналоги лизоцима, но действующие не только на бактерий, но и на эукариот.

В ходе исследований была обнаружена высокая токсичность сока элодеи канадской для инфузории-туфельки, а также прямая зависимость между концентрацией сока и его токсичностью.

Литература

Егорова Е.И, Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М.: Академия, 2007. 288 с.

Золотницкий Н.Ф. Аквариум любителя. М.: Терра, 1993. 784 с.

Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. СПб., 2004. 266 с.

Уфимцева Г.А., Шварев А.В. Аквариумы и их обитатели. Пермь, 2002. 394 с.

ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПОЙМЫ РЕКИ ВЯТКА ВБЛИЗИ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

О.М. Вахрушева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
e-mail: vahrusheva.O@ib.komisc.ru

В настоящее время во многих регионах техногенное загрязнение окружающей среды достигло высокого уровня, представляющего серьезную опасность для здоровья человека. Особенно сильное техногенное воздействие испытывают территории, прилегающие к крупным промышленным производствам. Одним из таких предприятий является Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), созданный в 1938 г. как объект военно-промышленного комплекса.

В результате деятельности КЧХК, связанной с производством и хранением радиоактивных и химических веществ, ландшафты водосборного бассейна р. Вятка, имеющей значимое народнохозяйственное значение, были загрязнены радионуклидами, тяжелыми металлами (ТМ) и технологическими отходами производства аммиака, аммиачной селитры, азотной кислоты, фтористого водорода, хлора и едкого натра.

Но риск для окружающей природной среды прошлой и нынешней деятельности Кирово-Чепецкого комбината на основе ясных количественных критериев до сих пор не оценен. Изучение современного состояния почвенного покрова вблизи Кирово-Чепецкого комбината позволяет получить информацию об изменении экологических функций почв при воздействии факторов химической природы. Ценность этих данных очевидна как с позиции развития научных основ защиты окружающей среды от химических воздействий, так и для ясного понимания следствий тех процессов, которые происходят в биосфере в условиях увеличивающегося техногенного воздействия.

Цель настоящего исследования – выявить закономерности латерального распределения тяжелых металлов в почвах поймы р. Вятка вблизи Кирово-Чепецкого химического комбината и оценить уровень химического загрязнения почв с учетом санитарно-гигиенических критериев.

Изученная территория находится в непосредственной близости от КЧХК в пределах первой террасы и поймы р. Вятка. Было выбрано два экспериментальных участка общей площадью 3.5 км^2, которые представляют собой разнотравно-злаковый фитоценоз с преобладанием семейств злаковых (Graminea), сложноцветных (Composita) и крапивных (Urticaceae). Почвы – аллювиально-дерновые, в понижениях с признаками оглеения.

Контрольный участок площадью 2 км^2 выбран в сходных с экспериментальным почвенно-климатических и геохимических условиях. Длительное время он не подвергался интенсивному антропогенному и техногенному влиянию. Этот участок расположен в пойме р. Юг на территории заказника «Былина» Кировской области и представляет собой разнотравно-злаковый фитоценоз с доминированием семейств злаковые (Gramineae) и розоцветные (Rosacea). Почвы участка – аллювиально-дерновые.

Отбор проб почв с экспериментального участка проводили по регулярной координатной сети с шагом 200 м между опорными точками. Для определения координат точек на местности применяли GPS-навигатор фирмы GARMIN. Всего отобрано 38 образцов почв с глубины 0-20 см на двух экспериментальных участках, а также 10 образцов с контрольного.

При составлении карт использовали программу ArcView GIS-3.2.

Анализ агрохимических характеристик (калий подвижный, фосфор подвижный, азот общий, углерод общий, гумус) почв и содержания металлов в образцах выполнен в экоаналитической лаборатории «ЭКОАНАЛИТ» Института биологии Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257 от 16 апреля 2009 г.).

Для оценки экологической опасности техногенного загрязнения почв металлами использовали два стандартных показателя. Показатель Саета (Zc) учитывает суммарное загрязнение почв металлами и определяется по формуле:

$$Zc = \Sigma^{n}_{i=1} KKi - (n - 1), \quad (1)$$

$$KK = C_i/Сф_i, \quad (2)$$

где n – число определяемых суммируемых веществ; $КК_i$ – коэффициент концентрации i-го компонента загрязнения; C_i – концентрация i-го элемента в почве, мг/кг воздушно-сухого образца; $Сф_i$ – фоновое содержание i-го элемента в почвах изучаемого региона, мг/кг воздушно-сухого образца.

Таблица 1

Классы опасности в почве тяжелых металлов и металлоидов и коэффициенты токсичности (Кт)

Класс опасности элементов	Коэффициент токсичности Кт	Химические элементы
1	1.5	As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, Cr
2	1.0	Co, Ni, Mo, Cu, Sb
3	0.5	Ba, V, W, Mn, Sr

Экологический показатель (Zст) суммарного загрязнения почв (Водяницкий, 2008) позволяет учесть, помимо содержания металла в почве, класс его опасности:

$$Zст = \Sigma(KK_i\ Кт_i) - (n - 1), \quad (3)$$

где $Кт_i$ – коэффициент токсичности i-го элемента (табл. 1).

Исследования показали, что содержание металлов (Pb, Ni, Zn, Cu и Hg) в почвах фонового участка не превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) неорганических химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности (Методические указания, 1999).

В пробах почв с экспериментального участка, расположенного на первой надпойменной террасе р. Вятка, концентрации Pb, Ni, Zn, Cu и Hg в 3.5, 2.5, 1.5, 2 и 10 раз превышают соответствующие контрольные величины. Превышение ПДК Ni (4 мг/кг) обнаружено в 10 образцах почв из 19, общая площадь загрязнения этими ТМ составила 50% от площади, обследованной территории. Также отмечали высокое содержание Pb (20 мг/кг) и Hg (4.4 мг/кг) в 10% образцов почв. В целом на первом экспериментальном участке наблюдается гетерогенное загрязнение. Локальные пятна с высоким уровнем содержания металлов расположены, как и следовало ожидать, в пониженных участках рельефа, в западинах. Таким образом, можно предположить, что происходит поверхностное загрязнение исследуемого участка, расположенного на расстоянии 700 м от шламонакопителей и отстойников, при сезонном поднятии уровня грунтовых вод.

Загрязнение почв участка по показателю Саета (1) характеризуется как допустимое (Zc = 12). Однако на основе экологического показателя (3), учитывающего токсичность металла (Zст = 18.5) уровень загрязнения почв оценивается как умеренно-опасный.

В почвах второго экспериментального участка, расположенного в пойме р. Вятка, содержание Pb, Ni, Zn, Cu и Hg в образцах почв соответсвенно в 5, 2, 2, 2 и 25 раз выше, чем на контрольном участке. Так, концентрация Ni в почве превышает ПДК, равную 4 мг/кг в девяти почвенных образцах из 15 отобранных. Общая площадь почв с таким уровнем загрязнения составляет 68% от площади экспериментального участка. Участки, где наблюдается высокий уровень загрязнения Pb и Hg, занимают меньшую долю картируемой территории. Превышение ПДК Pb и Hg обнаружено в четырех и трех образцах почв из 15 изученных, а общие площади загрязнения этими металлами составляют 40 и 30% соответственно.

Повышенное по сравнению с ПДК содержание концентрации металлов на втором участке можно объяснить поступлением загрязняющих веществ из р. Елховка при поднятии уровня воды в период весеннего паводка. Река представляет собой коллектор объединенных сточных вод КЧХК (Дружинин и др., 2006).

Таблица 2

Содержание металлов на экспериментальных и контрольном участках

№	Металл	Содержание металлов на участках, мг/кг		Количество проб с С(Ме) > ПДК, %	Среднее содержание металлов в контроле, мг/кг	ПДК (Методические указания, 1999) веществ в почве, мг/кг
		Минимальное	Максимальное			
1	Ртуть	0.05	5.1	11	0.04±0.01	2.1
2	Медь	0.17	3.6	2	1.5±0.3	3.0
3	Никель	1.3	12.0	54	3.6±1.1	4.0
4	Свинец	0.32	48.0	17	2.5±0.7	6.0
5	Цинк	1.2	29.0	68	4.5±1.0	23.0
6	Кадмий	0.04	0.7	–	0.07	2.0

В целом, загрязнение почв второго экспериментального участка оценивается и по показателю Саета (Zc = 40), и по экологическому показателю (Zст = 62) как опасное.

Проведенный анализ уровня химического загрязнения почв вблизи КЧХК позволяет сделать следующие выводы. Почвы второго экспериментального участка, находящегося в пойме р. Вятка, характеризуется более высоким уровнем загрязнения по сравнению с первым, который расположен вблизи шламонакопителей. Таким образом, со временем происходит распространение химического загрязнения при поднятии уровня грунтовых вод из шламонакопителей и отстойников в сторону р. Вятка. По данным специалистов Центра МСНР ФГУГП «Гидроспецгеология», загрязнение с грунтовыми водами может достичь реки через 11 лет (Глаголев и др., 2009).

Экологический риск загрязнения почв металлами оценивается как умеренно-опасный для первого и опасный для второго экспериментальных участков. Это означает, что существующие уровни загрязнения почв металлами могут негативно влиять на здоровье населения (Перельман, Касимов, 1999; Выборов и др., 2004).

Отсюда следует, что в настоящее время сложилась неблагоприятная экологическая ситуация в районе расположения КЧХК, требующая детального изучения латерального и вертикального распределения металлов в почвах вблизи КЧХК с последующей оценкой экологического риска загрязнения данной территории с учетом санитарно-гигиенических и экологических показателей.

Литература

Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. 2008. С. 86.

Выборов С.Г., Павелко А.И., Щукин В.Н., Янковская Э.В. Оценка степени опасности загрязнения почв по комплексному показателю нарушенного геохимического поля // Современные проблемы загрязнения почв: Междунар. науч. конф. М., 2004. С. 195-197.

Глаголев А.В., Вольницкая Е.П., Лемешко А.П. Результаты полевого обследования состояния недр в районе территории объектов «РосРАО» – выводы и предложения // Современная радиоэкологическая обстановка в Кировской области. Объектный мониторинг состояния недр и его роль в решении практических задач Госкорпорации «Росатом» по реабилитации радиационно-опасных объектов ФГУП «РосРАО»: Матер. науч.-практ. конф. Киров, 2009. С. 36-45.

Дружинин Г.В., Лемешко А.П., Ворожцова Т.А., Нечаев В.А. Техногенные отложения озера Просного в системе водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината // Региональные и муниципальные проблемы природопользования: Матер. IX науч.-практ. конф. Киров, 2006. С. 127-128.

Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами № 4266-87. Утв. МЗ СССР 13.03.87.

Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест».

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: Учебное пособие. М.: Астрея-2000, 1999. 786 с.

ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ИНГИБИТОРА ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА NF-KB НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ, НЕРВНО-МЫШЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ И ПЛОДОВИТОСТЬ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

А.А. Данилов[1], М.В. Шапошников[2], Е.Н. Плюснина[2], А.А. Москалев[1,2]

[1] Сыктывкарский государственный университет

[2] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E -mail: ritsuko1988@yandex.ru

Транскрипционный фактор NF-kB принимает участие в формировании иммунитета, регуляции синтеза цитокинов, факторов роста и антиапоптотической функции (Baker et al., 2012). Также он играет важную роль в образовании и детоксификации свободных радикалов. Активация NF-kB предшествует экспрессии генов, участвующих в воспалении (Liu et al., 1999). С возрастом происходит повышение активности NF-kB, что приводит к хроническому воспалению и дегенеративным заболеваниям (Simmonds et al., 2008).

В предыдущих исследованиях мы показали геропротекторный эффект ингибитора NF-kB пирролидин дитиокарбомата (PDC) в концентрации 120 μM (Moskalev, Shaposhnikov, 2011). Однако ранее нами не было исследовано влияние PDC на возрастные изменения физиологических показателей, которые свидетельствуют о качестве жизни.

В настоящей работе исследовали дозовую зависимость геропротекторного эффекта пирролидин дитиокарбомата на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster,* а также его воздействие на возрастную динамику физиологических показателей дрозофил.

Были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать изменения продолжительности жизни (ПЖ) имаго дрозофилы при воздействии PDC.

2. Измерить возрастные изменения нервномышечной активности особей обоих полов (спонтанная локомоторная активность и тест на отрицательный геотаксис) при воздействии PDC.

3. Исследовать возрастную динамику плодовитости самок при воздействии PDC.

4. Оценить изменение уровня экспрессии NF-kB-зависимого гена *Jmdj3* с возрастом при воздействии PDC.

В качестве исследуемого объекта в эксперименте использовали особей *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*. Мух содержали в стандартных лабораторных условиях при t = 25 °C и освещении 12 ч.

В качестве ингибитора NF-kB применяли пирролидин дитиокарбамат (PDC) в концентрациях 125, 12.5 и 1.25 μM. Исследуемое вещество растворяли в этаноле и вводили в состав дрожжевой пасты, которая служила основным источником пищи. Паста контрольной группы содержала этанол 1%.

Для анализа продолжительности жизни оценивали кривые дожития, медианную продолжительность жизни и возраст смерти 90% выборки.

Измеряли спонтанную локомоторную активность и проводили тест на отрицательный геотаксис.

Плодовитость оценивали по количеству яиц, отложенных самками за сутки, и количеству сформировавшихся куколок.

Оценку уровня экспрессии гена *Jmdj3* осуществляли с помощью метода количественной ПЦР в реальном времени.

Анализ продолжительности жизни проводили в трех повторностях, которые затем были объединены.

Согласно полученным данным, PDC достоверно увеличивает медианную ПЖ самцов дрозофилы в концентрациях 125, 12.5 и 1.25 μM на 4, 7 и 5% соответственно. Также мы наблюдали достоверное увеличение возраста смерти 90% выборки в концентрации 12.5 μM на 6% и уменьшение этого показателя в концентрации 125 μM на 4% (рис. 1-3, см. таблицу).

У самок происходило достоверное уменьшение медианой ПЖ в концентрациях 12.5 и 1.25 μM на 2%. В концентрации 1.25 μM также происходило уменьшение возраста смерти 90% выборки на 5%. В концентрации 125 μM достоверных различий в показателях ПЖ у самок не наблюдалось (рис. 4-6, см. таблицу).

Измерение активности самцов и самок, а также плодовитости самок проводили при воздействии концентрацией PDC 125 μM.

Мы наблюдали достоверное увеличение спонтанной локомоторной активности в начале и конце жизни и ее снижение в середине жизни как у самцов, так и у самок (рис. 8 и 10). Достоверного изменения активности в тесте на отрицательный геотаксис мы не наблюдали. Однако можно отметить тенденцию к ее увеличению во второй половине жизни (рис. 7 и 9).

Плодовитость самок достоверно не изменялась (рис. 11 и 12). При этом также можно отметить тенденцию к увеличению этого показателя во второй половине жизни по количеству яиц в кладке.

Анализ ПЦР показал достоверное увеличение экспрессии гена *Jmdj3* у самок в начале жизни (рис. 13). У самцов мы наблюдали достоверное уменьшение экспрессии данного гена в середине жизни (рис. 14).

Основываясь на вышеизложенных результатах, можно заключить, что применение пирролидин дитиокарбомата статистически значимо увеличивает медианную продолжительность жизни самцов в концентрациях 125; 12.5 и 1.25 μM и уменьшает продолжительность жизни самок в концентрациях 12.5 и 1.25 μM. В тесте на отрицательный геотаксис прослеживается тенденция к увеличению активности и у самцов, и у самок. Спонтанная активность как самцов, так и самок статистически значимо увеличивается в первой и последней трети жизни и уменьшается в середине жизни. Наблюдается тенденция к увеличению плодовитости самок с середины жизни до конца. Уровень экспрессии *Jmjd3* статистически значимо увеличивается у самок в начале жизни, а у самцов уменьшается в середине жизни.

Влияние специфических ингибиторов транскрипционного фактора NF-kB на продолжительность жизни имаго *Drosophila melanogaster* (*p < 0.01)

Концентрация	Самцы		Самки
	Медианная ПЖ, сут.	Возраст смерти 90% выборки, сут.	Медианная ПЖ, сут.
Контроль	53	70	58
125 μM	55 (+4%)*	67 (–4%)*	60 (+4%)
Контроль	58	72	59
12.5 μM	62 (+7%)*	76 (+6%)*	58 (–2%)*
1.25 μM	61 (+5%)*	73 (+1%)	58 (–2%)*

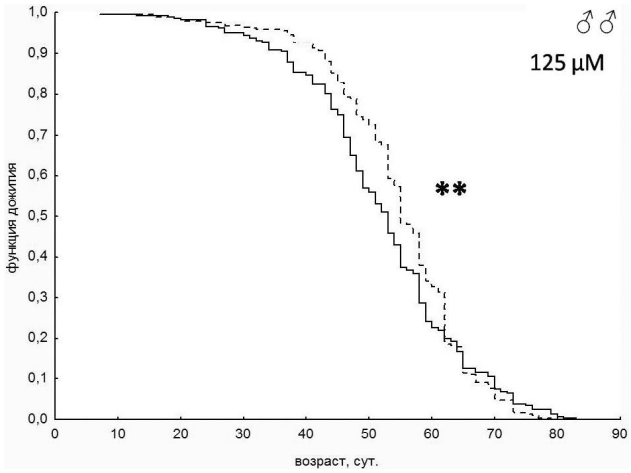


Рис. 1. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 µM на ПЖ самцов *Drosophila melanogaster.* Здесь и далее: ——— – контроль, ------ – опыт. *p < 0.01, **p < 0.001.

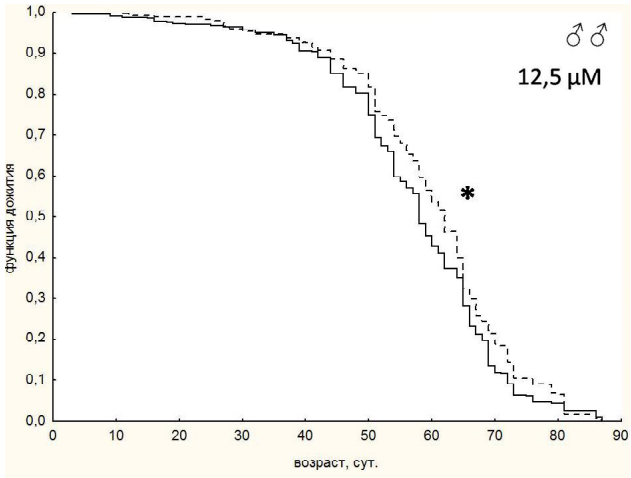


Рис. 2. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 12,5 µM на ПЖ самцов *Drosophila melanogaster.*

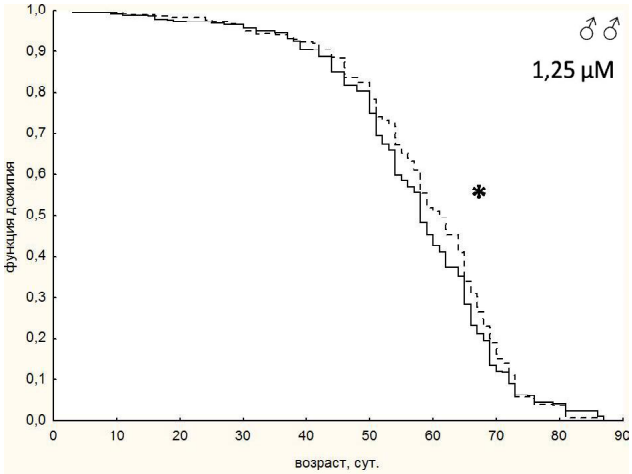


Рис. 3. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 1,25 µM на ПЖ самцов *Drosophila melanogaster.*

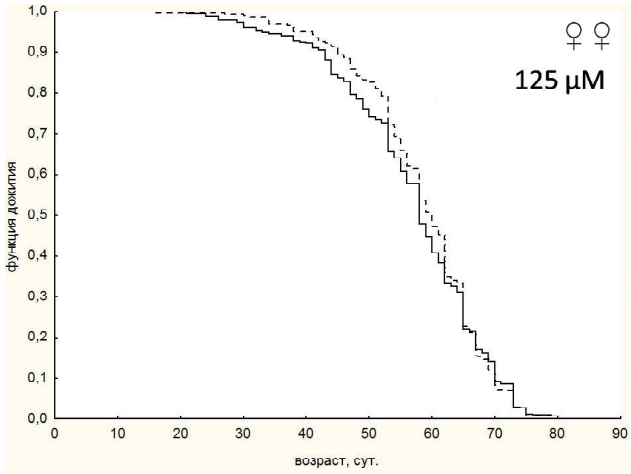


Рис. 4. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 µM на ПЖ самок *Drosophila melanogaster.*

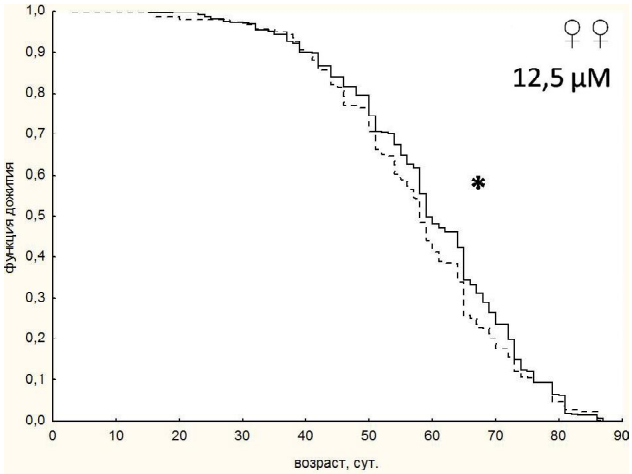


Рис. 5. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 12,5 µM на ПЖ самок *Drosophila melanogaster.*

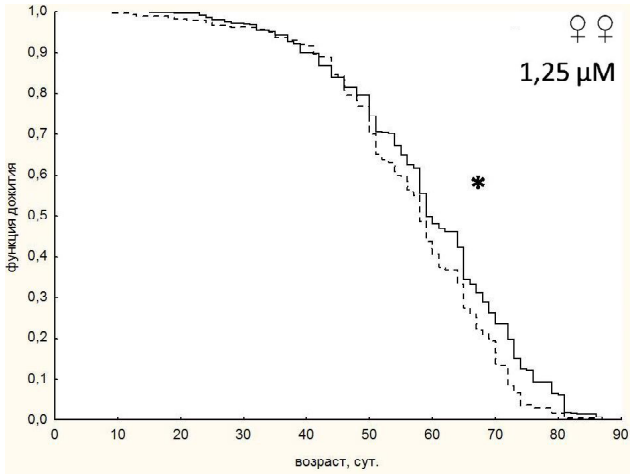


Рис. 6. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 1,25 µM на ПЖ самок *Drosophila melanogaster.*

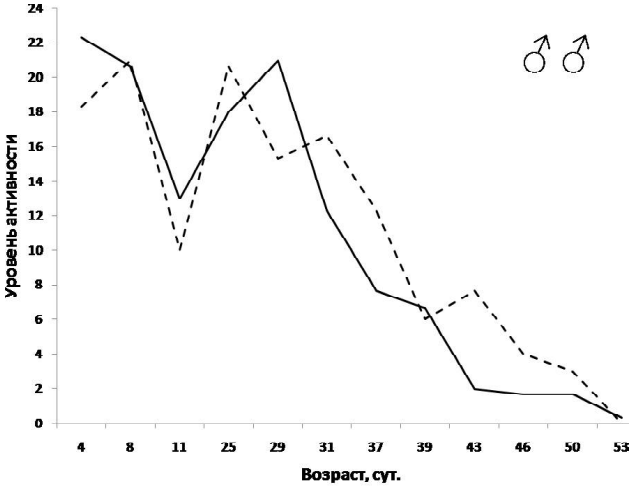


Рис. 7. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на активность в тесте на отрицательный геотаксис самцов *Drosophila melanogaster.*

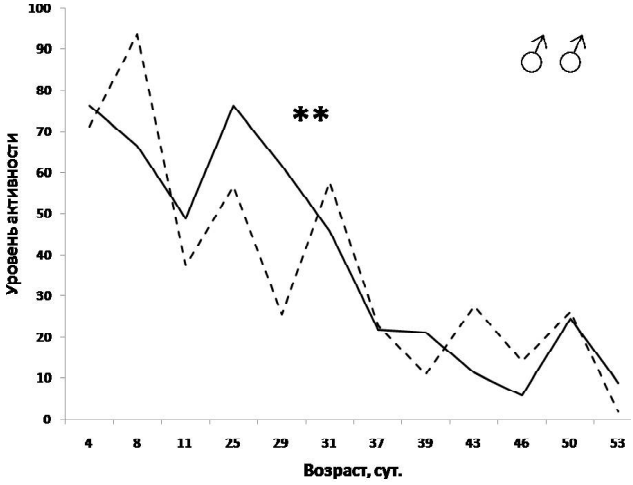


Рис. 8. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на спонтанную локомоторную активность самцов *Drosophila melanogaster.*

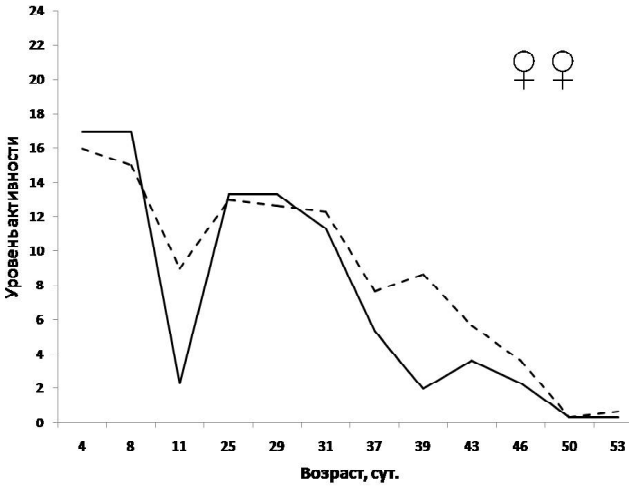


Рис. 9. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на активность в тесте на отрицательный геотаксис самок *Drosophila melanogaster.*

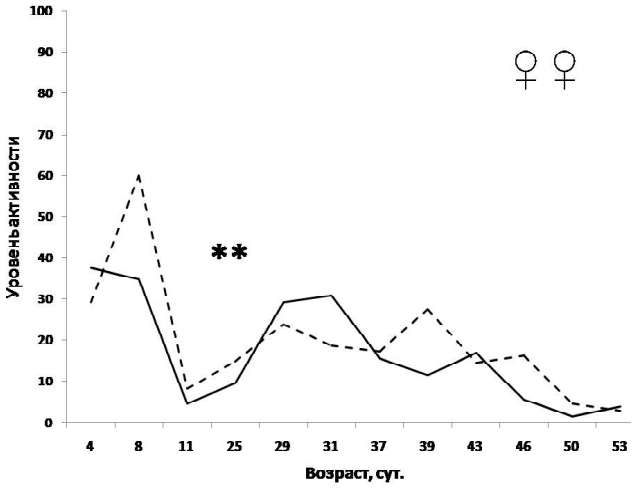


Рис. 10. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на спонтанную локомоторную активность самок *Drosophila melanogaster.*

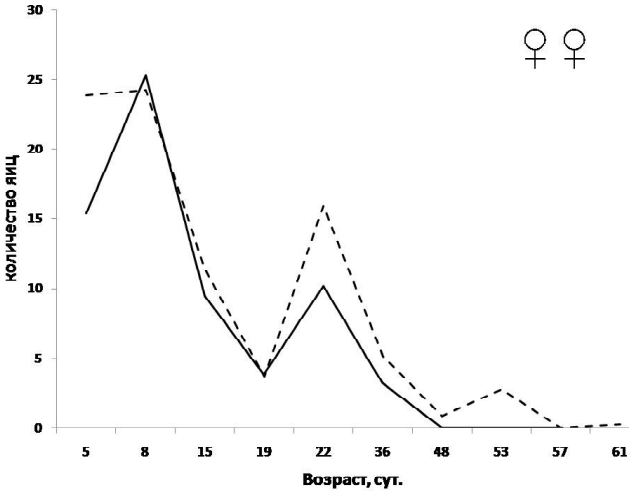


Рис. 11. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на количество яиц в кладке *Drosophila melanogaster.*

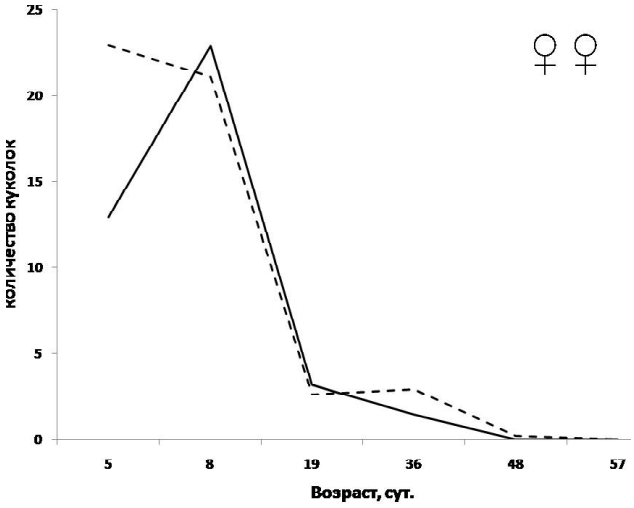


Рис. 12. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на количество куколок *Drosophila melanogaster.*

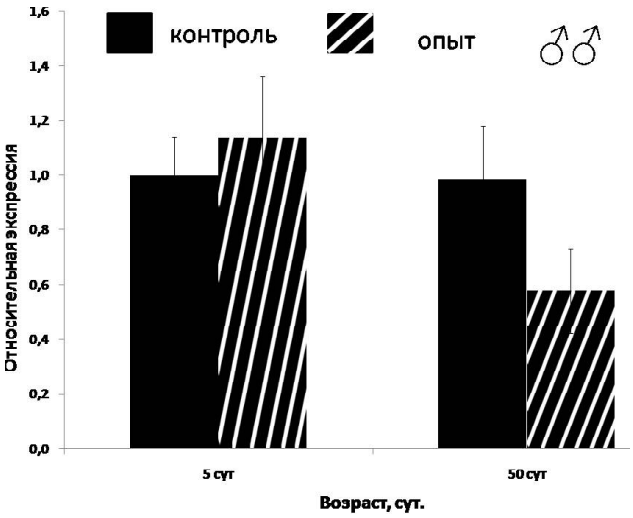


Рис. 13. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на экспрессию гена *Jmjd3* самцов *Drosophila melanogaster*

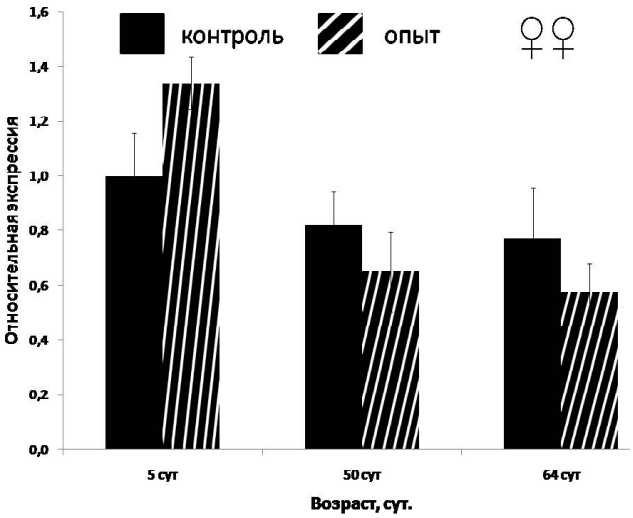


Рис. 14. Влияние ингибитора *NF-kB* в концентрации 125 μM на экспрессию гена *Jmjd3* самок *Drosophila melanogaster.*

Таким образом, пирролидин дитиокарбомат положительно влияет на возрастную динамику физиологических показателей самцов и самок. Выявлены выраженные половые различия в изменении продолжительности жизни. Это может быть следствием особенностей физиологии или участия NF-kB в специфичных для данного пола сигнальных путях.

Работа поддержана грантом РФФИ 11-04-00956-а.

Литература

Moskalev A., Shaposhnikov M. Pharmacological inhibition of NF-κB prolongs lifespan of *Drosophila melanogaster* // Aging., 2011. № 3 (4). P. 391-394.

Baker R.G., Hayden M.S. Ghosh Sankar NF-κB, inflammation and metabolic disease // Cell Metab., 2011. № 13 (1). P. 11-22.

Liu Shu F., Ye Xiaobing, Malik Asrar B. Inhibition of NF-kB Activation by Pyrrolidine Dithiocarbamate Prevents In Vivo Expression of Proinflammatory Genes // Circulation, 1999. № 100. P. 1330-1337

Simmonds R.E., Foxwell B.M. Signalling, inflammation and arthritis: NF-κB and its relevance to arthritis and inflammation// Rheumatology, 2008. № 47. P. 584-590.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АККЛИМАЦИИ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ

Д.С. Капшай
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: kapsh@ibiw.yaroslavl.ru

Водные организмы, в том числе рыбы, обитающие в природных водоемах, постоянно испытывают влияние динамично изменяющихся факторов среды. Среди многих биотических и абиотических факторов, влияющих на основные процессы жизнедеятельности рыб, следует отметить температуру. В экологии этот показатель рассматривается как один из наиболее значимых абиотических факторов среды, определяющих эффективность роста, питания, размножения и, в конечном счете, продуктивность популяций рыб. Адаптации к динамичным и статичным значениям температур обеспечивают взаимодействие организма и среды. Как следствие, в процессе онтогенеза, а также при прохождении сезонных и жизненных циклов рыбы вынуждены приспосабливаться к колебаниям температур и использовать различные формы температурных адаптаций: температурную акклимацию, терморегуляционное поведение, адаптации к предельно высоким и низким температурам, а также «зимнюю спячку» (Голованов и др., 1997; Озернюк, 2000).

Под акклимацией принято понимать и процесс компенсации воздействия фактора среды, и результат этого воздействия. В результате акклимации первоначально отклонившиеся под внешним воздействием показатели физиологического состояния организма с течением времени возвращаются к норме или устанавливается новый уровень их стабильного функционирования (Хлебович, 1981). В экспериментальных условиях акклимация – определяющий фактор, влияющий на верхнюю летальную температуру.

Цель настоящей работы – изучить влияние температуры акклимации на верхние летальные

температуры (ВЛТ) у представителей карповых и щуковых видов рыб.

Работа выполнена в 2008-2012 гг. на особях карпа *Cyprinus carpio* (L.) в возрасте 0+, серебряного карася *Carassius auratus* (L.) (1+ и 2+), леща *Abramis brama* (L.) (1+ и 2+), плотвы *Rutilus rutilus* (L.) (0+), уклейки *Alburnus alburnus* (L.) (0+), пескаря *Gobio gobio* (L.) (2+), щуки *Esox lucius* L. (0+) и гольяна *Phoxinus phoxinus* L.(3+ и 4+). Масса тела у перечисленных видов составила 8.7-10.6, 1.2-4.2, 1.2-6.0, 0.7-4.0, 0.6-1.4, 3.3, 16.5 и 6.5 г, длина тела рыб – 64.3-66.7, 37.5-51.0, 42.3-83.2, 35.8-64.1, 44-55, 71, 126.6 и 78.8 мм соответственно. Рыбы отлавливались в прибрежье Рыбинского водохранилища, а также в низовье и верховье р. Илдь. После отлова особи помещались в аквариумы с температурой, соответствующей температуре водоема и далее акклимировались к температуре воды 13, 20 и 28 °С.

Для определения критического термического максимума (КТМ) и летальной температуры (ЛТ) группу рыб (по 6 экз. в каждой, две повторности) помещали в экспериментальный аквариум объемом 60 л. Температуру воды повышали со скоростью 8-10 °С/ч до нарушения локомоторной функции рыб – переворота на бок или кверху брюшком (сублетальное значение температуры фиксировали как КТМ). При продолжении нагрева до момента прекращения движения жаберных крышек фиксировали значение ЛТ (по данному показателю). Для определения хронического летального максимума (ХЛМ) группу рыб (по 6-10 экз. в каждой) помещали в аналогичные условия. Температуру воды в опытном аквариуме повышали со скоростью 0.04 °С/ч (1 °С/сут.) до момента гибели рыб и фиксировали как значение ХЛМ. Продолжительность эксперимента при медленной скорости нагрева воды составляла 16-23 сут., при скорости нагрева 8-10 °С при соответствующих температурах акклимации 13, 20 и 28 °С продолжительность составляла 5-3, 2-2.5 и 1.5-1.8 ч соответственно. Все опыты проводили при естественном фотопериоде. Рыб кормили один раз в сутки живым зоопланктоном, рыбным фаршем, сухим комбикормом, личинками хирономид, а щук – сеголетками окуня в объеме 3-4% от общей массы тела.

Сравнительный анализ верхних летальных температур рыб

Вид	КТМ, °С			ЛТ, °С			ХЛМ, °С
	13	20	28	13	20	28	
Карп	31.8	35.6	39.7	33.6	36.5	40.5	41.3
Карась	32.1	37.9	40.4	33.0	38.1	41.0	39.0
Лещ	27.5	35.8*	36.8	–	36.7*	37.1	37.5
Плотва	26.8	33.3	36.5	29.7	34.5	37.5	37.0
Уклейка	–	33.6	–	–	36.0	–	36.9
Пескарь	–	32.4	–	–	33.0	–	–
Щука	28	33.6	–	–	35.2	–	34.0
Гольян	30.0	–	–	30.7	–	–	32.0

Примечание. Ошибка среднего: 0.1-0.3; * температура акклимации – 24 °С. Дополнительные источники: Смирнов, Голованов, 2005; Голованов, Смирнов, 2007; Голованов, 2012.

Исследованные нами виды рыб из семейств карповых и щуковых по температурным критериям жизнедеятельности относятся к разным группам. Так, карп и серебряный карась представляют наиболее теплолюбивые виды. К этой группе относятся виды, наиболее термоустойчивые и теплолюбивые в сравнении с остальными карповыми, окуневыми и другими видами. Плотва, лещ, уклейка и пескарь – представители теплолюбивых видов, т.е. сравнительно термоустойчивых и теплолюбивых. Щука и пескарь представляют умеренно теплолюбивые, гольян – холодолюбивый виды.

Как и следовало ожидать, наибольшие уровни ВЛТ были отмечены у серебряного карася (32.1-37.9 °С) на всех уровнях акклимации, немного меньше показатели ВЛТ у особей карпа (см. таблицу). Примерно равные значения ВЛТ зафиксированы среди представителей эвритермных рыб: несколько более высокие значения КТМ у леща (27.5-35.8-36.8 °С) в сравнении с плотвой (26.8-33.3-36.5 °С) при соответствующих уровнях акклимации. В сравнении с лещом и плотвой у молоди щуки значения КТМ несколько выше. Показатели КТМ и ЛТ у пескаря в группе эвритермных видов самые низкие – 32.4 °С. Гольян, несмотря на принадлежность к холодолюбивым видам, показал достаточно высокие значения КТМ (30 °С), но следует учитывать, что в опыте использовались половозрелые особи. Значения показателей ХЛМ, в отличие от КТМ, были выше у карпа (41.3 °С) в сравнении с серебряным карасем (39.5 °С). У щуки и плотвы, леща значения ХЛМ близки, несколько выше показатели у уклейки, акклимированной к температуре 28 °С. При акклимации к температуре воды 20 °С значения ВЛТ уклейки, очевидно, совпали бы с уровнем ВЛТ других эвритермных видов.

Сравнение наших данных с другими по аналогичным или другим видам выявило, что у молоди серебряного карася и карпа, акклимированных к температуре 20 °С при скорости нагрева 10 °С/ч, значение КТМ практически идентичны полученным – 38 и 35.8 °С соответственно. Окунь при акклимации к температуре воды 20-28 °С показал значения КТМ 32.0-35.8 °С соответственно (Голованов и др., 2012а, б). Данные по молоди леща для аналогичной скорости нагрева воды в летний сезон отсутствуют, однако показатели КТМ у сеголетков леща при акклимации к температуре воды 12 °С в осенний сезон и скорости нагрева 10 °С/ч составили 27.7 °С, а у леща при скорости нагрева ~5 °С/ч в летний сезон – 34.3 °С (Лапкин и др., 1990).

В целом, характер зависимости КТМ от температуры акклимации у разных видов показывает, что при изменении температуры акклима-

ции на 1 °С ВЛТ у карася изменяется на 0.47 °С, карпа – 0.54, плотвы – 0.55 и окуня – на 0.50 °С. Таким образом, на основании данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод о возрастании значений КТМ и ЛТ при увеличении уровня температуры акклимации. Влияние уровня акклимации на показатель ХЛМ еще не достаточно изучен, однако имеющиеся данные предполагают определенную инертность величины ХЛМ от температурных условий предварительного содержания рыб. У всех исследованных видов рыб при повышении температуры акклимации в ряду 13-20-28 °С значения КТМ увеличиваются: у карпа – 4.8-3.1 °С, серебряного карася – 5.9-2.5, плотвы – 6.5-3.5 °С, по нашим данным, на окуне в аналогичном ряду КТМ увеличивается на 3.5-3.8 °С соответственно. Таким образом, у одних видов наибольшая разница колебаний КТМ наблюдается при повышении акклимации с 13 до 20 °С, у других – с 20 до 28 °С. Разница между значениями КТМ и ЛТ в аналогичном диапазоне уровней акклимации (13-20-28 °С) составила у карпа 1.8-0.9-0.8, серебряного карася – 0.9-0.2-0.6 и плотвы – 2.9-1.2-1.0 °С соответственно, т.е. изменялась незначительно, но наблюдалась некая тенденция уменьшения при повышении уровня температуры акклимации.

В целом, закономерное возрастание показателей ЛТ при повышении уровня акклимации позволяет предположить наличие у рыб адаптаций на физиолого-биохимическом уровне, направленных на предотвращение гибели молоди при кратковременном повышении уровня термального режима водоемов посредством повышения верхней границы температурной устойчивости. Следовательно, можно выявить определенную зависимость значений ВЛТ от уровня температуры акклимации. Выявленная тенденция в перспективе позволит, возможно, определять значения термоадаптационных показателей (КТМ, ЛТ и ХЛМ), не проводя подробных экспериментов, а также учитывать ошибку эксперимента. Важно в таких опытах учитывать также сезон года, возраст и физиологическое состояние рыб. Безусловно, прогнозирование уровня ВЛТ должно опираться на уже имеющиеся данные по зависимости верхней границы термоустойчивости от разных факторов при других уровнях температурной акклимации.

Таким образом, среди исследованных видов рыб наибольшая термоустойчивость отмечена у карпа и серебряного карася. Уровни значений КТМ, ЛТ и ХЛМ у них максимальны. У леща, плотвы, уклейки, пескаря и щуки показатели ВЛТ ниже и близки между собой. У гольяна уровень летальных температур самый низкий среди изученных видов. Полученные данные позволяют прогнозировать последствия повышения температуры воды в летний сезон и действия кратковременных аномально высоких температур в естественных водоемах, а также в зонах сброса подогретых вод ГРЭС, АЭС и крупных промышленных предприятий.

Исследование выполнено при поддержке программы фундаментальных исследований Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий».

Литература

Голованов В.К. Эколого-физиологические закономерности распределения и поведения пресноводных рыб в термоградиентных условиях: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2012. 46 с.

Голованов В.К., Свирский А.М., Извеков Е.И. Температурные требования рыб Рыбинского водохранилища и их реализация в естественных условиях // Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ярославль: ЯрГТУ, 1997. С. 92-116.

Голованов В.К., Капшай Д.С., Голованова И.Л. Влияние высокой температуры акклимации на термоустойчивость молоди рыб // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство, 2012а. № 1 (в печати).

Голованов В.К., Смирнов Д.С., Капшай Д.С. Сравнительный анализ окончательно избираемой и верхней летальной температуры у молоди некоторых видов пресноводных рыб // Труды Карельского НЦ РАН. Сер. Эксперим. биология, 2012б. № 3 (в печати).

Озернюк Н.Д. Температурные адаптации. М.: Изд-во Московского ун-та, 2000. 205 с.

Смирнов А.К., Голованов В.К. Влияние различных факторов на термоустойчивость серебряного карася *Carassius auratus* (L.) // Биол. внутр. вод, 2004. № 3. С. 103-109.

Лапкин В.В., Голованов В.К., Свирский А.М., Соколов В.А. Термоадаптационные характеристики леща *Abramis brama* (L.) Рыбинского водохранилища // Структура локальной популяции у пресноводных рыб. Рыбинск, 1990. С. 37-85.

Хлебович В.В. Акклимация животных организмов. Л.: Наука, 1981. 136 с.

ВЛИЯНИЕ КАРОТИНОИДСОДЕРЖАЩЕГО ЭКСТРАКТА ПЛОДОВ МОРОШКИ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.А. Лашманова, Е.В. Романова[1]
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: ekaterinalashmanova@yandex.ru
[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: romanova@mail.ru

Интерес к каротиноидам и их возможной роли в поддержании здоровья человека возник почти 100 лет назад, когда была установлена связь между β-каротином и витамином А (токоферол). В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что каротиноиды оказывают биологическое действие на живые организмы и их функции. Показано, что они способны проявлять протекторные свойства и защищать важные биологические молекулы – ДНК, липиды и белки от повреждения активными формами кислорода (Krinsky, 1993; Sies, 1995). С возрастом в органах и тканях животных и человека накапливаются продукты окислительного повреждения макромолекул, снижается активность антиокислительной системы (Анисимов, 2008). Полагают, что применение антиоксидантов может играть существенную роль в уменьшении смертности и увеличении продолжительности жизни.

Цель работы – исследовать влияние каротиноидсодержащего экстракта из плодов морошки на продолжительность жизни и выживаемость *Drosophila melanogaster* при действии факторов, индуцирующих окислительный стресс.

Для получения каротиноидсодержащего экстракта использовали плоды морошки приземистой, биологические запасы которых в таежной зоне Республики Коми составляют около 27.5 тыс. т. Лиофильно высушенные зрелые плоды экстрагировали ацетоном. Экстракт очищали, концентрировали и высушивали газообразным азотом. Содержание каротиноидов в экстракте определяли спектрофотометрически и с помощью метода ВЭЖХ. Благодаря концентрированию массовая доля каротиноидов в экстракте была на порядок выше, чем в сухих плодах и составляла 0.4 %. При этом основная часть каротиноидов в экстракте (как и в плодах) была представлена β-каротином. На его долю приходилось около 80% всех каротиноидов.

Для проведения экспериментов использовали *Drosophila melanogaster* линию дикого типа Canton-S. Мух содержали в стандартных условиях при 25 °С и 12-часовом режиме освещения в баночках объемом 100 мл с 25 мл агаро-дрожжевой питательной среды. В пищу опытным дрозофилам в течение всей жизни добавляли растворенный в спирте экстракт морошки из расчета 1 и 5 мкмоль каротиноидов. При выборе концентраций ориентировались на рекомендации по норме суточного потребления каротиноидов человеком (в расчете единицу массы тела). В питательную среду для контрольных мух добавляли такое же количество спиртового раствора без каротиноидов. Самцы и самки жили раздельно. В эксперименте на продолжительность жизни ежедневно, кроме субботы и воскресенья, проводили подсчет числа умерших мух. Два раза в неделю дрозофил переносили на свежую среду. По полученным данным строили кривые выживаемости и рассчитывали среднюю, медианную, минимальную, максимальную продолжительность жизни, время гибели 90% особей и другие параметры в программах WinModest и Statistica 6.1.

Влияние каротиноидов на устойчивость мух к стрессовым воздействиям изучали в экспериментах с голоданием и окислительным стрессом. В опытах на стрессоустойчивость использовали 30-суточных мух. Для определения устойчивости к голоданию дрозофил содержали в баночках, где вместо питательной среды клали фильтровальную бумагу, пропитанную водой. Окислительный стресс вызывали добавлением 20 мМ параквата в 5%-ной сахарозе. В опытах на стрессоустойчивость два раза в день подсчитывали количество умерших мух. По полученным данным рассчитывали процент умерших особей спустя 48 ч после начала воздействия голодом и строили кривые выживаемости.

Результаты эксперимента на продолжительность жизни (ПЖ) свидетельствуют о том, что медианная ПЖ особей при добавлении каротиноидов в пищу в целом была выше ПЖ мух, которым каротиноиды в пищу не добавляли (см. таблицу). У самцов этот показатель увеличился на 1.8% ($p < 0.05$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) при концентрации 1 мкмоль и на 3.6% ($p < 0.001$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) – при концентрации 5 мкмоль. Время 90%-ной смертности у самцов ($p < 0.001$, критерий Ванг-Аллисона) увеличилось на 4.3 и 8.6% соответственно.

У самок при концентрации каротиноидов 1 мкмоль медианная ПЖ увеличилась на 11% ($p < 0.001$), а показатель 90%-ной смертности возрастал на 19% ($p < 0.001$). У самок при концентрации 5 мкмоль можно говорить о тенденции к увеличению ПЖ, так как показатель 90%-ной смертности у них увеличился всего на 3% ($p < 0.001$).

При добавлении каротиноидов в дрожжевую пасту популяционная скорость старения особей (параметр α уравнения Гомперца) по сравнению с контролем снижалась у самцов при концентрации 5 мкмоль на 14.3% ($p < 0.05$, критерий Хи-квадрат) и у самок при концентрации 1 мкмоль на 12.5% ($p < 0.01$, критерий Хи-квадрат).

Параметры продолжительности жизни особей *Drosophila melanogaster*

Пол	Вариант	M	X±Δm	90%	min	max	MRDT	α	R	N
Самцы	Контроль	55	51.9±0.8	70	6	95	10.2	0.07	0.0012	514
	1 мкмоль	57*	56.2±0.7	73*	6	91	9.2	0.08***	0.0007*	463
	5 мкмоль	56***	54.9±0.7	76*	3	100	11.0	0.06	0.0012	506
Самки	Контроль	57	55.3±0.6	70	3	103	8.7	0.08	0.0006	511
	1 мкмоль	63*	61.7±0.8	83*	4	104	10.3	0.07*	0.0006	508
	5 мкмоль	57***	57.7±0.5	72*	20	91	8.0	0.09	0.0004***	521

Примечание. M – медианная продолжительность жизни (ПЖ в сут.); X±Δm – средняя продолжительность жизни и ошибка среднего (сут.); 90% – время 90%-ной гибели популяции (сут.); min и max – минимальная и максимальная продолжительность жизни в выборке (сут.); MRDT – время удвоения интенсивности смертности; α и R – параметры уравнения Гомпертца; N – количество особей в выборке. Различия достоверны с контролем при $*p < 0.001$, $**p < 0.01$, $***p < 0.05$. При сравнении времени 90%-ной гибели особей использовали критерий Ванг-Аллисона, для медианной продолжительности жизни – критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона, для параметров α и R – метод максимального правдоподобия по критерию Хи-квадрат.

Величина параметра R уравнения Гомперца, соответствующая началу смертности у самцов при концентрации каротиноидов 1 мкмоль, понизилась на 42% ($p < 0.001$, критерий Хи-квадрат). Достоверного изменения величины данного параметра у самцов при концентрации каротиноидов 5 мкмоль не выявлено. У самок, наоборот, при концентрации 5 мкмоль величина параметра R уравнения Гомперца понизилась на 33% ($p < 0.05$), а при концентрации каротиноидов 1 мкмоль – не изменялась.

Положительное воздействие каротиноидов на продолжительность жизни и скорость старения особей подтверждено анализом кривых выживаемости и траекторий смертности. Обнаружены также достоверные различия параметров кривых траектории смертности опытных и контрольных мух.

В опыте с индуктором свободных радикалов (паракватом) добавление в пасту каротиноидов в концентрации 1 и 5 мкмоль достоверно не повлияло на смертность самок. В отличие от самок у самцов было отмечено уменьшение устойчивости. При воздействии на самцов паракватом их смертность возрастала в 1.8 раз (различия достоверны при $p < 0.001$ по φ-критерию Фишера) при концентрации каротиноидов в 1 мкмоль и в 1.5 раз – при 5 мкмоль ($p < 0.01$). Уменьшение устойчивости в обоих случаях сопровождалось сдвигом кривой выживаемости влево (различия достоверны при $p < 0.001$ по критерию Колмогорова-Смирнова) по сравнению с контролем (см. рисунок).

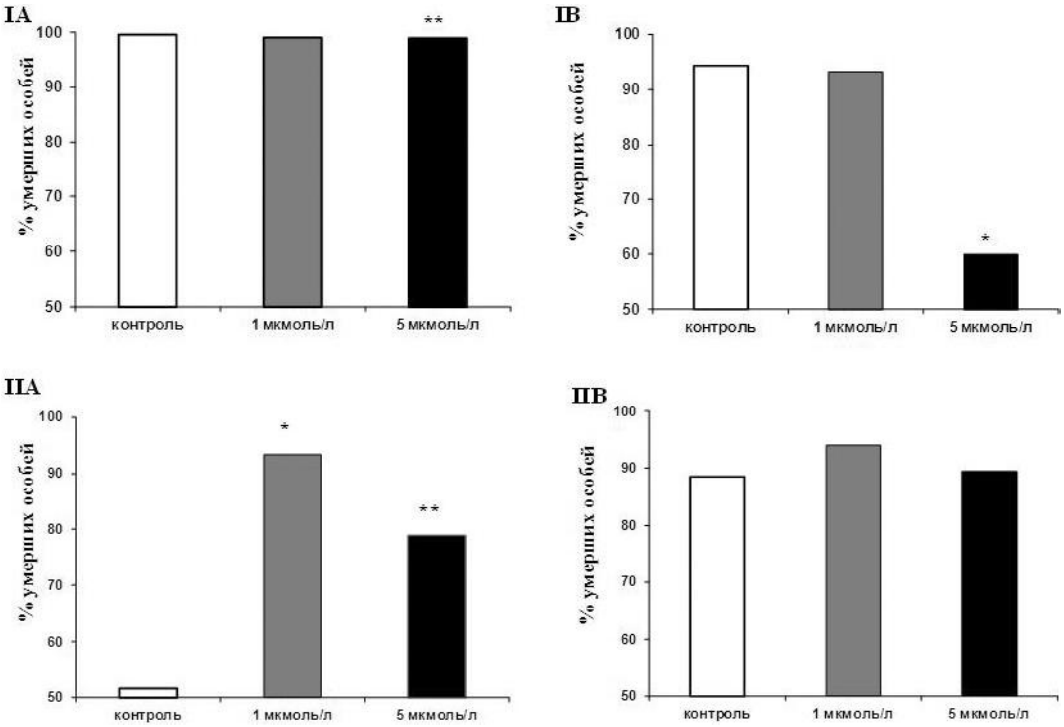
Обнаружено повышение устойчивости к голоданию у самок при добавлении в пищу каротиноидов. Добавление в пасту каротиноидов в концентрации 5 мкмоль привело к понижению процента умерших самок в 1,6 раза ($p<0.001$). При добавлении 1 мкмоль каротиноидов у самок наблюдалось смещение кривой выживаемости вправо ($p<0.05$). У самцов такое смещение происходило при концентрации каротиноидов 5 мкмоль ($p<0.001$).

Итак, мы выявили положительный эффект каротиноидов на продолжительность жизни и устойчивость дрозофил при голодании. Наличие в молекуле каротиноидов сопряженных двойных связей способствует подавлению синглетных форм кислорода и снижению окислительных повреждений биомолекул. В результате медианная ПЖ у самок увеличивалась на 11%, показатель 90%-ной смертности возрастал на 19%, а популяционная скорость старения снизилась на 12.5%. У самок защитное действие каротиноидов было выражено сильнее, что свидетельствует об участии половых гормонов и их рецепторов.

Важно отметить, что кроме прямого антиоксидантного эффекта, каротиноиды могут оказывать регулярное действие на клеточный геном и некоторые клеточные функции, влияющие на продолжительность жизни (Wang, 2009). Так, например, они регулируют активность транскрипционного фактора АРи активируют MAPK (mitogen activated protein kinase), что ведет к индукции ARE (antioxidant response element). Одной из важнейших регуляторных систем, контролирующих продолжительность жизни, является инсулин/IGF-сигналинг. Каротиноиды уменьшали экспрессию гена IGF и увеличивали концентрацию белков, которые связываются с этим геном. Вышеперечисленные факты представляют большой интерес в свете современных представлений о генетике старения и продолжительности жизни (Москалев, 2008). Можно полагать, что сходные механизмы могли проявить себя не только в опытах на продолжительность жизни, но и в опытах с голоданием.

При действии паракватом каротиноиды не оказали защитного действия у самок и повышали смертность самцов, проявляя прооксидантные свойства. Это согласуется с представлениями о том, что под действием сильного окислительного стресса из β-каротина образуются реактивные продукты распада, сходные по химической активности с продуктами, образующимися при перекисном окислении липидов (Siems et al., 2005). Такая гипотеза может объяснить прооксидантный эффект каротиноидов у дрозофил, на которых воздействовали индуктором образования активных форм кислорода – паракватом.

Таким образом, было установлено, что потребление каротиноидов с пищей оказывало выраженное влияние на показатели продолжительности жизни самок *Drosophila melanogaster* линии Canton-S. Медианная продолжительность



Влияние каротиноидов на долю умерших самцов (А) и самок (В) спустя 48 ч в условиях голодания (I) и параквата (II); *p < 0.001, **p < 0.01 по φ-критерию Фишера.

жизни у самок увеличивалась, показатель 90%-ной смертности возрастал, а популяционная скорость старения снизилась. Влияние каротиноидов на самцов было выражено слабее. У самок каротиноиды существенно увеличивали устойчивость к голоданию, тогда как у самцов проявлялась лишь тенденция к повышению стрессоустойчивости при голодании. При воздействии индуктором окислительного стресса – паракватом у самцов, получавших каротиноиды, смертность повышалась, а у самок – не отличалась от контроля.

Выражаем благодарность д.б.н. А.А. Москалеву и к.б.н. О.В. Дымовой за содействие при выполнении данной работы.

Литература

Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. СПб.: Наука, 2008. Т. 1. 481 с.

Москалев А.А. Старение и гены. СПб.: Наука, 2008. 358 с.

Krinsky N.I. Actions of carotenoids in biological systems // Annual Review of Nutrition, 1993. Vol. 13. P. 561-587.

Siems W., Wiswedel I., Salerno C. et al. Beta-carotene breakdown products may impair mitochondrial functions – potential side effects of high-dose beta-carotene supplementation // J. Nutr. Biochem., 2005. Vol. 16. P. 385-397.

Sies H. Strategies of antioxidant defense: relations to oxidative stress // Signalling mechanisms from transcription factors to oxidative stress. Berlin: Springer Verlag, 1995. P. 165-186.

Wang Xiang-Dong. Biological activities of carotenoid metabolites // Carotenoids. Vol. 5: Nutrition and Health. Basel: Birkhauser Verlag, 2009. P. 383-409.

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК И УРОВНЯ МЕТИЛИРОВАНИЯ ГЕНОМА В ЛЕЙКОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ МЫШЕЙ ЛИНИИ *SHK*

В.Н. Мезенцева[1], И.О. Велегжанинов, О.А. Шосталь, А.А. Москалев
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
[1] Сыктывкарский государственный университет
E-mail: vera-mezenceva@mail.ru

Воздействие на клетку стрессовых факторов часто вызывает повреждения ДНК. В ответ на повреждения ДНК активируются следующие типы репарации: прямая репарация однонитевых разрывов, эксцизионная репарация, репарация двунитевых разрывов и репарация сшивок ДНК (Sancar, 2005). Однако со старением происходит снижение уровней или активности

белков систем репарации ДНК, а также повышение интенсивности воздействия повреждающих ДНК факторов за счет интенсификации накопления в организме побочных продуктов метаболизма, таких как активные формы кислорода и азота, малоновый диальдегид.

На данный момент известно, что уровень двунитевых разрывов ДНК (Sedelnikova et al., 2008), сшивок ДНК (Han et al., 2007) и модифицированных оснований (Olinsk et al., 2007) с возрастом повышается, тогда как уровень однонитевых разрывов (Moskalev, Velegzhaninov, 2010) остается неизменным. Известен также факт гипометилирования генома при старении организма (Ванюшин, 1977).

Актуальной целью, на наш взгляд, является попытка использования показателей уровня различных повреждений ДНК и метилирования CpG последовательностей генома в качестве биомаркеров старения организма.

Задачи:

1. Оптимизация метода ДНК-комет для определения уровня различных типов повреждения ДНК (одно- и двунитевые разрывы, окисленные пурины и пиримидины, инкорпорированный в ДНК урацил) и метилирования CpG последовательностей генома.

2. Оценка уровня различных типов повреждения ДНК и метилирования CpG последовательностей генома в лейкоцитах мышей разных возрастов.

Для эксперимента использовали белых мышей линии *SHK* разных возрастов. Животных содержали при одинаковых условиях: при комнатной температуре, естественном дневном освещении, свободном доступе к пище. Для забора образца периферической крови у мышей отрезали дистальный фрагмент хвоста. Уровень повреждения ДНК лейкоцитов оценивали методом ДНК комет с модификациями для каждого вида повреждения ДНК. Были исследованы следующие типы повреждения ДНК: одно- и двунитевые разрывы, окисленные пурины и пиримидины, инкорпорированный в ДНК урацил. Кроме того, оценивали уровень метилирования CpG последовательностей генома. Для определения уровня однонитевых разрывов и щелочнолабильных сайтов использовали щелочную версию метода ДНК-комет, для оценки уровня двунитевых разрывов – нейтральную версию данного метода. Для оценки уровня окисленных оснований в ДНК применяли модификацию щелочной версии метода ДНК-комет с обработкой клеток следующими ферментами: 1) формамидопиримидин-ДНК-гликозилазой (FPG), освобождающим окисленные пурины из ДНК, 2) эндонуклеазой III (ENDOIII), удаляющей поврежденные пиримидины из ДНК (Folkmann et al., 2007). Для анализа уровня урацила в ДНК использовали модификацию щелочной версии метода ДНК-комет с обработкой клеток бактериальным ферментом репарации – урацил-ДНК-гликозилазой (UDG) (Duthie, McMillan, 1997). Уровень метилирования CpG динуклеотидов в геноме анализировали с помощью модификации метода ДНК комет, основанного на различной специфичности ректриктаз HpaII и MspI, распознающих одну и ту же последовательность (5'-CCGG-3'), к метилированию данного сайта. Процент метилирования CpG динуклеотидов вычисляли по формуле:

$$100 - \frac{\%\,\tau_{HpaII}}{\%\,\tau_{MspI}} \times 100,$$

где $\%\,\tau_{HpaII}$ и $\%\,\tau_{MspI}$ – это средний %Т для трех препаратов (полученных из одного образца), обработанных соответствующим ферментом (Assessing..., 2010). Для всех данных вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена между величиной исследуемого показателя и возрастом животных. Эксперимент был выполнен в 10 повторностях.

Показано, что уровень однонитевых разрывов ДНК и щелочнолабильных сайтов не возрастает при старении мышей линии *SHK* как у самцов (рис. 1), так и у самок (рис. 2), однако наблюдается повышение уровня данных повреждений в среднем возрасте (в период от 150 до 400 сут.). Ранее в нашей лаборатории был обнаружен подобный эффект у самцов той же линии, причем у животных, развивавшихся в условиях хронического воздействия низкоинтен-

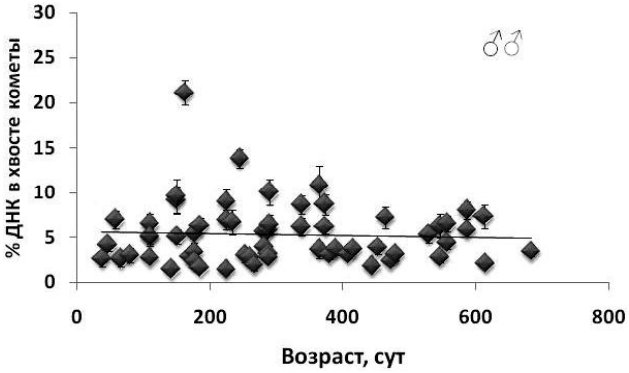


Рис. 1. Уровень однонитевых разрывов и щелочнолабильных сайтов ДНК в лейкоцитах периферической крови самцов мышей линии *SHK*. r_S = 0.06.

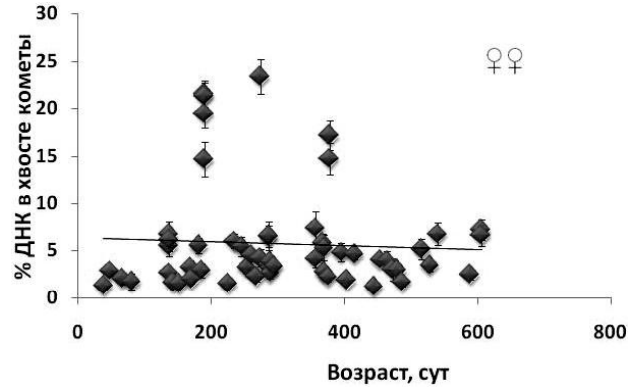


Рис. 2. Уровень однонитевых разрывов и щелочнолабильных сайтов ДНК в лейкоцитах периферической крови самок мышей линии *SHK*. r_S = 0.12.

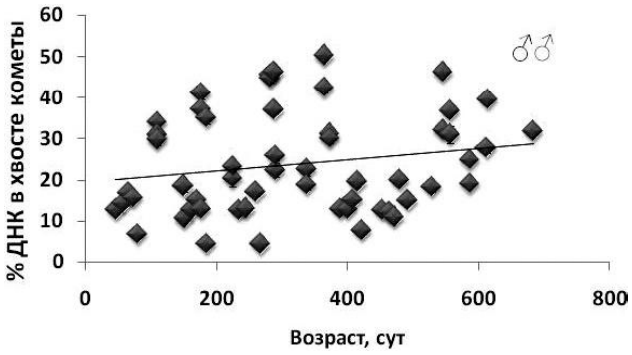


Рис. 3. Уровень двунитевых разрывов ДНК в лейкоцитах периферической крови самцов мышей линии *SHK*. r_S = 0.19.

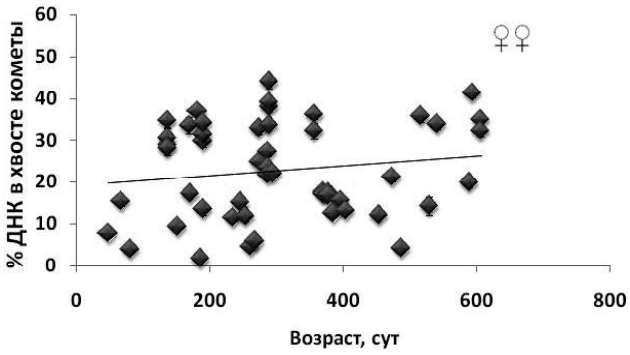


Рис. 4. Уровень двунитевых разрывов ДНК в лейкоцитах периферической крови самок мышей линии *SHK*. r_S = 0.16.

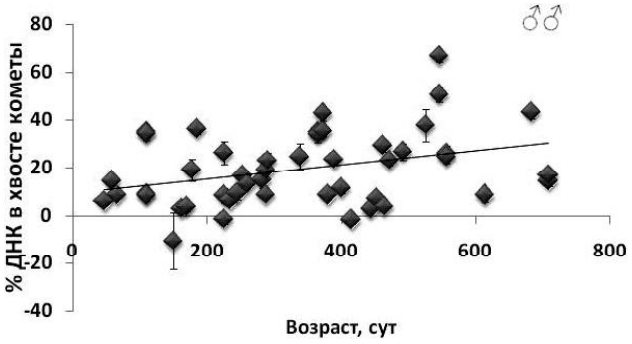


Рис. 5. Уровень окисленных пуринов ДНК в лейкоцитах периферической крови самцов мышей линии *SHK*. r_S = 0.32; различия достоверны при $p < 0.05$.

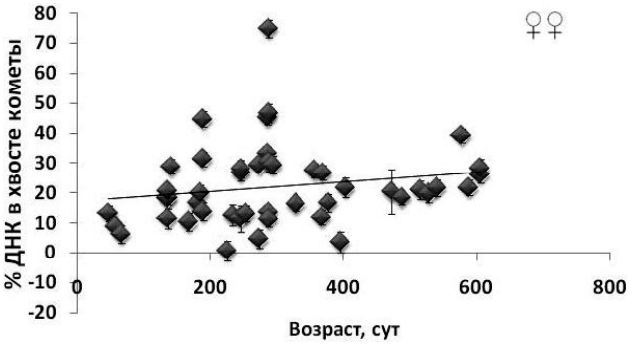


Рис. 6. Уровень окисленных пуринов ДНК в лейкоцитах периферической крови самок мышей линии *SHK*. r_S = 0.30; различия достоверны при $p < 0.05$.

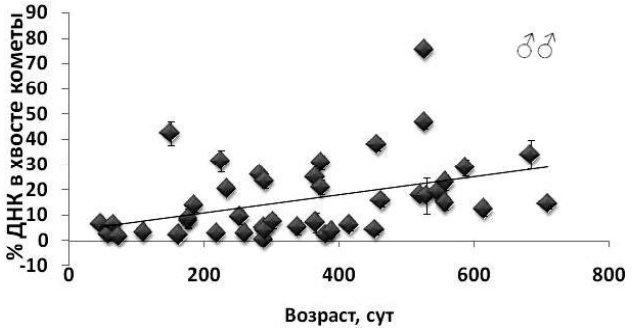


Рис. 7. Уровень окисленных пиримидинов ДНК в лейкоцитах периферической крови самцов мышей линии *SHK*. r_S = 0.44; различия достоверны при $p < 0.05$.

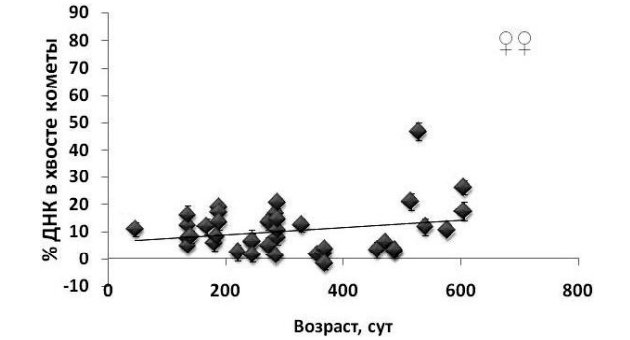


Рис. 8. Уровень окисленных пиримидинов ДНК в лейкоцитах периферической крови самок мышей линии *SHK*. r_S = 0.02.

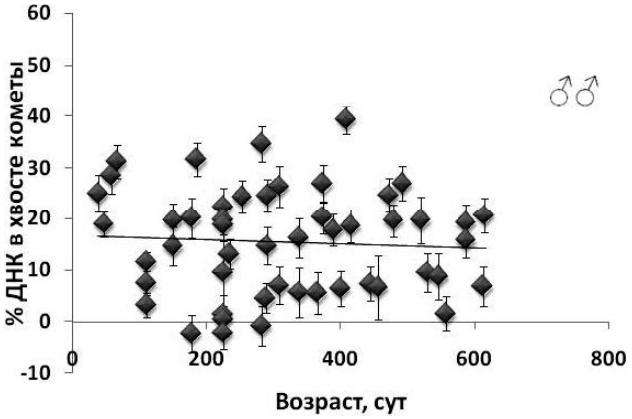


Рис. 9. Уровень урацила ДНК в лейкоцитах периферической крови самцов мышей линии *SHK*. r_S = –0.04.

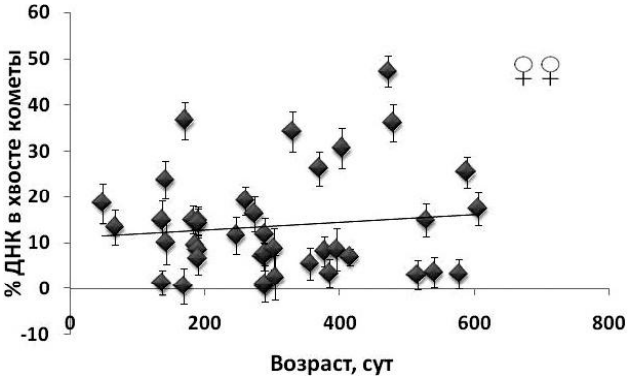


Рис. 10. Уровень урацила ДНК в лейкоцитах периферической крови самок мышей линии *SHK*. r_S = –0.00.

сивного γ-излучения, он был значительно более выраженным (Moskalev, Velegzhaninov, 2010). В 1991 г. другие исследователи на мышах также установили, что с возрастом уровень однонитевых разрывов ДНК не изменяется (Fu et al., 1991).

Уровень двунитевых разрывов ДНК имеет тенденцию к повышению с возрастом и у самцов (рис. 3), и у самок (рис. 4). Имеются экспериментальные работы, подтверждающие увеличение уровня двунитевых разрывов ДНК с возрастом, что связывают со снижением с возрастом активности белков репарации данных повреждений (Delayed..., 2008; Accumulation..., 2011).

Кроме того, наблюдается повышение окислительных повреждений пуринов и пиримидинов в ДНК лейкоцитов самцов (рис. 5, 7). Имеются экспериментальные доказательства того, что уровень окисленных оснований с возрастом повышается, что связывают с усилением окислительного стресса и снижением способности клеток исправлять повреждения (Oxidative..., 2007). Полученные нами результаты свидетельствует о потенциальной возможности использования выявляемого с помощью метода ДНК-комет изменения уровня окислительных повреждений ДНК в качестве маркера старения организма. У самок также наблюдается повышение уровня окисленных пуринов в ДНК лейкоцитов (рис. 6), однако в отношении пиримидинов повышения уровня повреждений не наблюдалось (рис. 8). Возможно, половые различия в динамике уровней данных повреждений обусловлены более высокой способностью организма самок млекопитающих противостоять окислительному стрессу (Vina et al., 2005; Radiation-induced..., 2008).

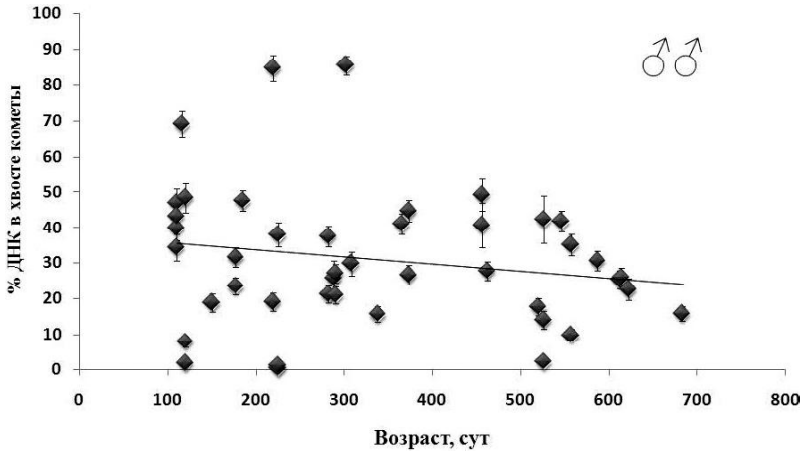


Рис. 11. Доля метилирования ДНК в лейкоцитах периферической крови самцов мышей линии *SHK*. $r_S = -0.19$.

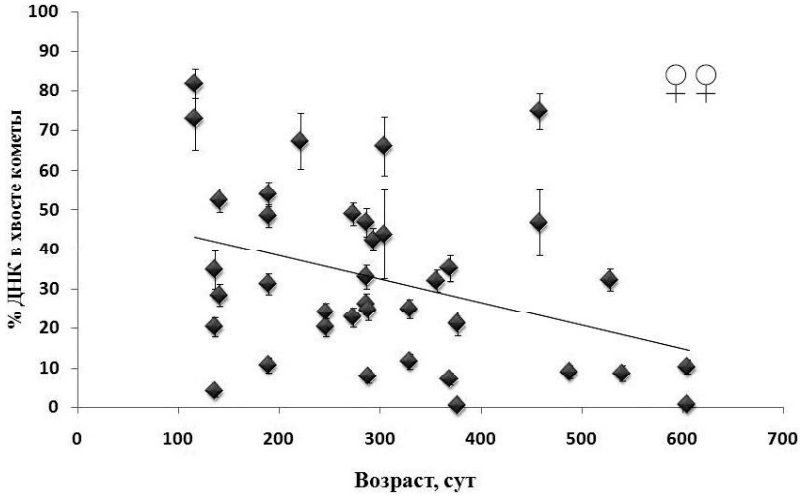


Рис. 12. Доля метилирования ДНК в лейкоцитах периферической крови самок мышей линии *SHK*. $r_S = -0.34$; различия достоверны при $p < 0.05$.

В результате анализа не было обнаружено изменения уровня инкорпорированного в ДНК лейкоцитов урацила как у самцов (рис. 9), так и у самок (рис. 10).

Обнаружены возрастное снижение у самок (рис. 12), а также тенденция к снижению у самцов (рис. 11) уровня метилирования CpG динуклеотидов в ДНК в лейкоцитах, что может быть отражением известного факта гипометилирования генома при старении организма (Ванюшин, 1977).

Выводы.

1. Уровень однонитевых разрывов ДНК и щелочнолабильных сайтов не возрастает при старении мышей линии *SHK*.

2. Уровень двунитевых разрывов ДНК имеет тенденцию к повышению с возрастом как у самцов, так и у самок мышей линии *SHK*.

3. Не было обнаружено изменения уровня урацила в ДНК лейкоцитов мышей как у самцов, так и у самок.

4. Наблюдается повышение окислительных повреждений пуринов и пиримидинов в ДНК лейкоцитов самцов, а уровень окисленных пуринов возрастает в ДНК лейкоцитов самок, что свидетельствует о возможности использования метода ДНК-комет для измерения уровня окислительных повреждений ДНК в качестве маркера старения организма.

5. Обнаружено возрастное снижение уровня метилирования CpG динуклеотидов в ДНК в лейкоцитах у самок и тенденция к его снижению у самцов, что также свидетельствует о целесообразности использования данного метода для оценки скорости старения организма.

Литература

Ванюшин Б.Ф., Бердышев Г.Д. Молекулярно-генетические механизмы старения. М.: Медицина, 1977. 295 с.

Duthie S.J., McMillan P. Uracil misincorporation in human DNA detected using single cell gel electrophoresis // Carcinogenesis, 1997. Vol. 18. № 9. P. 1709-1714.

Folkmann J.K., Loft S., Muller P. Oxidatively damaged DNA in aging dyslipidemic ApoE$^{-/-}$ and wild-type mice // Mutagenesis, 2007. Vol. 22. № 2. P. 105-110.

Radiation-induced bystander effects in vivo are sex specific / *I. Koturbash, K. Kutanzi, K. Hendrickson* et al. // Mutation Research, 2008. № 642. P. 28-36.

Moskalev A.A., Velegzhaninov I.O. Age dynamics of DNA damage, apoptosis, and cell senescence in mice after exposure to low dose gammairradiation at early development stages // Rapid diagnosis in populations at risk from radiation and chemicals. IOS Press, 2010. P. 301-305.

Oxidative damage to DNA and antioxidant status in aging and age-related diseases / *R. Olinski, A. Siomek, R. Rozalski* et al. // Acta Biochimica Polonica, 2007. Vol. 54. P. 11-26.

Accumulation of DNA Damage in Hematopoietic Stem and Progenitor Cells during Human Aging / *C.E. Rube, A. Fricke, T.A. Widmann* et al. // PLoS ONE, 2011. Vol. 6. Is. 3.

Delayed kinetics of DNA double-strand break processing in normal and pathological aging / *O.A. Sedelnikova, I. Horikawa, Ch. Redon* et al. //Aging cell, 2008. P. 89-100.

Sancar A., Lindsey-Boltz L.A., Unsal-Kacmaz K., Linn S. Molecular mechanisms of mammalian DNA repair and the DNA damage checkpoints // Annu. Rev. Biochem., 2004. № 73. P. 39-85.

Vina J., Borras C., Gambini J. et al. Why females live longer than males? Importance of the upregulation of longevity-associated genes by oestrogenic compounds // FEBS Lett., 2005. Vol. 579. P. 2541-2545.

Assessing the DNA methylation status of single cells with the comet assay / *J.F. Wentzel, C. Gouws, C. Huysamen* et al. // Analytical Biochemistry, 2010. № 400. P. 190-194.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАДАПТИВНОГО ОТВЕТА У ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* С МУТАЦИЯМИ В ГЕНАХ РЕПАРАЦИИ ДНК

Е.Н. Плюснина, Л.А. Шилова[1], А.А. Москалев
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
[1] Сыктывкарский государственный университет
E-mail: kateplus@mail.ru

Актуальным направлением современной радиобиологии является изучение молекулярно-клеточных механизмов радиоадаптивного ответа, который проявляется в повышении устойчивости клетки или организма к действию повреждающего фактора после предварительного воздействия ионизирующего излучения в малой дозе. В исследованиях, выполненных на клеточных культурах, удалось выявить отдельные ферментативные пути, участвующие в данном процессе. Однако осталось невыясненным, каким образом интегрируются отдельные клеточные процессы в изменение параметров жизнедеятельности целого организма, в частности, продолжительности жизни (ПЖ).

Цель данной работы – изучение роли генов репарации ДНК *Mus209, Mus210, Mus309, Rad54* и *D-Gadd45* в формировании радиоадаптивного ответа у *Drosophila melanogaster*. Для решения поставленной цели исследовали радиоадаптивный ответ у дрозофил линии дикого типа *Canton-S* и линий с мутациями в исследуемых генах по показателям ПЖ. Кроме того, изучили возрастзависимое изменение экспрессии данных генов репарации ДНК у особей дикого типа *Canton-S* после хронического воздействия ионизирующего излучения (ИИ) в малой дозе.

Для проведения экспериментов использовали следующие лабораторные линии *Drosophila melanogaster* (любезно предоставлены Bloomington Stock Center, США): линия дикого типа *Canton-S*; *Mus209/+* (генотип: $mus209^{B1}$ *b pr cn/CyO*); *Mus210/+* (генотип: $mus210^{G1}$*/CyO*); *Mus309/+* (генотип: $mus309^{D3}$ ry^{506}*/TM3,* Sb^{1} ry^{RK}); *Rad54/+* (генотип: $okr^{A19\text{-}10}$ cn^{1} bw^{1}*/CyO*); *D-Gadd45/D-Gadd45* и *D-Gadd45/+* (генотип: *y* w*;* $P\{GawB\}Gadd45^{NP0351}$*/CyO,* $P\{UAS\text{-}lacZ.UW14\}$ *UW14*).

Для исследования влияния ионизирующего излучения в различных дозах на ПЖ дрозофил с мутациями в генах репарации ДНК особи каждого из изучаемых генотипов были разделены на четыре группы: 1) без облучения; 2) особи, подверженные хроническому воздействию ИИ от источника с Ra^{226} в дозе 40 сГр за поколение на предимагинальных стадиях развития (в течение 10 сут.); 3) особи, подверженные острому воздействию ИИ в дозе 30 Гр от источника с Co^{60} сразу после вылета имаго (в течение 30 мин.); 4) особи, которых последовательно подвергали воздействию ИИ в обеих дозах. Эксперимент проводили в стандартных условиях при 25 °С и 12-часовом режиме освещения на агарно-дрожжевой питательной среде. Ежедневно проводили подсчет числа умерших мух. Рассчитывали среднюю, медианную ПЖ, возраст 90%-ной смертности. Для оценки достоверности различий применяли непараметрические критерии Гехана-Бреслоу-Вилкоксона и Колмогорова-Смирнова, а также метод Ванг-Аллисона для оценки различий по возрасту 90%-ной смертности.

Анализ возрастзависимого изменения экспрессии генов *Mus209, Mus210, Mus309, Rad54* и *D-Gadd45* проводили у дрозофил линии дикого типа *Canton-S*, которые были разделены на две группы: 1) без облучения; 2) особи, подвер-

женные хроническому воздействию ИИ от источника с Ra^{226} в дозе 40 сГр за поколение на предимагинальных стадиях развития (в течение 10 сут.). Эксперимент проводили в стандартных условиях. Каждые две недели у имаго оценивали значения относительной экспрессии изучаемых генов. Применяли стандартные процедуры выделения РНК (TRIzol Reagent, Invitrogen) и обратной транскрипции (SuperScriptIII, Invitrogen). Проводили ПЦР «в реальном времени» в амплификаторе CFX96 (BioRad) с использованием красителя SYBR Green I (Applied Byosystems) и праймеров исследуемых генов и референсного гена β-*Tubulin* (СИНТОЛ). Рассчитывали относительную экспрессию генов по методу $2^{-\Delta\Delta Ct}$.

Хроническое воздействие ИИ в малой дозе на предимагинальных стадиях развития индуцировало радиоадаптивный ответ на острое воздействие ИИ у особей линии дикого типа *Canton-S*. Если воздействие только острого облучения в дозе 30 Гр снизило медианную ПЖ на 51-57% ($p < 0.001$), то последовательное воздействие ИИ в дозах 40 сГр и 30 Гр уменьшило медианную ПЖ только на 6-21% ($p < 0.001$). В результате эффект негативного влияния ИИ в дозе 30 Гр с помощью предварительного хронического воздействия в малой дозе был снижен в 1.6-2.3 раза ($p < 0.001$). Анализ других параметров ПЖ показал аналогичные результаты (см. таблицу).

Радиоадаптивный ответ сохранялся у самцов и самок линий с мутациями в генах *Mus209* и *Rad54*, а также самок линии с мутацией *Mus210*, но проявлялся в меньшей степени, чем у особей линии дикого типа *Canton-S*. Различия по медианной ПЖ между вариантами эксперимента с острым облучением в дозе 30 Гр и последовательным воздействием ИИ в дозах 40 сГр и 30 Гр составили 5-21% ($p < 0.001$). Аналогичный результат показало сравнение других параметров ПЖ (см. таблицу). Эти гены необходимы для осуществления различных видов репарации ДНК. Ген *Mus209* кодирует гомолог белка млекопитающих PCNA и участвует в эксцизионной репарации оснований и нуклеотидов и в гомологичной рекомбинации (Henderson et al., 1994; Ruike et al., 2006). Ген *Mus210* является гомо-

Влияние хронического и острого γ-излучения на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S* и линий с мутациями в генах репарации ДНК

Вариант	Самцы				Самки			
	$X \pm \Delta x$	*M*	*90%*	*N*	$X \pm \Delta x$	*M*	*90%*	*N*
Canton-S Без облучения	47.9±0.6	47.0	58	379	55.0±0.8	58.0	68	328
Canton-S 40 сГр	52.2±0.6*	54.0*	65**	478	63.0±0.6*	65.0	71	378
Canton-S Гр	22.0±0.3	20.0	26	399	29.8±0.5	28.0	45	420
Canton-S 40 сГр + 30 Гр	40.2±0.7*	45.0*	56*	358	44.4±0.7*	46.0*	60	397
Mus209/+ Без облучения	48.6±0.6	51.0	58	413	48.1±0.8	51.0	65	367
Mus209/+ 40 сГр	45.1±0.6*	47.0*	61	515	50.1±0.8**	55.0	64	370
Mus209/+ 30 Гр	35.0±0.5	33.0	53	479	34.3±0.6	39.0	53	453
Mus209/+ 40 сГр + 30 Гр	39.5±0.6*	42.0*	56	363	44.1±0.5*	46.0*	55	491
Mus210/+ Без облучения	31.7±0.4	32.0	43	468	52.4±0.6	57.0	65	453
Mus210/+ 40 сГр	32.3±0.3*	33.0	40	352	56.3±0.6*	55.0**	69	429
Mus210/+ 30 Гр	30.9±0.5	33.0	46	469	44.7±0.5	46.0	60	537
Mus210/+ 40 сГр + 30 Гр	30.3±0.5*	31.0	45	412	48.1±0.5*	53.0*	60	511
Mus309/+ Без облучения	32.7±0.4	32.0	43	429	42.6±0.5	41.0	57	481
Mus309/+ 40 сГр	36.0±0.6*	37.0*	51**	416	41.9±0.7*	42.0	56	342
Mus309/+ 30 Гр	32.7±0.5	31.0	45	373	41.5±0.5	45.0	53	412
Mus309/+ 40 сГр + 30 Гр	32.3±0.5	31.0	45	322	42.7±0.4*	45.0	53	506
Rad54/+ Без облучения	47.5±0.6	51.0	55	471	48.0±0.6	50.0	57	464
Rad54/+ 40 сГр	47.7±0.5*	51.0	58	500	50.4±0.5*	55.0*	58	501
Rad54/+ 30 Гр	50.9±0.5	52.0	58	465	45.9±0.6	52.0	58	503
Rad54/+ 40 сГр + 30 Гр	52.11±0.5*	58.0*	62	525	52.6±0.5*	55.0*	60	544
D-Gadd45/D-Gadd45 Без облучения	50.2±1.5	48.0	82	195	52.6±1.4	56.0	80	242
D-Gadd45/D-Gadd45 40 сГр	43.0±1.2*	45.0*	58*	144	45.1±1.2*	44.0*	63*	193
D-Gadd45/D-Gadd45 30 Гр	42.7±1.3	43.0	69	197	43.8±1.3	38.0	74	203
D-Gadd45/D-Gadd45 40 сГр + 30 Гр	40.5±1.2**	37.5**	67	228	41.5±1.2**	39.0	65*	175
D-Gadd45/+ Без облучения	24.9±0.8	22.0	35	173	33.8±1.2	33.5.0	56	154
D-Gadd45/+ 40 сГр	25.8±0.9	22.0	43	180	28.8±0.8*	30.0*	41*	151
D-Gadd45/+ 30 Гр	26.6±0.7	24.0	38	190	31.1±1.0	32.0	45	140
D-Gadd45/+ 40 сГр + 30 Гр	23.1±0.8*	19.0*	32	167	31.4±0.9	32.0	45	152

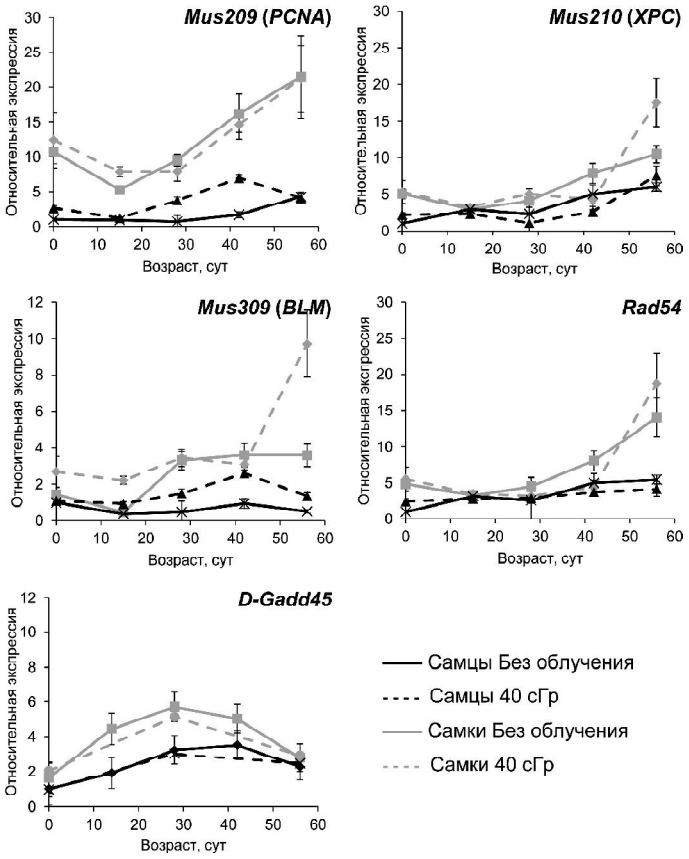
Примечание: $\bar{X} \pm \Delta x$ – средняя ПЖ и ошибка средней; *M* – медианная ПЖ; *90%* – возраст 90%-ной смертности; *N* – объем выборки; * и ** – различия достоверны при $p < 0.001$ и $p < 0.05$ соответственно между вариантами «Без облучения» и «40 сГр» и между вариантами «30 Гр» и «40 сГр + 30 Гр» (в столбцах «$\bar{X} \pm \Delta x$» – по критерию Колмогорова-Смирнова; «*M*» – по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона; «*90%*» – по методу Ванг-Аллисона).

логом гена белка XPC млекопитающих, который необходим для инициации эксцизионной репарации нуклеотидов (Henning et al., 1994). Продукт гена *Rad54* – это АТФ-зависимая ДНК-геликаза, которая участвует в гомологичной рекомбинации при репарации двунитевых разрывов ДНК (Kooistra et al., 1999). Вероятно, у особей с мутациями в этих генах радиоадаптивный ответ сохранялся, потому что для эксперимента использовали гетерозиготные линии, у которых может частично поддерживаться функционирование систем репарации ДНК.

В то же время у дрозофил линий с мутациями в гене *Mus309* и *D-Gadd45* радиоадаптивный ответ отсутствовал. Более того, у дрозофил с мутацией *D-Gadd45* предварительное хроническое воздействие ИИ в дозе 40 сГр усиливало негативное влияние острого воздействия в дозе 30 Гр на ПЖ (см. таблицу). Ген *Mus309* кодирует гомолог RecQ-геликазы синдрома Блума (BLM), которая осуществляет раскручивание двойной спирали ДНК – необходимый этап различных видов репарации ДНК (Weinert, Rio, 2007). Ген *D-Gadd45* является ортологом генов семейства *GADD45*, которые у млекопитающих участвуют в ответе на повреждение ДНК и регуляции репарации ДНК. Белки GADD45 контролируют активность ферментов эксцизионной репарации нуклеотидов и оснований и обеспечивают доступность поврежденных участков ДНК для них (Ma et al., 2009). Таким образом, эти два гена имеют ключевое значение в ответе на действие ИИ и осуществлении репарации ДНК.

Сразу после хронического воздействия ИИ в дозе 40 сГр у особей линии дикого типа *Canton-S* наблюдали повышение экспрессии генов репарации ДНК *Mus209, Mus210, Mus309* и *Rad54* в два-три раза по сравнению с необлученными животными. Повышенные уровни экспрессии генов *Mus209* и *Mus309*, подвергавшихся воздействию ИИ, сохранялись до 56 сут. жизни (см. рисунок). Увеличение экспрессии генов эксцизионной репарации ДНК и репарации двунитевых разрывов после хронического воздействия ИИ привело к активации защитных систем клетки и обеспечило устойчивость организма к острому воздействию. Однако активность гена *D-GADD45* на протяжении всей жизни не различалась между контрольными и облученными животными. Вероятно, адекватный ответ на действие ИИ у *Drosophila melanogaster* обеспечивается поддержанием постоянного уровня экспрессии гена *D-Gadd45*.

Таким образом, гены эксцизионной репарации ДНК и репарации двунитевых разрывов ДНК необходимы для формирования радиоадаптивного ответа после хронического воздействия ИИ в малой дозе.



Возрастзависимое изменение экспрессии генов репарации ДНК у особей *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S* после хронического воздействия γ-излучения в дозе 40 сГр.

Работа поддержана грантом Президиума РАН №12-П-4-1005 и грантом Президиума УрО РАН для молодых ученых и аспирантов № 11-4-НП-148.

Литература

Henderson D.S., Banga S.S., Grigliatti T.A. et al. Mutagen sensitivity and suppression of position-effect variegation result from mutations in *mus209*, the *Drosophila* gene encoding PCNA // EMBO J., 1994. Vol. 13. № 6. P. 1450-1459.

Henning K.A., Peterson C., Legerski R. et al. Cloning the *Drosophila* homolog of the xeroderma pigmentosum complementation group C gene reveals homology between the predicted human and *Drosophila* polypeptides and that encoded by the yeast *RAD4* gene // Nucleic Acids Res., 1994. Vol. 22. № 3. P. 257-261.

Kooistra R., Pastink A., Zonneveld J.B. et al. The *Drosophila melanogaster DmRAD54* gene plays a crucial role in double-strand break repair after P-element excision and acts synergistically with Ku70 in the repair of X-ray damage // Mol. Cell. Biol., 1999. Vol. 19. № 9. P. 6269-6275.

Ma D.K., Guo J.U., Ming G., Song H. DNA excision repair proteins and Gadd45 as molecular players for active DNA demethylation // Cell cycle, 2009. Vol. 8. № 10. P. 1526–1531.

Ruike T., Takeuchi R., Takata K.-I. et al. Characterization of a second proliferating cell nuclear antigen (PCNA2) from *Drosophila melanogaster* // FEBS J., 2006. Vol. 273. № 22. P. 5062-5073.

Weinert B.T., Rio D.C. DNA strand displacement, strand annealing and strand swapping by the *Drosophila* Bloom's syndrome helicase // Nucleic Acids Res., 2007. Vol. 35. № 4. P. 1367-1376.

ПОКАЗАТЕЛИ БЕЛОЙ КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ И СЕРПИСТЕНА

А.В. Пыстина
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: nastik_pystik@mail.ru

Вопрос о действии радиации на человека и окружающую среду приковывает к себе пристальное внимание общественности и вызывает много споров. В связи с ухудшением экологической ситуации в мире, принявшем глобальные размеры после аварии на Чернобыльской АЭС, изучение всех аспектов влияния ионизирующих излучений на организм человека, в том числе действия на организм малых доз ионизирующих излучений, приобретает особую актуальность (Батян, 2005). Многочисленные данные литературы свидетельствуют о влиянии малых доз радиации на организм животных, которые раскрывают особенности механизмов его действия на разных уровнях организации, начиная от популяционного уровня до молекулярно-клеточного. Показаны как стимулирующие эффекты (явление гормезиса), так и угнетающие эффекты, обнаруженные в организме человека и животных при действии малых доз радиации (в природной среде обитания или в лабораторных экспериментах) (Бурлакова, 1994; Материй и др., 2003; Биологические эффекты..., 2004). Поэтому одной из актуальнейших проблем современной радиоэкологии является изучение механизмов адаптации организма к действию экстремальных факторов, таких как хроническое излучение в малых дозах, и поиск веществ, способных вызывать состояние неспецифически повышенной сопротивляемости организма при действии этого фактора.

Выдающимся российским ученым Н.В. Лазаревым (1959) было открыто и описано явление повышенной неспецифической устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям в ответ на введение некоторых лекарственных препаратов, а также растений-адаптогенов. Такое состояние неспецифически повышенной сопротивляемости организма характеризуется формированием адаптации к различным видам стресса и устойчивостью организма к действию неблагоприятных факторов. К растениям-адаптогенам можно отнести серпуху венценосную (*Serratula coronata L.*), из которой выделена фитоэкдистероидсодержащая субстанция Серпистен. Однако механизмы физиологического действия новой субстанции на организм теплокровных изучены недостаточно.

Кровь – единая биологическая система, обеспечивающая жизнеспособность организма. Широкое распространение кроветворной ткани в организме обеспечивает ей быстрое реагирование на внешние и внутренние изменения среды. Гематологические исследования всегда были приоритетными в радиобиологии, так как работами клиницистов показано, что система крови – одна из радиочувствительных. Более того, она была признана одной из критических систем. Морфологические изменения даже в периферическом русле крови могут служить ранним диагностическим признаком при лучевом воздействии (Материй и др., 2003).

В гематологии принято разделять кровь на красную (эритрон) и белую (лейкон). Наши исследования будут посвящены изучению показателей белой крови. В данной работе представлены результаты изучения количественного состава белой крови лабораторных мышей при раздельном действии облучения в малых дозах и Серпистена. Лейкоциты защищают от болезнетворных чужеродных веществ, организмов, мертвых клеток и антигенов. Различают два вида лейкоцитов в крови – гранулоциты, или зернистые лейкоциты. Первые делят на базофилы, эозинофилы и нейтрофилы (палочкоядерные и сегментоядерные) в зависимости от особенностей окраски цитоплазматических зерен.

Второй вид лейкоцитов – агранулоциты или незернистые лейкоциты – делят на моноциты и лимфоциты (большие и малые). Из-за того, что каждый из вышеперечисленных лейкоцитов выполняет точно определенные функции, изменение общего количества лейкоцитов в крови служит важным показателем, подсказкой при постановке диагноза больному.

Цель работы – изучение влияния хронического γ-излучения и Серпистена в малых дозах на показатели белой крови лабораторных мышей.

Работа проведена на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН в отделе радиоэкологии. В экспериментах использовали самцов мышей линии CBA/Iac ($m = 30.89 \pm 0.45$ г, $n = 36$ особей, возраст 5-6 мес.). Субстанция Серпистен содержит в своем составе: 20-гидроксиэкдизон – 80%, 25S-инокостерон – 11%, экдизон – 5% и другие минорные фракции экдистероидов.

Кровь мышей получали методом тотального обескровливания, стабилизировали в жидком состоянии гепарином. Хроническое γ-облучение животных проводили в течение 10 сут. радиевым источником, суммарная поглощенная доза составила 7.5 сГр (мощность дозы варьировала на верхней и нижней полках, где находились клетки с мышами, от 31 до 60 мР/ч). Серпистен вводили в течение семи дней ежедневно перорально с питьевой водой в дозе 15 мг/кг из расчета массы тела и количества потребляемого раствора животным. Забой и анализ крови

проводили через сутки после последнего воздействия (после окончания облучения или действия Серпистена). Каждая группа мышей состояла из 8-10 животных. Все манипуляции осуществляли согласно документу «Об утверждении Правил лабораторной практики» (Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ № 708 от 2010 г.).

Общее количество лейкоцитов подсчитывали общепринятым методом в камере Горяева (Любина и др., 1971; Меньшиков и др., 1987). Розеткообразующиеся (РОК) клетки определяли по методу Д.И. Бельченко (1992). Готовили мазок, фиксировали метанолом, окрашивали по Романовскому-Гимзе и путем визуализации определяли РОК (прилипание эритроцитов к гранулоцитам), представляющие структуры, напоминающие розетки. Подсчет РОК производили на 100 просмотренных на мазке крови лейкоцитов. РОК в крови крыс были в основном моноциты и нейтрофилы. Под микроскопом (ЛОМО, Микмед-1) подсчитывалось 100 форменных элементов крови. Препараты просматривали и анализировали под иммерсией при увеличении 15×90.

Проводили подсчет средних арифметических, среднеквадратического отклонения, средней ошибки средней арифметической. Степень достоверности межгрупповых различий определяли по t-критерию Стьюдента (Лакин, 1990).

В наших экспериментах общее количество лейкоцитов в крови мышей линии CBA/Iac в контрольной группе находится в пределах от 2.5 до 7.8 тыс./мкл, что составляет в среднем 4.52 ± 0.36 тыс./мкл. Как показали результаты, лейкоформула крови мышей контрольной группы находится в норме и согласуется с данными литературы, по которым показатели отдельных видов лейкоцитов находятся в пределах: нейтрофилы – 10-41%, эозинофилы – 0.7, базофилы – 0-1, лимфоциты – 35-90, моноциты – 0-3% (Гольдберг, 1975; Западнюк и др., 1983).

Действие хронического низкоинтенсивного (7.5 сГр) излучения приводит к изменению количественного состава лейкоцитов и отдельных их видов. Следует отметить, что кратковременное γ-излучение приводит к снижению количества лейкоцитов на 49% по сравнению с контрольными значениями. Аналогичные изменения были отмечены Л.Д. Материй (1979) у молодых полевок-экономок, обитающих на участках с повышенным уровнем естественной радиоактивности в Республике Коми (на 48-52.6%). При этом у облученных мышей в нашем эксперименте наблюдали достоверное повышение доли гранулоцитов ($p < 0.01$) на 28% за счет нейтрофилов (32%, $p < 0.001$). Кроме этого, отмечали тенденцию снижения количества таких форменных элементов крови, как палочкоядерных нейтрофилов, эозинофилов, базофилов, лимфоцитов в ответ на хроническое низкоинтенсивное излучение мышей, что можно объяснить, вероятно, некоторым снижением компенсаторных возможностей системы кроветворения. Падение числа форменных элементов крови при действии излучения объясняют включением компенсаторных механизмов, выражающихся в ускорении созревания клеток в костном мозге (Гольдберг, Воробьева, 1970; Гольдберг и др., 1978), уменьшении их жизнеспособности. Количество лейкоцитов в периферической крови уменьшается независимо от типа излучения и его длительности (Бриллиант, Воробьев, 1972). Однако в отношении доли палочкоядерных нейтрофилов крови облученных мышей наблюдали тенденцию к их снижению с вероятностью более 80% по сравнению с контролем. Кроме того, отмечали некоторое снижение эозинофилов (9%) и достоверное ($p < 0.05$) – базофилов (86%), что согласуется с данными литературы и объясняется снижением их продолжительности жизни в кровяном русле при действии радиации (Гольдберг, Воробьева, 1970).

Гематологами лимфоциты признаны самыми радиочувствительными клетками периферической крови (Егоров, Бочкарев, 1954). В подтверждение угнетающего действия облучения на клетки крови мы отмечаем достоверное ($p < 0.01$) снижение доли агранулоцитов на 10% за счет лимфоцитов (14%, $p < 0.01$) по сравнению с контрольными. Снижение количества лимфоцитов, вероятно, обусловливает развитие следующей (после неспецифической реакции, проявляющейся в развитии нейтрофильного лейкоцитоза) защитной реакции клеток крови. Однако для моноцитов в крови облученных животных оказывается выше нормы (21.5%, $p < 0.3$), возможно, в силу значительной вариабельности данного показателя. Таким образом, снижение количества форменных элементов крови (палочкоядерных нейтрофилов, эозинофилов, базофилов, лимфоцитов) в ответ на хроническое низкоинтенсивное облучение мышей можно объяснить снижением компенсаторных возможностей системы кроветворения, которой приходится вырабатывать больше клеток, компенсируя тем самым их низкую жизнеспособность. В нашем эксперименте о наличии действия радиационного облучения свидетельствует существенно высокое ($p < 0.001$) достоверное увеличение (почти в 2.2 раза) количества ауторозеток как за счет сегментоядерных нейтрофилов (в 2.4 раза, $p < 0.001$), так и моноцитов (85%, $p < 0.05$), способствующих освобождению крови от поврежденных и старых эритроцитов.

При курсовом приеме per os Серпистена у мышей было установлено, что, несмотря на снижение уровня лейкоцитов крови (в основном за счет гранулоцитов) по сравнению с таковым показателем у контрольных животных, лейкоформула приближена к норме. Наряду с этим доля агранулоцитов оказывается достоверно ($0.001 < p < 0.05$) выше по сравнению с контрольными (5%) и облученными животными (16-19%), что может быть свидетельством иммуномодулирующего и иммуностимулирующего действия иссле-

дуемой субстанции Серпистен. В отношении количества ауторозеток в крови отмечали значительное снижение по сравнению со всеми облученными мышами, что может говорить об адаптогенном действии препарата Серпистен.

Выводы:

1. Хроническое низкоинтенсивное кратковременное γ-излучение приводит к снижению количественных показателей белой крови мышей по сравнению с контролем.

В крови облученных мышей по сравнению с интактными животными выявлено существенное увеличение количества аутоРОК (почти в 2.2 раза), способствующих освобождению крови от поврежденных и старых эритроцитов.

2. В ответ на курсовое введение Серпистена в дозе 15 мг/кг у мышей картина белой крови в целом претерпевает незначительные изменения.

При курсовом семидневном действии Серпистена в дозе 15 мг/кг количество ауторозеток в крови значительно ниже по сравнению с облученными животными (уменьшается в 2.4 раза по сравнению с контролем и в 5.3 раза по сравнению с облучением).

Таким образом, обнаружена высокая чувствительность показателей белой крови мышей на хроническое γ-излучение в дозе 7.5 сГр. Кратковременное действие фитоэкдистероидного препарата Серпистен в дозе 15 мг/кг уменьшает адгезионную способность клеток крови и снижает количество ауторозеток, что указывает на его иммуномодулирующее и адаптогенное действие.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Президиума УрО РАН (12-П-4-1023) и Президиума РАН (12-П-4-1021).

Литература

Батян Г.М., Судник С.И., Капустина Л.Г. Радиационные поражения: Учебное пособие. Минск: БГУ, 2005. 20 с.

Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов / *А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шишкина, О.Г. Шевченко* и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 214 с.

Бриллиант М.Д., Воробьев А.И. Изменение некоторых показателей периферической крови при тотальном облучении человека // Проблемы гематологии и переливания крови, 1972. № 1. С. 7-11.

Гольдберг Е.Д. Оценка сдвигов показателей крови при хроническом профессиональном облучении рентгенологов // Мед. радиология, 1966. № 8. С. 53-55.

Западнюк И.П., Заподнюк В.И., Захария Е.А. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте. Киев: Высшая школа, 1983. 304 с.

Лазарев Н.В., Люблина Е.И., Розин М.А. Состояние неспецифически повышенной сопротивляемости // Пат. физиол. и эксперим. терапия, 1959. С. 16-21.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 293 с.

Любина А.Я., Спектор И.С., Катасонова Т.В. Программированное пособие по методам клинических лабораторных исследований. М., 1971. 304 с.

Материй Л.Д. Цитоморфологическое изучение системы крови у полевок-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих в условиях действия повышенных уровней естественной радиоактивности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1979. 25 с.

Материй Л.Д., Ермакова О.В., Таскаев А.И. Морфофункциональная оценка состояния организма мелких млекопитающих в радиоэкологических исследованиях (на примере полевки-экономки). Сыктывкар, 2003. 164 с.

Меньшиков В.В., Делекторская Л.Н., Золотницкая Р.П. Лабораторные методы исследования в клинике. М.: Медицина, 1987. 368 с.

РОЛЬ ГЕНОВ *MEI-41* И *MEI-9* В РАДИОАДАПТИВНОМ ОТВЕТЕ

Е.В. Романова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: r0manova@mail.ru

Данная работа является продолжением цикла исследований генов, вовлеченных в радиоадаптивный ответ на уровне организма. На клеточных культурах млекопитающих установлено, что в радиоадаптивный ответ *in vitro* вовлечены механизмы репарации ДНК, контрольных точек клеточного цикла, ответа на повреждение ДНК (DNA damage responses..., 1994; Transcription factors..., 2003). В лаборатории молекулярной радиобиологии и геронтологии с использованием показателя продолжительности жизни (ПЖ) как наиболее интегрального показателя стрессоустойчивости организмов было выявлено участие в радиоадаптивном ответе *in vivo* генов транскрипционных факторов Hsf, p53, FOXO, а также генов семейства Hsp70 (Москалев и др., 2007; Шапошников, Москалев, 2010; Moskalev et al., 2009).

Цель работы – изучить роль генов *mei-41* и *mei-9* в радиоадаптивном ответе по показателю ПЖ у *Drosophila melanogaster*.

Для исследования были использованы следующие линии *Drosophila melanogaster:*

– линия дикого типа *Canton-S;*

– *mei-41*/+ (генотип $mei\text{-}41^{RT1}\ f^1/FM7a$) – гетерозиготная линия с дефектом гомолога гена млекопитающих протеинкиназы ATR, отвечающей за распознавание повреждений ДНК и регулирующей клеточный цикл в нормальных и стрессовых условиях (Laurencon, 2003);

– гомозиготная линия с дефектом гена *mei-41* (генотип $w^1\ mei\text{-}41^{D12}$);

– *mei-9*/+ (генотип $w^1\ mei\text{-}9^{A2}/C(1)DX,\ y^1\ f^1$) – гетерозиготная линия с мутацией гомолога гена млекопитающих XPF, участвующего в эксцизионной репарации ДНК (Park, Sancar, 1994);

– гомозиготная линия с мутацией гена *mei-9* (генотип w^1 *mei-9*^{A1}).

Хроническое воздействие γ-излучения осуществляли от внешнего источника ^{226}Ra в дозе 40 сГр за поколение (от стадии яйца до вылета имаго). Однодневных мух подвергали острому воздействию γ-излучения от внешнего источника ^{60}Co. Накопленная доза составила 30 Гр за 45 мин. Мух содержали в стандартных условиях (25 °С и 12-часовом режиме освещения), раздельно по полу. Один раз в неделю, не используя наркотизацию, мух пересаживали на свежую дрожжевую среду. Анализ ПЖ заключался в ежедневном, проводимом в одно и то же время подсчете умерших мух, за исключением субботы и воскресенья. Данные подсчетов вносили в специальные бланки – таблицы смертности, а после окончания экспериментов сгруппировали в Excel и обработали в WinModest и Statistica 6.1. Оценивали минимальную, среднюю, медианную (отражающую время гибели 50% особей популяции), максимальную ПЖ, время 90%-ной смертности популяции, а также показатели старения – параметры α (скорость старения) и R (время начала старения) уравнения Гомперца. Для оценки достоверности различий по медианной ПЖ в опыте и контроле применяли непараметрический критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона; для показателя времени 90%-ной смертности – критерий Хи-квадрата по методу Ванг-Аллисона (Wang et al., 2004); параметров α и R-критерий Хи-квадрата методом максимального правдоподобия.

Полученные данные (см. таблицу и рисунок) свидетельствуют о том, что предоблучение в малой дозе 40 сГр особей *Drosophila melanogaster* линии дикого типа способствовало увеличению устойчивости к последующему острому облучению в дозе 30 Гр. Сравнение показателей ПЖ особей линии *Canton-S*, подверженных острому облучению с предваряющим хроническим и без предоблучения, выявило увеличение медианной ПЖ ($p < 0.001$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) – в 1.6 раз у самок, в 2.3 – у самцов.

В отличие от особей линии дикого типа у особей-гомозигот с мутацией гена *mei-9*, отвечающего за эксцизионную репарацию ДНК, наблюдали укорочение длины жизни и отсутствие радиоадаптации (см. таблицу). Медианная ПЖ особей, подверженных острому облучению с предоблучением относительно ПЖ особей без предоблучения, снижалась ($p < 0.001$) в 1.6 раз у самок и в 3.4 – у самцов.

У особей-гетерозигот с мутацией по данному гену наблюдали еще большее укорочение длины жизни, чем у особей линии дикого типа (в 1.9 раз; $p < 0.001$), что свидетельствует о важной роли гена *mei-9* в защите биологической системы от радиационных повреждений. Радиоадаптивный ответ у данных особей также не проявлялся (см. таблицу, рисунок). Снижение величины параметра медианной ПЖ у самок, подверженных комбинированному действию γ-излучения, относительно ПЖ мух, облученных в дозе 30 Гр без предоблучения, составило 1.7 раза ($p < 0.001$).

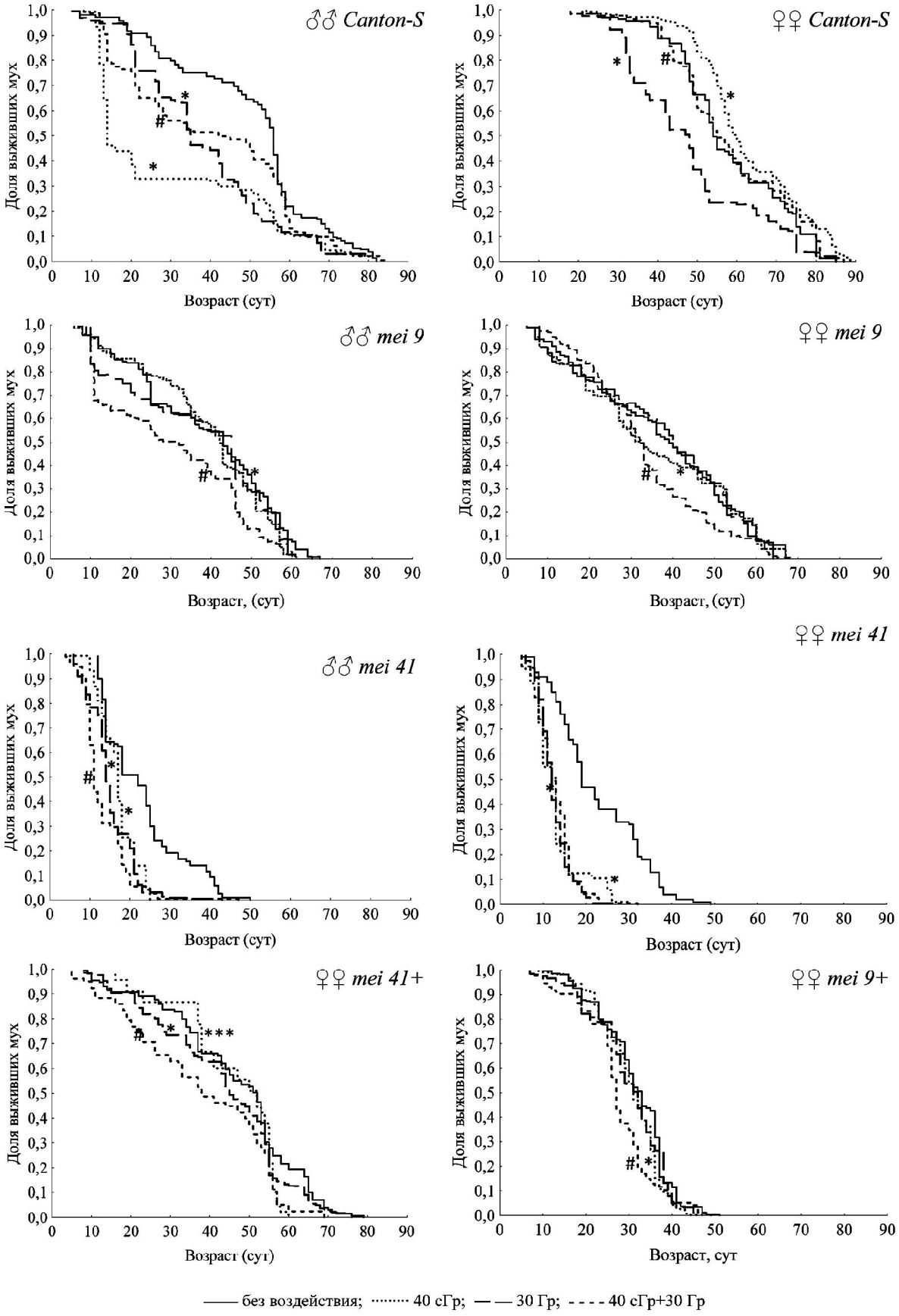
Изменение величин показателей продолжительности жизни у особей *Canton-S* и особей с мутациями в генах *mei-9* и *mei-41* после действия ионизирующего излучения в дозах 40 сГр и 30 Гр

Генотип	Вариант	Пол	M	90%	R
Canton-S	Без воздействия	♀♀	54	90	0.0006
		♂♂	56	71	0.002
	40 сГр	♀♀	60*	84*	0.0004***
		♂♂	14*	68*	0.023***
	30 Гр	♀♀	47.5*	75*	0.003*
		♂♂	35*	67*	0.007*
	40 сГр + 30 Гр	♀♀	55#	80#	0.001#
		♂♂	43#	64#	0.007
mei-41/+	Без воздействия	♀♀	51.5	66	0.002
	40 сГр	♀♀	51***	57*	0.0003*
	30 Гр	♀♀	45*	64*	0.003*
	40 сГр + 30 Гр	♀♀	38#	57	0.005#
mei-41	Без воздействия	♀♀	19	37	0.011
		♂♂	22	40	0.012
	40 сГр	♀♀	12.5*	25*	0.023*
		♂♂	17*	24*	0.003*
	30 Гр	♀♀	12*	17*	0.011*
		♂♂	14*	22*	0.017*
	40 сГр + 30 Гр	♀♀	12	17	0.017#
		♂♂	11#	20#	0.018##
mei-9/+	Без воздействия	♀♀	33	41	0.001
	40 сГр	♀♀	31*	38*	0.001
	30 Гр	♀♀	32*	39*	0.001
	40 сГр + 30 Гр	♀♀	27#	39	0.004#
mei-9	Без воздействия	♀♀	39	58	0.005
		♂♂	43	59	0.004
	40 сГр	♀♀	31.5*	60*	0.008*
		♂♂	42**	57*	0.002*
	30 Гр	♀♀	40*	60*	0.005
		♂♂	45*	57*	0.005**
	40 сГр + 30 Гр	♀♀	33#	56#	0.007#
		♂♂	29.5#	52#	0.011#

Примечание: M – медианная ПЖ (сут.); 90% – время 90%-ной гибели популяции; R – параметр уравнения Гомпертца; N – количество особей в выборке. Различия достоверны с вариантом «без воздействия» * при $p < 0.001$; ** при $p < 0.01$; *** при $p < 0.05$; с вариантом «30 Гр» # при $p < 0.001$; ## при $p < 0.01$.

Что касается особей-гомозигот с мутацией гена *mei-41*, имело место повышение скорости старения и интенсивности смертности (см. таблицу, рисунок). Величина параметра медианной ПЖ особей, подверженных острому облучению с предоблучением, относительно ПЖ особей без предоблучения снижалась в два раза у самцов ($p < 0.001$) и оставалась без изменений у самок.

Особи-гетерозиготы с мутацией гена *mei-41* жили дольше, чем гомозиготы, однако они также не проявляли адаптивного ответа к действию излучения (см. таблицу, рисунок). Медианная ПЖ самок, подверженных острому облучению с предоблучением относительно ПЖ самок без предоблучения снижалась ($p < 0.001$) в 1.5 раза.



Изменение продолжительности жизни у особей *Drosophila melanogaster* гомозигот и гетерозигот с мутациями в генах *mei-9 и mei-41* после действия хронического (40 сГр) и острого (30 Гр) γ-излучения. Различия по критерию Колмогорова-Смирнова с вариантом «без воздействия» достоверны: * при $p < 0.001$, *** $p < 0.05$; с вариантом «30 Гр» – # при $p < 0.001$.

Таким образом, выявлено, что особи линий с мутациями генов *mei-41* и *mei-9* характеризуются меньшей ПЖ, чем особи линии дикого типа *Canton-S*. В предшествующих работах также было выявлено, что у особей линии с мутацией *mei-41*наблюдается ускоренное старение (Miquel et al., 1983; Moskalev, 2007). Увеличение скорости старения необлученных особей с мутациями в исследуемых генах, по-видимому, обусловлено функциями генов *mei-41* и *mei-9*. Функция продукта гена *mei-41* заключается в распознавании повреждений ДНК и задержке клеточного цикла в G2/M фазе. Таким образом, клетка получает дополнительное время для устранения повреждений (Laurencon, 2003). Кроме того, протеинкиназа ATR участвует в пострепликативной репарации, репарации двуцепочечных разрывов ДНК и мейотической рекомбинации (LaRocque et al., 2007). Особи с мутацией в гене *mei-41* характеризуются генетической нестабильностью, множественными нарушениями клеточного деления и повышенной чувствительностью к широкому кругу мутагенов (Banga et al., 1986). Продукт гена *mei-9* (XPF) участвует в мейотической рекомбинации, эксцизионной репарации нуклеотидов и репарации кросслинков, предотвращая передачу генетических повреждений дочерним клеткам (Yildiz et al., 2002; Radford et al., 2007). Наличие мутации в гене *mei-9* обусловливает высокую степень чувствительности особей к мутагенам (Гришаева, Богданов, 2000). Нормальное функционирование систем распознавания повреждений ДНК и их репарации – залог успешной пролиферации клеток, роста и развития организма. В противном случае развивается ускоренное старение организма.

При действии ионизирующих излучений на клетку в результате многочисленных треков ионизации образуется большое количество активных форм кислорода, которые вследствие их высокой реакционной способности, приводят к повреждениям структур клетки, в том числе одно- и двуцепочечным разрывам ДНК (Скулачев, 1996; Кольтовер, 1998; Orr, Sohal, 1994; Kawanishi et al., 2001; Hamilton et al., 2001). Поэтому можно предполагать ключевую роль репарации ДНК в радиоадаптивном ответе. Нами впервые показано, что мутации генов *mei-41* и *mei-9* (как в гомо-, так и в гетерозиготе) вызывают отсутствие радиоадаптации по показателю ПЖ, наблюдаемой у особей линии дикого типа *Canton-S*. У особей линии дикого типа хроническое действие γ-излучения в малых дозах приводило к снижению негативных эффектов последующего облучения в больших дозах, а у особей с мутациями радиоустойчивости не наблюдали. В предшествующих работах, выполненных в нашей лаборатории, было показано, что хроническое облучение в малой дозе самцов-гемизигот, а также самок и самцов-гомозигот с мутациями в гене *mei-41* приводила к существенному снижению ПЖ. Таким образом, радиационный гормезис для ПЖ и нервно-мышечной активности, выявленный у линии дикого типа *Canton-S*, у особей с мутациями в исследуемых генах исчезал (Зайнуллин, Москалев, 2000; Москалев и др., 2006; Moskalev, 2007). У личинок дрозофилы с мутациями в гене *mei-41* отсутствовал радиоадаптивный ответ на личиночной стадии, оцениваемый по скорости окукливания личинок (Шапошников и др., 2009). Таким образом, нами показана роль гомологов генов ATR и XPF в радиоадаптивных реакциях на уровне целого организма.

Работа поддержана молодежным научным грантом, а также грантом 12-П-4-1005.

Литература

Гришаева Т.М., Богданов Ю.Ф. Генетический контроль мейоза у дрозофилы // Генетика, 2000. Т. 36. № 10. С. 1301-1321.

Шапошников М.В., Москалев А.А. Роль транскрипционного фактора FOXO в радиоадаптивном ответе при хроническом облучении и гормезисе // Радиационная биология. Радиоэкология, 2010. Т. 50. С. 312-317.

DNA damage responses: p53 induction, cell cycle perturbations, and apoptosis / *C.E. Canman, C.Y. Chen, M.H. Lee* et al. // Cold Spring Harb Symp Quant Biol., 1994. № 59. P. 277-286.

Moskalev A., Shaposhnikov M., Turysheva E. Life span alteration after irradiation in *Drosophila melanogaster* strains with mutations of Hsf and Hsps // Biogerontology, 2009. Vol. 10. № 1. P. 3-11.

Transcription factors activated in mammalian cells after clinically relevant doses of ionizing radiation / *T. Criswell, K. Leskov, S. Miyamoto* et al. // Oncogene, 2003. Vol. 22. № 37. P. 5813-5827.

ГЕОГРАФИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГМО

М.Е. Рочева, А.С. Жаков
Коми государственный педагогический институт
E-mail: frenky_89@bkmail.ru

ГМО – организм, в геном которого был встроен с помощью методов генной инженерии чужеродный ген, с целью получить новый признак у организма-хозяина.

Почему же ГМО так популярны?

1) Путем генной инженерии стало возможным скрещивать индивидуальные гены организмов, стоящих на разных ступенях эволюции.

2) Генная инженерия позволила управлять генетическими процессами извне, поскольку ма-

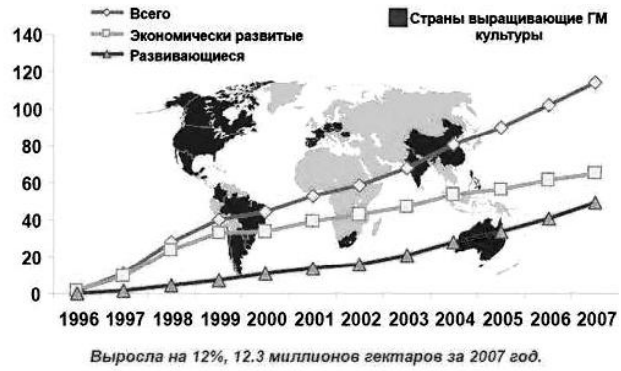
нипуляция с генами проводится в пробирке in vitro и поэтому процессы не защищены запрещающими механизмами организма (Сорокина, 2008).

3) «Выведение» трансгена сокращается с 10-20 лет, необходимых для создания нового сорта путем классической селекции, до двух-трех лет при использовании генной инженерии.

Первый трансгенный, или генетически модифицированный организм (ГМО) был получен в Калифорнии (США) в 1987 г. – это бактерия *Pseudomonas fluorescens*, которая, по словам ученых, предотвращает образование инея на растениях. В том же году были произведены полевые испытания. В 1994 г. получены трансгенные помидоры сорта Flavar Savr, созданного компанией Calgene (США). В ДНК помидора внедрили ген холоднолюбивой рыбы. Его новым свойством стала способность месяцами лежать в недоспелом виде при температуре 12 °С. Но как только такой помидор помещают в тепло, он созревает прямо на глазах.

В 1996 г. в США началось возделывание ГМ-растений (ГМР) в коммерческих масштабах. Наиболее доходным направлением генной инженерии стало производство трансгенных семян. В настоящее время мировой рынок трансгенных семян поделен между пятью транснациональными корпорациями (ТНК): Monsanto (в 70-е гг. XX в. поставляла химические вещества для армии США), Aventis, DuPontt, Novartis, Astra Zeneca. Ранее эти корпорации специализировались на выпуске химических веществ – дефолиантов (препаратов для удаления листьев), минеральных удобрений, фармацевтических соединений. Сейчас ТНК вкладывают деньги в пиар-компаний трансгенов по всему миру и выделение грантов ученым разных стран на разработку новых ГМО.

С тех пор началось быстрое и поначалу триумфальное распространение этих продуктов новых биотехнологий по полям сначала Северной Америки, а затем и других стран и континентов. «За период с 1996 по 2003 г. общая площадь выращиваемых трансгенных культур увеличилась с 1.7 до 67.7 млн. га, а общая рыночная стоимость продукции в 2003 г. составила более 4.5 млрд. дол. На протяжении первых семи лет культивации (с 1996 по 2003 г.) 90% всех ГМО культур выращивались в США, Аргентине и Канаде. Посевные площади под ГМ-растения стали быстро увеличиваться и по состоянию на конец 2006 г. посевы ГМО во всем мире уже занимали площади более 100, а по некоторым данным – 110 млн. га, а ежегодный прирост площадей под посевы ГМО достиг 10 млн. га. Однако, несмотря на довольно широкое распространение посевов ГМО в мире, 95% всех ГМ-растений производиться в пяти странах – США, Канаде, Бразилии, Аргентине и Китае» (Цыдендамбаев, 2009). Динамика роста площадей, занимаемых ГМО, наглядно видна на рисунке.



Источник: Clive James, 2007.

Динамика роста площадей, занимаемых ГМ-культурами, млн. га.

Сельское хозяйство в Европе доведено до совершенства, что привело к кризису перепроизводства: за превышение квот штрафуют, за сокращение площадей доплачивают. Страны ЕС проводят единую протекционистскую сельскохозяйственную политику, которая давно стала объектом международной критики, особенно стран – экспортеров продовольствия, т.е. как раз тех, что приняли ГМО.

Запрет же на ввоз ГМО европейцы объясняют соображениями биологической опасности. Понимая наличие опасностей для здоровья и окружающей среды от использования и выращивания ГМО, они объявили в 1998 г. мораторий на производство продуктов питания из ГМО и импорт ГМ-сырья. За этот период создана мощная законодательная база в области маркирования и отслеживания потоков ГМ-продуктов (ГМП). Одновременно на Западе проводятся широкомасштабные исследования проблем биобезопасности ГМО. Однако страны-экспортеры, в основном США, заявляют, что это только повод для закрытия своих рынков. Представьте, что выращенные в странах третьего мира с благодатным климатом и дешевой рабочей силой трансгенные томаты могут храниться два-три месяца, самым дешевым морским путем повезут в Европу. Что тогда делать фермерам Италии и Испании, где выращивают 70% всех томатов, производимых в странах ЕС? В Европе фермеры прекрасно организованы, поэтому ГМО не пускают в Европу. Швейцария после проведения референдума официально сказала «нет» трансгенным продуктам, в Европе создалось сложное положение.

За последние пять лет ни одна из стран Африки, кроме ЮАР, не допустила на свою территорию ни трансгенные, ни полученные из них продукты. Министры сельского хозяйства всех стран Африки подписали коллективное письмо, озаглавленное «Давайте продолжать собирать природный урожай», в котором резко критиковали политику Monsanto, проводимую в отношении развивающихся стран. В нем говорилось: «Мы решительно возражаем против того, чтобы образ бедных и голодных людей использовался многонациональными корпорациями-гигантами

для протаскивания технологии, которая не является безопасной и не несет нам ни экологической, ни экономической выгоды. Мы считаем, что это уничтожит разнообразие, местные обычаи и устоявшиеся аграрные системы, которые наши крестьяне создавали на протяжении тысяч лет, и являются миной замедленного действия под нашу способность прокормить саму себя».

Недавний осторожный подход Китая к ГМ-продуктам разочаровал американских фермеров, которые ожидали активного экспорта своей ГМ-продукции в Китае после вступления в ВТО (2002 г.). Вместо этого их продажи сои упали на 23% по сравнению с 2001 г. из-за введения длительных процедур по испытаниям и лицензированию. Резко сократилась продажа ГМ-продуктов на внутреннем (но не на внешнем) рынке после получения результатов об их негативном влиянии на здоровье опытных животных.

Россия не торопится использовать достижения генной инженерии, соблюдая принцип «тише едешь – дальше будешь». В настоящее время выращивание генетически модифицированных растений в нашей стране запрещено. Однако границы РФ абсолютно прозрачны для ГМО (ГМ-сырья) при выпуске его через таможенную территорию; ни в одном документе не содержится регламентации ввоза и оборота трансгенного сырья.

«Россия – одна из самых богатых в мире стран по разнообразию генетических ресурсов сельскохозяйственных растений, которые, к сожалению, используются всего лишь на 30-40%. И в то же время Россия – самая открытая для ГМ-продуктов страна в мире» (Баранов, 2004). Генно-модифицированные пищевые добавки, сельскохозяйственные сырье и корма в нашу страну поставляют более 50 зарубежных и отечественных фирм, а также большое число поставщиков теневого бизнеса. По оценкам экспертов, эти поставки составляют около 500 тыс. т в год, в том числе около 260 тыс. т кормовых средств. Государственный мониторинг количества и типов поставляемых ГМ-сырья, продуктов и кормов, а также показателей их безопасности не проводится.

По мнению ведущего аллерголога страны проф. В.В. Гервазиевой, бесконтрольный поток ГМ-продуктов на российский рынок сопровождается очень сильным повышением общего уровня аллергических заболеваний населения, что может быть следствием все возрастающего употребления в пищу ГМП.

«Некоторые страны (Австрия, Великобритания, Греция, Польша, Швейцария и др.), различные организации в целях защиты населения и себя от ГМО законодательно сформировали на своей территории «зоны, свободные от ГМО» (ЗСГМО). Под ними принято понимать любую территориальную единицу, организацию или сообщество, главы которых при согласовании с их жителями или членами принимают решение об отказе от выращивания или распространения, или потребления ГМ-семян, культур, продуктов и создают систему контроля за исполнением этого решения. ЗСГМО можно объявить свой дом или свой город свободным от генетически модифицированных организмов» (Копейкина, 2007).

Современные ГМ-организмы растительного и животного происхождения опасны своей непредсказуемостью, не определено то место генома растения, куда включается бактериальный ген, поэтому невозможно предсказать реакцию соседних генов на чужеродную вставку. «Человек совсем недавно вторгся в сложный наследственный механизм, в котором еще много неясного, неизученного. В настоящее время существует больше вопросов, чем ответов, и потребуется много времени, чтобы убедиться в полной безопасности трансгенов. Ученые считают, что прошло недостаточно времени для того, чтобы проверить, не будут ли наблюдаться сбои в организме человека, потребляющего ГМ-продукты, и как это отразится на последующих поколениях» (Цыдендамбаев, 2009).

Литература

Баранов А.С. Россия – за генетическую безопасность // На пути к устойчивому развитию России, 2004. № 28. С. 27-28.

Копейкина В.Б., Кочинева А.Л., Саксина Т.Ю. Зоны, свободные от ГМО / Под общей ред. В.Б. Копейкиной. М.: Изд-во Эремурус, 2007. 106 с.

Сорокина Н.В. Генно-модифицированные организмы: за и против // Школа и производство, 2008. № 3. С. 7-13.

Цыдендамбаев В.Д. Экологические риски широкомасштабного выращивания ГМО // Вестник экологического образования в России, 2009. № 1. С. 11-16.

ПОКАЗАТЕЛИ РАЗМНОЖЕНИЯ ПОТОМКОВ ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, РОДИТЕЛИ КОТОРЫХ ОБИТАЛИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОСТИ

Н.Н. Старобор
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: nstarobor@yandex.ru

Изучение последствий длительного воздействия такого фактора, как повышенный уровень радиации на природные популяции растений и животных является одной из актуальных задач радиоэкологии. Популяции животных, обитающие в условиях нормального и повышенного уровня радиоактивности, различаются по основным популяционным показателям: продолжи-

тельность жизни и репродуктивный период, плодовитость, эмбриональная гибель, скорость роста (Башлыкова, 2000). Одной из ключевых характеристик, определяющих жизнеспособность и устойчивость любой популяции, является способность к воспроизводству. Изменения в процессе размножения могут свидетельствовать о нарушении в геноме. Такие генетические нарушения, как рецессивные летальные мутации (РЛМ) в гетерозиготном состоянии наследуются следующими поколениями и вызывают повышенную смертность и пониженную жизнеспособность потомков. В гомозиготном состоянии РЛМ проявляются в снижении фактической плодовитости при родственном скрещивании, а также оказывают влияние на ранних стадиях жизни, увеличивая мертворождение и детскую смертность.

Цель нашего исследования – в экспериментальных условиях вивария изучить процессы размножения (интенсивность размножения и плодовитость) у первого поколения (F_1) полевок-экономок, родители которых были отловлены на радиоактивно загрязненных участках, а также развитие (скорость роста и уровень постэмбриональной смертности) второго поколения (F_2).

Полевок-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.) отлавливали на стационарных участках с различным уровнем гамма-фона (пос. Водный Ухтинского р-на Республики Коми). Исследуемые участки идентичны по экологическим условиям, но отличаются радиационной обстановкой. Контрольный участок занимает площадь 2 га, мощность экспозиционной дозы составляет 10-15 мкР/ч. Радиевый участок (1.5 га) возник в 30-50-е гг. прошлого столетия в результате разлива радиоактивных пластовых вод, содержащих высокие концентрации радия. Гамма-фон на территории участка в настоящее время составляет 50-1200 мкР/ч.

Животные были привезены в виварий Института биологии Коми НЦ УрО РАН г. Сыктывкар, где в последующем от них было получено первое поколение полевок. Для оценки выхода гомозиготных особей в популяциях полевок-экономок, длительное время обитающих в условиях повышенной естественной радиоактивности, был применен метод близкородственного скрещивания. Из половозрелых самцов и самок F_1 контрольного и радиевого участков были сформированы четыре группы животных (варианты скрещивания): 1) контроль-родственное (девять пар); 2) контроль-неродственное (11 пар); 3) радиевый-родственное (11 пар); 4) радиевый-неродственное (14 пар). Процессы размножения полевок исследовали с середины мая по октябрь. В течение эксперимента у животных оценивали интенсивность размножения (количество пар, участвующих в размножении за определенный период времени) и плодовитость, а у их потомков (F_2) – скорость роста молодняка (с двух недель до трех месяцев) и уровень постэмбриональной смертности. Полевок взвешивали на технических весах с точностью до 0.1 г в первой половине дня перед кормлением животных. Статистическую обработку данных проводили по t-критерию Стьюдента (Лакин, 1980).

Интенсивность размножения при неродственном скрещивании у первого поколения полевок контрольного участка в среднем составляла 94.6%, радиевого – 93.1% (рис. 1). При родственном скрещивании в контрольной группе животных средняя интенсивность размножения была 86.4%, тогда как у полевок радиевого участка – только 53.4% и не превышала значения 71% за весь период исследования.

Минимальная интенсивность размножения в родственных парах полевок радиевого участка отразилась и на их плодовитости. Такие показатели размножения, как число пометов (2.3± 0.30) и количество детенышей на самку (8.4± 1.19) оказались ниже ($p < 0.05$), чем в контрольной группе (3.3±0.62 и 14.3±2.50 соответственно) и группе «радиевый-неродственное» скрещивание (число пометов – 2.9±0.65, количество детенышей в помете – 4.3±0.27, детенышей на самку – 12.6±2.63). Снижение фактической плодовитости в родственных парах у самок радиевого участка, возможно, связано с наличием рецессивных леталей в этой группе животных.

У самок радиевого участка наряду с низкой плодовитостью обнаружено увеличение постэмбриональной смертности (рис. 2), причем при родственном скрещивании гибель детенышей была максимальной и наблюдалась только в течение первого месяца жизни, что также свидетельствует о высоком уровне генетических повреждений. При неродственном скрещивании в первый месяц жизни погибло в 2.5 раза меньше молодых полевок (14.8%), чем при родственном скрещивании (32.6%). К периоду половой зрелости (до 3 мес.) общая смертность потомков при родственном скрещивании составила

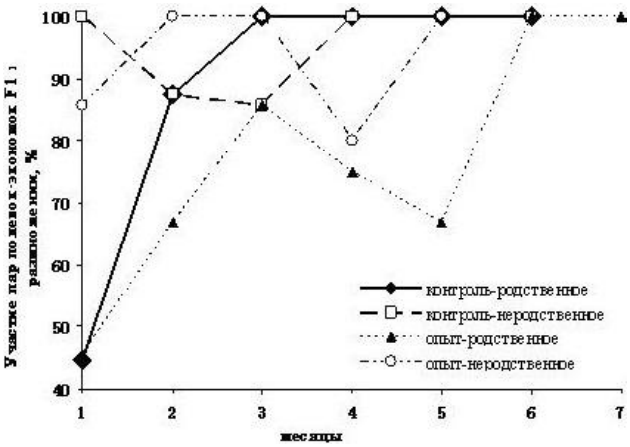


Рис. 1. Динамика размножения первого поколения (F_1) полевок-экономок, родители которых были отловлены на участках с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения, при различных вариантах скрещивания.

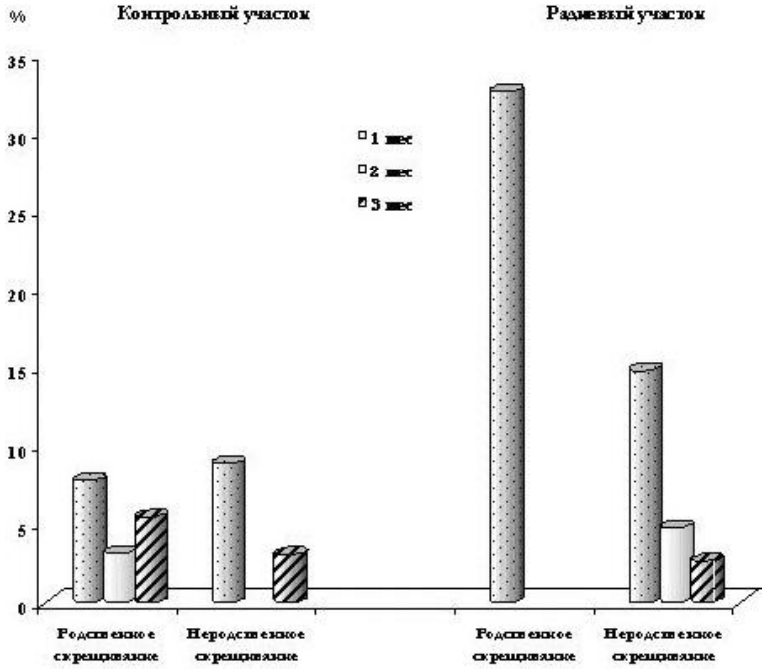


Рис. 2. Постнатальная смертность второго поколения полевок-экономок в различных вариантах скрещивания (в возрасте от одного до трех месяцев).

32.6%, при неродственном – 22.1% от общего количества рожденных детенышей, и была выше ($p < 0.05$) контрольных показателей (16.3 и 11.9% соответственно). В итоге из контрольной группы полевок выжило 84-88%, а из радиевой – 67-74% рожденных детенышей.

Скорость роста молодняка (F_2) у животных обоих участков в возрасте двух недель при родственном и неродственном скрещивании статистически не отличалась. Однако при неродственном скрещивании в контрольной группе полевок масса тела была достоверно ($p < 0.05$) выше, чем в радиевой. Ранжирование потомства по массе тела показало, что в контроле при родственном скрещивание 74.6% детенышей имели массу тела до 12.0 г, а при неродственном, наоборот, выше была доля крупных детенышей (более 12.0 г – 55.1%). В радиевой группе в обоих вариантах скрещивания наибольшую часть составляли медленно растущие потомки – 57.1% при родственном и 63.3% при неродственном скрещивании. Снижение массы тела у детенышей при инбридинге отмечали и другие авторы (Кокенова, 2007; Евсиков, Потапов, 2011).

Дальнейшее изучение массы тела у полевок не выявило достоверных изменений по скорости роста между животными контрольного и радиевого участков (рис. 3). У контрольных самцов в обоих вариантах скрещивания статистически значимого изменения массы тела ни в одной возрастной группе не обнаружено. У самцов радиевого участка при родственном скрещивании зафиксировано наибольшее изменение скорости роста, чем при неродственном скрещивании. Увеличение массы тела наблюдалось уже после достижения ими возраста одного месяца ($p < 0.01$), а при неродственном скрещивании – только в три месяца ($p < 0.01$). У самок достоверных отличий не обнаружено ни в одной изученной группе.

В потомстве обеих сравниваемых групп при родственном скрещивании родилось больше самцов, чем самок. Особенно явно это проявилось в контроле – доля самцов выше (60.9%, $p < 0.05$), чем самок (30.1%). Подобные различия в соотношении полов при инбридинге были описаны у степной пеструшки и узкочерепной полевки (Ченцова, 1969). При неродственном скрещивании в потомстве полевок контрольного участка

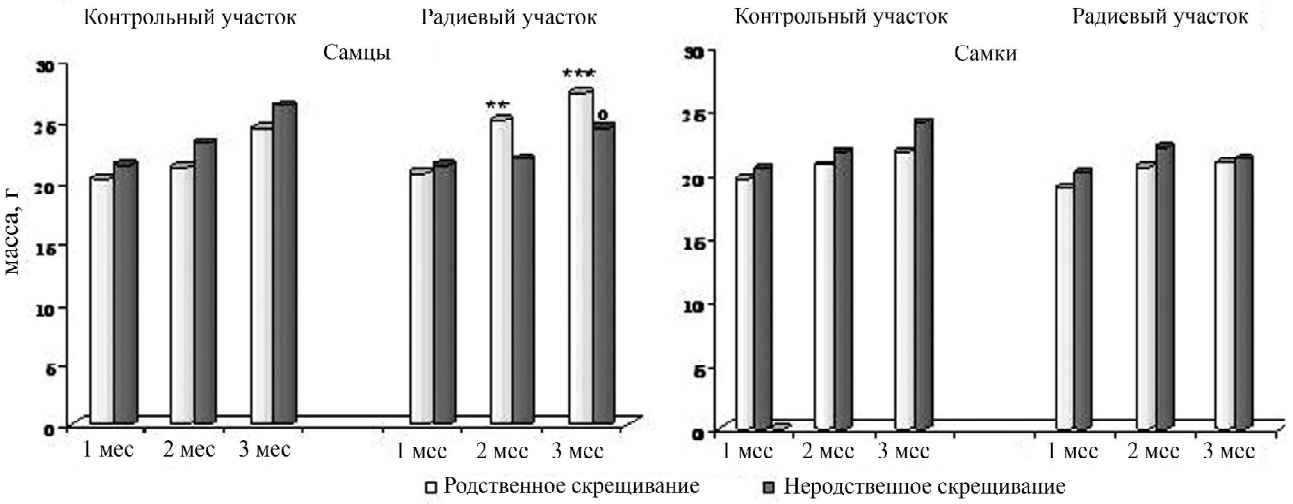


Рис. 3. Изменение массы тела у полевок-экономок F_2 контрольного и радиевого участков при различных вариантах скрещивания в возрасте от одного до трех месяцев. Возрастные различия достоверны у самцов радиевого участка между вариантами родственного (** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$) и неродственного (° $p < 0.05$) скрещивания.

также было больше самцов, чем самок (57.9% против 42.1), тогда как у животных радиевого участка количество родившихся самцов и самок было одинаковым (49.7 и 50.3% соответственно).

Результаты проведенного эксперимента показали, что при родственном скрещивании в условиях вивария у полевок-экономок F_1 (от родителей радиевого участка) выявлена низкая интенсивность размножения и плодовитость, максимальная постэмбриональная смертность, тогда как у полевок F_1 (от родителей контрольного участка) зафиксирована высокая интенсивность размножения и плодовитость, и низкая постэмбриональная смертность. В пометах животных как радиевого, так и контрольного участков было больше самцов, чем самок.

При неродственном скрещивании различий в исследуемых показателях у потомков животных обоих участков не обнаружено. Исключение составляло соотношение самцов и самок в пометах. В пометах полевок контрольного участка родилось больше самцов, а у животных радиевого участка количество родившихся самцов и самок было одинаковым. Самцы F_2 радиевого участка при родственном скрещивании росли быстрее, чем при неродственном. Увеличение массы тела наблюдалось уже после достижения ими возраста одного месяца, а при неродственном – только в три месяца.

Обнаруженное снижение фактической плодовитости у самок радиевого участка в родственных парах, а также значительная гибель детенышей, возможно, свидетельствуют о наличии рецессивных леталей в этой группе животных.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 11-04-90354-РБУ_а.

Литература

Башлыкова Л.А. Эколого-генетические процессы в популяциях мышевидных грызунов, обитающих в условиях радиоактивных загрязнений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2000. 20 с.

Евсиков В.И., Потапов М.А. Эволюционная экология плодовитости животных: 50 лет изучения размножения как связующего звена поколений млекопитающих // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2011. Т. 15. № 1. С. 7-21.

Кокенова Г.Т. Влияние брачного подбора и длительности инбредного разведения на репродуктивные характеристики степной пеструшки (*Lagurus lagurus*): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2007. 22 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

Ченцова Н.Ю. Об адаптивном значении инбридинга для мелких грызунов // Зоологический журн., 1969. Т. XLVIII. Вып. 5. С. 734-745.

ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРАСНОЙ КРОВИ У ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И СОЧЕТАННОМ ДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ И СЕРПИСТЕНА

А.В. Стрекаловская
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: verona2506@mail.ru

Неблагоприятная экологическая обстановка, высокий уровень техногенного загрязнения окружающей среды, частые стрессы различной природы неблагоприятно влияют на функциональное состояние человека, снижая устойчивость организма к действию факторов абиотической и биотической природы и провоцируя развитие многих заболеваний. В условиях среды обитания организм подвергается, как правило, многофакторному (сочетанному) воздействию, эффект которого может оказаться более значительным, чем при их изолированном действии. Нередко они сочетаются и могут приводить к разным эффектам по своей направленности (синергизм, аддитивность, антагонизм) (Малые дозы..., 1999). В этом свете актуальной является разработка новых эффективных адаптогенов с полифункциональными свойствами, обеспечивающих резистентность организма к действию различных неблагоприятных факторов. Перспективным в этом направлении представляется создание биопрепаратов на основе природных биологически активных веществ (БАВ), в частности, фитоэкдистероидов. Высокая биологическая активность, а также способность вызывать общие неспецифические ответные реакции позволяют рассматривать фитоэкдистероиды как возможные стимуляторы радиорезистентности. Система крови и кроветворения является интегральной системой, наиболее полно отражающей состояние и характер метаболизма целого организма. Именно элементы данной структуры страдают в первую очередь при действии ионизирующего излучения, а ее показатели отражают состояние физиологических систем и используются в качестве критериев адаптационных реакций организма (Таламанова, 2010).

Цель данной работы – изучение влияния раздельного и сочетанного действия γ-излучения и фитоэкдистероидного препарата Серпистен в малых дозах на показатели красной крови лабораторных мышей.

Задачи:

1) охарактеризовать влияние раздельного действия γ-излучения и Серпистена в малых дозах на показатели красной крови лабораторных мышей;

2) изучить влияние сочетанного действия γ-излучения в малых дозах и препарата Серпистен

на показатели красной крови лабораторных мышей.

В эксперименте анализировали показатели красной крови лабораторных мышей линии CBA/Lac в возрасте 6-7 мес. (52 особи, самцы) виварского происхождения (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН). Работу с животными осуществляли согласно документу «Об утверждении Правил лабораторной практики» (Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ № 708 от 2010 г.). Кровь получали методом тотального обескровливания декапитацией мышей. Кровь стабилизировали раствором гепарина. Концентрационные показатели крови (концентрация эритроцитов (Эр), ретикулоцитов (Rt), гемоглобина (Hb), показатель гематокрита (Гт)) определяли общепринятыми в клинике и лабораторной практике методами (Меньшиков, 1987). Серию расчетных показателей на основе реально полученных данных – среднеклеточный объем Эр (СрОЭ), насыщенность их Hb (среднеклеточное содержание в одном Эр (ССЭ), среднеклеточная концентрация (СКГ) находили по общепринятым формулам (Шиффман, 2000). Результаты статистически обрабатывали, достоверность различий оценивали по U-критерию Манна-Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости $p < 0.05$ (Гланц, 1999).

В эксперименте мыши были разделены на шесть групп по 8-10 особей в каждой: группа 1 – контроль к группам 2 и 3; группа 2 – облучение в течение 10 сут. (7.5 сГр); группа 3 – Серпистен в дозе 15 мг/кг в течение 7 сут.; группа 4 (сочетанное, терапевтическое действие) – хроническое γ-облучение в течение 10 суток радиевым источником с мощностью дозы в диапазоне от 34-60 мР/ч (суммарная поглощенная доза – 7.5 сГр), затем семидневное курсовое введение раствора Серпистена per os в дозе 15 мг/кг из расчета массы тела и количества потребляемого раствора; группа 5 (сочетанное, профилактическое действие) – введение Серпистена per os в дозе 15 мг/кг, после чего мышей подвергали γ-облучению в течение 10 сут. (7.5 сГр); группа 6 – контроль к группам 4 и 5. Контрольные животные (1 и 6 группы) пили обычную питьевую воду.

По данным эксперимента, в среднем для контрольных групп животных (1 и 6) концентрации Hb, Эр и Rt в крови составили – 112.5±34.2 г/л; $5.5 \pm 0.6 \times 10^{12}$/л и 14.3±7.4‰. По данным литературы некоторых авторов (Западнюк и др., 1974), выявлены следующие значения показателей крови для лабораторных мышей: Hb – 112-160 г/л; Эр – $8\text{-}10 \times 10^{12}$/л; для концентрации Эр (Действие..., 2001) $4.45 \pm 0.31 \times 10^{12}$/л, для гемоглобина – 144.5±2.8 г/л. По данным Л.Д. Материй, эти показатели у полевок-экономок с контрольных участков находились также в пределах нормы (Материй и др., 2003). Таким образом, несмотря на то, что в эксперименте использовали мышей линии CBA/Lac (половозрелых), основные параметры крови мышей практически соответствуют данным литературы (в которых были исследованы разные виды лабораторных мышей и полевок-экономок из природных популяций). Для этой линии мышей выявлена особенность распределения Rt по стадиям зрелости, а именно: большая доля Rt IV стадии по сравнению с Rt V, в то время как в большинстве работ указывается равномерное распределение Rt по стадиям зрелости (Мойсенко и др., 1998; Действие экстрактов..., 2000; Иванкова, 2007), что, по-видимому, связано с этой линией и возрастом данных животных.

Кратковременное γ-излучение в суммарной дозе 7.5 сГр лабораторных мышей показало, что в крови животных увеличивается концентрация Hb на 10% ($p < 0.05$), происходит незначительное уменьшение среднего объема и увеличение концентрации Эр по сравнению с контрольными мышами. Эти изменения могут указывать на некоторую дегидратацию крови, в результате чего происходит ее сгущение. Известно, что γ-излучение вызывает увеличение среднего диаметра, среднего объема Эр, снижение кислотной стойкости эритроцитов, что объясняет уменьшение времени их циркуляции в крови. При этом относительное содержание гемоглобина в одном эритроците увеличивается (Козинец, Жиляев, 1993). Отмечено падение количества Rt на 38% ($p < 0.05$), что возможно за счет укорочения их циркуляции и преобразования в зрелый эритроцит, о чем свидетельствует уменьшение доли Rt IV и V стадий зрелости.

Аналогичные изменения показателей красной крови (увеличение содержания Эр и Hb) выявлены у полевок-экономок с радиевых участков Республики Коми по сравнению с животными с контрольных участков. Авторы связывают это явление с возможным включением компенсаторных механизмов в организме мышей (Материй и др., 2003).

Известно из данных литературы, что фитоэкдистероидные препараты могут оказывать влияние на показатели красной крови: стимулируют гемопоэз (Куракина и др., 1990), биосинтез белка в организме млекопитающих (Dinan, 2001), эритропоэз (увеличение концентрации Эр и Hb, большое количество Rt в крови) (Сыров и др., 1997), способствуют снижению вязкости крови, агрегации Эр и увеличивают деформационные свойства Эр, улучшают гемореологические характеристики крови при экспериментальных инфаркте и ишемии (Гемореологические..., 2000), вызывают снижение свертываемости крови, толерантности к гепарину. При однократном введении кроликам они повышают фибринолитическую активность крови, увеличивают протромбиновую активность (Сейфулла и др., 1986).

В нашем эксперименте введение мышам водного раствора Серпистена в малых дозах прак-

тически не изменило основных показателей крови. Однако отмечено уменьшение концентрации молодых клеток крови (ретикулоцитов) на 29% ($p < 0.05$). Известно, что введение фитоэкдистероидного препарата в виде инъекций приводит к ускоренному созреванию имеющихся в циркуляции Rt (Иванкова, 2007). В данном эксперименте наблюдается переход Rt IV стадии зрелости в V, что может косвенно свидетельствовать об ускорении созревания молодых клеток крови.

Результаты эксперимента по влиянию сочетанного действия γ-облучения и Серпистена выявили разные эффекты показателей красной крови в зависимости от схемы воздействия факторов. Анализ группы животных с сочетанным действием облучения и последующим введением Серпистена показал, что по сравнению с контрольной группой мышей отмечено уменьшение концентрации гемоглобина на 13%, эритроцитов – на 14%. По сравнению с группой облученных мышей уменьшаются концентрации гемоглобина на 30 и эритроцитов на 21%, показатели (гематокрит, среднеклеточное содержание гемоглобина в эритроците и среднеклеточная концентрация гемоглобина) уменьшились соответственно на 12, 8 и 20%, среднеклеточный объем клеток увеличился на 26%. Таким образом, кратковременное терапевтическое действие Серпистена ослабило эффекты радиации, но не привело к нормализации показателей до уровня у контрольных животных.

При профилактическом приеме Серпистена (Серпистен + облучение) в крови мышей не было отмечено достоверных изменений по содержанию гемоглобина, концентрации эритроцитов, гематокрита по сравнению с контрольной группой животных. Однако при сравнении с группой животных, подвергшихся лишь одному облучению, отмечено уменьшение концентрации гемоглобина на 17 ($p < 0.05$) и эритроцитов на 11% ($p < 0.01$). Следовательно, предварительное введение мышам Серпистена ослабило также действие непродолжительного низкоинтенсивного γ-облучения. Используемые кратковременные малые дозы облучения с низкой мощностью дозы (7.5 сГр, 10 сут.) и курсовое введение Серпистена (15 мг/кг, 7 сут.) оказывали мягкое воздействие на клеточные изменения показателей красной крови лабораторных мышей. Направленность изменений показателей красной крови зависела от используемой схемы сочетанного действия исследуемых факторов (облучения, действия фитоэкдистероида).

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Президиума УрО РАН (12-П-4-1023) и Президиума РАН (12-П-4-1021).

Литература

Гемореологическая активность экдистерона и различных фракций экстракта из надземной части *Lychnis chalcedonica* L. in vitro / *М.Б. Плотников, Л.Н. Зибарева, А.С. Васильев* и др. // Растит. ресурсы, 2000. Вып. 3. С. 91-94.

Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 460 с.

Действие этилового спирта разной степени очистки на показатели периферической крови в эксперименте / *Ю.В. Зиновьев, С.А. Козлов, С.А. Конышев, А.И. Угрюмова* // Проблемы гематологии, 2001. № 1. С. 24-29.

Западнюк И.П., Западнюк В.И., Захария Е.А. Лабораторные животные. Киев, 1974. 304 с.

Иванкова Ж.Е. Морфофункциональное состояние эритроцитов и гемоглобина лабораторных животных при анемиях и действии экдистероидосдержащей субстанции Серпистен: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ярославль, 2007. 23 с.

Козинец Г.И., Жиляев Е.Г. Клетки переферической крови ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС после пятилетнего наблюдения // Гематол. и трансфузиол., 1993. № 9. С. 35-38.

Куракина И.О., Булаев В.М. Экдистен – тонизирующее средство в таблетках по 0.005 г // Новые лекарственные препараты. Экспресс-информация. М., 1990. Вып. 6. С. 16-18.

Малые дозы и проблемы синергического взаимодействия факторов окружающей среды / *В.Г. Петин, Г.П. Жураковская, А.Г. Пантюхина, А.В. Рассохина* // Радиац. биология. Радиоэкология, 1999. Т. 39. № 1. С. 113-126.

Материй Л.Д., Ермакова О.В., Таскаев А.И. Морфофункциональная оценка состояния организма мелких млекопитающих в радиоэкологических исследованиях (на примере полевки-экономки). Сыктывкар, 2003. 164 с.

Меньшиков В.В. Лабораторные методы исследования в клинике. М.: Медицина, 1987. 379 с.

Мойсеенко Н.А., Иржак Л.И., Печеницына Е.Г. Влияние отмывки, антикоагулянтов и солевых растворов из семян бобовых на физико-химические свойства гемоглобина, содержащегося в эритроцитах крыс // Вестник СыктГУ, 1998. Серия. 4. Вып. 1. С. 36-43.

Сейфулла Р.Д., Вайсберг М.А., Сыров В.Н. Действие ратибола на систему свертывания крови // Фармакол. и токсикол., 1986. № 4. С. 40-42.

Сыров В.Н., Насыров С.С., Хушбактова З.А. Результаты экспериментального изучения фитоэкдистероидов в качестве стимуляторов эритропоэза у лабораторных животных // Эксперим. и клинич. фармакол., 1997. № 3. С. 41-44.

Таламанова М.Н. Адаптогенные эффекты наноструктуированного препарата пчелиного яда при гамма-облучении экспериментальных животных: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2010. 23 с.

Действие экстрактов левзеи сафлоровидной на биосинтез РНК и белков в органах мышей / *И.Н. Тодоров, Ю.И. Митрохин, О.И. Ефремова, Л.И. Сидоренко* // Хим.-фарм. журн., 2000. № 9. С. 24-26.

Шиффман Ф.Д. Патафизиология крови. М.-СПб., 2000. 451 с.

Dinan L. Phytoecdysteroids: biological aspects // Phytochemistry, 2001. Vol. 57. P. 325-339.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИМИЧЕСКОГО, РАДИОЛОГИЧЕСКОГО И ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Е.С. Сунцова, С.С. Злобин
Вятский государственный гуманитарный университет

Предприятия химической промышленности являются источником повышенной экологической напряженности из-за обилия и разнообразия выбросов и сбросов, которые при взаимодействии с окружающими средами способны кардинальным образом изменять их физико-химические параметры, преобразуя при этом их биологическую составляющую. Одним из таких экологически-опасных объектов на территории Кировской области является Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), основанный в 1938 г. В 1944 г. на комбинате было освоено промышленное производство плавиковой кислоты, и до 1992 г. действовали производства по получению гексафторида и тетрафторида урана путем фторирования металлического урана и его оксида. В настоящее время на базе КЧХК действует целый ряд промышленных и коммерческих предприятий, крупнейшими из которых являются завод минеральных удобрений (ЗМУ), входящий в холдинг «Уралхим», и завод полимеров (холдинг «ГалоПолимер»).

Основными источниками радиоактивного и химического загрязнения грунтов являются хранилища отходов на территории ООО «Завод Полимеров КЧХК»: шестая секция хвостохранилища мела, секции № 1-3 шламохранилища, хранилище РАО № 205, русло р. Елховка, оз. Просное. На сегодняшний день на хранилищах предприятия размещены радиоактивные отходы низкой (385 тыс. т) и средней (55 тыс. т) активности, содержащие уран-238, уран-235, торий-232, плутоний, цезий-137, стронций-90, кобальт-60 и ряд других (Ашихмина и др., 2009).

Цель исследования – оценить уровень загрязнения почв на территории вблизи КЧХК с использованием радиологического, химического и цианобактериального методов анализа.

Исследования проводились в зоне влияния КЧХК. Почвенные образцы верхнего горизонта (0-5 см) с восьми пробных площадок отбирались и готовились согласно принятым методикам анализа. Точки отбора 904, 906, 907, 918 расположены вдоль русла р. Елховка (приток II порядка р. Вятка), П-13 – около пойменного оз. Просное, 913 – вблизи шламонакопителя, 920, 921 – на гривистой пойме р. Вятка. Все почвы гидроморфные, относятся к аллювиальному типу и характеризуются различной степенью нарушенности (строительство дорог, шламонакопителей, перемещение грунтов).

Определение тяжелых металлов (ТМ) проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) на спектрометре «Спектр-5». В атомно-абсорбционном анализе измеряют поглощение электромагнитных волн определенной длины, определяемое отношением интенсивностей излучения, прошедшего через пламя без пробы и после распыления в него исследуемого раствора (Методика..., 2007).

Радиационные исследования почвенных образцов проводили на спектрометрическом комплексе для измерения активности бета-гамма - излучающих нуклидов «Прогресс». Методика основана на регистрации спектров гамма-бета-излучения, испускаемого веществом исследуемого объекта, с последующей их обработкой на ПК с использованием программного пакета ПРОГРЕСС (Методика..., 2003, 2004).

Метод биотестирования с применением цианобактерий (ЦБ) в качестве организмов-биотестеров основан на определении дегидрогеназной активности этих организмов с помощью 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида (ТТХ). ТТХ, акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в 2,3,5-трифенилформазан (ТФФ), имеющий красную или малиновую окраску. При определении токсичности среды выбранные штаммы ЦБ сначала выдерживаются в испытуемом растворе, затем помещаются в раствор ТТХ. После этого микроскопическим методом определяют на мазках соотношение жизнеспособных (с красными кристаллами внутри) и нежизнеспособных (без кристаллов) клеток в популяции ЦБ.

В частности, исследования, выполненные в последние годы в Вятской государственной сельскохозяйственной академии, показывают, что биотестирование, проведенное с помощью ЦБ, адекватно отражает уровень загрязнения среды (Применение..., 2008; Использование..., 2010).

Наиболее интересные и практически значимые результаты биотестирования тетразольно-топографическим методом можно получить при работе с почвенными вытяжками. Не отменяя и не подменяя химический анализ почв, биотестирование дает быстрый и четкий ответ о состоянии почвы в изучаемом районе, особенно если исследуемый объект является потенциально экологически опасным.

Критериями загрязнения почв служили показатели содержания в образцах ТМ удельной активности радионуклидов и результаты биотестирования с использованием ЦБ.

При определении содержания подвижной формы ТМ в проанализированных почвенных образцах наблюдалось высокое содержание Cu, Pb, Cd. Ni, Zn, Mn (табл. 1).

Максимальная концентрация ТМ наблюдается в точках 906, 907, 918 и П-13. Минимальным значением загрязнения характеризуются точки 913, 904, 921.

Критерием оценки радиационного загрязнения служат кларки радионуклидов и их среднестатистические значения. Нами была определена удельная активность (Бк/кг) естественных и техногенных радионуклидов: Cs-137, Sr-90, Th-232, Ra-226 (табл. 2).

По результатам радиохимического анализа почв выявлены низкие значения удельных активностей естественных радионуклидов ^{232}Th и ^{226}Ra. Их содержание во всех почвенных пробах колеблется незначительно: ^{226}Ra в пределах от 15 Бк/кг (П-13) до 73 Бк/кг (906). Значения удельной активности радионуклида ^{232}Th варьируют в пределах от 24 до 43 Бк/кг. Содержание радиоактивного изотопа ^{137}Cs во всех пробах превышает кларк. Наибольшие значения удельной активности радионуклида ^{137}Cs в почве наблюдаются в точках 913 (8129 Бк/кг) и 907 (6134 Бк/кг), наименьшие – в точке 920. Плотность загрязнения радиоактивным изотопом ^{90}Sr ниже, максимальное значение удельной активности в точке 907 (187.3 Бк/кг), минимальные значения – в точках 913 и 918.

При проведении биотестирования методом ТТХ была использована культура ЦБ *Nostoc linckia*. На двух участках (906, 920) отмечена 100%-ная гибель клеток ЦБ. При этом на участке 920 методами химического и радиологического анализа не выявлено сколь-нибудь существенного загрязнения. Вероятно, в данном случае *N. linckia* проявляет повышенную чувствительность к факторам, не фиксируемым данными химико-радиологическими методами. Участок 906 характеризуется достаточно высоким уровнем загрязнения Pb, Cd, Ni, Zn и Mn, а также ^{137}Cs и ^{226}Ra. Вероятно, аддитивный эффект от действий данных элементов мог послужить причиной полной гибели популяции ЦБ.

Как наиболее чистые можно отметить участки 904 и 921, где гибель клеток составляла не более 10% (см. рисунок). В дальнейших исследованиях необходимо обратить особое внимание на экомониторинг участков 906 и 920.

Таким образом, по полученным в ходе исследования результатам можно сделать следующие выводы:

1. Почвы в районе КЧХК загрязнены тяжелыми металлами, в них отмечены близкие к ПДК или превышающие их концентрации свинца, цинка, кадмия, никеля. Однако для техногенно нагруженной территории превышения ПДК небольшие – в 1,5-3 раза. Наиболее загрязнены ТМ участки 906, 907, 918, П-13.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг КЧХК 2011 (0-5 см), подвижная форма

№ пробной площадки	Cu	Pb	Cd	Ni	Zn	Mn
904	0.75±0.17	3.9±0.8	0.48±0.12	3.9±1.1	13±4	80±17
906	2.4±0.6	**25±5**	**1.08±0.27**	**17±5**	**32±10**	**169±35**
907	**3.6±0.8**	**33±7**	**1.7±0.14**	**9.0±2.5**	**73±24**	**159±33**
913	0.55±0.13	1.9±0.4	0.11±0.03	2.1±0.6	1.8±0.6	**94±20**
918	**4.0±1.0**	**35±7**	**2.1±0.5**	**7.2±2.0**	**87±29**	**134±28**
920	0.90±0.21	**11.9±2.5**	0.56±0.14	3.6±1.0	16±5	**114±24**
921	0.87±0.2	**8.1±1.7**	0.48±0.12	3.8±1.1	21±7	60±14
П-13	**3.3±0.8**	**38±8**	**1.8±0.5**	**6.3±1.8**	**64±21**	**169±35**
ПДК, ОДК	3.0	6.0	1.0	4.0	23.0	80.0

Примечание. Жирным шрифтом выделено содержание ТМ, превышающее значение ПДК, ОДК.

Определение степени токсичности почвы в зоне действия химического комбината с использованием ЦБ *N. linckia.*

2. Основная радиационная нагрузка приходится на участки, расположенные в районе третьей секции шламонакопителя (913) и вдоль русла р. Елховка (906, 907). Наличие сравнительно высокой концентрации радионуклида ^{137}Cs в точке 913 объясняется, по-видимому, ее расположением в непосредственной близости от шламонакопителя и хранилища РАО. Пути поступления радионуклидов в почвы на этих территориях возможны из объектов хранения, а также

Таблица 2

Удельная активность радионуклидов в почве, Бк/кг

№ пробной площадки	^{137}Cs	^{90}Sr	^{232}Th	^{226}Ra
904	2804±292	128.0±39.4	28.9±6.2	34.6±8.4
906	5420±557	115.6±43.5	32.8±6.7	**73.0±12.7**
907	6134±630	**187.3±42.8**	41.9±7.7	31.4±8.8
913	**8129±832**	55.6±23.7	**43.0±7.8**	25.1±8.2
918	4777±493	57.1±25.9	37.6±7.2	30.7±8.3
920	1004±108	78.2±24.2	28.7±6.0	21.3±6.1
921	2291±241	143.1±49.9	39.5±8.0	24.8±8.1
П-13	1832±193	104.4±33.2	24.4±5.6	15.2±6.0
Кларк	<452	<120	<53.3	<74

Примечание. Жирным шрифтом выделена максимальная удельная активность.

за счет разгрузки грунтовых вод и вторичного загрязнения почв.

3. Биотестирование методом ТТХ с использованием ЦБ *N. Linckia* показало, что наиболее токсичными являются образцы почв 906, 918, 920. Причины 100%-ной гибели клеток ЦБ в точке 920 требуют дальнейшего изучения.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего систематического мониторинга территории вблизи КЧХК с привлечением различных методов исследования как физико-химических, так и биологических, в целях разработки приемов ремедиации данной территории.

Литература

Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязненных средах / *Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, Т.Я. Ашихмина* и др. // Теоретическая и прикладная экология, 2008. № 2. С. 23-28.

Использование методов биоиндикации, биотестирования и химического анализа для оценки состояния почвы в районе Кирово-Чепецкого химического комбината / *С.С. Злобин, Н.О. Шулятьева, Е.В. Дабах* и др. // Современные проблемы биомониторинга и биоиндикации. Киров: ООО «Лобань», 2010. Вып. VIII. Ч. 1. С. 193-196.

Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Менделеево, 2003. 32 с.

Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Менделеево, 2004. 24 с.

Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом. ФР.1.31.2007.04106. М., 2007. 17 с.

Ашихмина Т.Я., Лемешко А.П., Кантор Г.Я., Дабах Е.В. Комплексное обследование территории в районе хранения радиоактивных отходов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО» // Современная радиоэкологическая обстановка в Кировской области: Матер. науч.-практ. конф. Киров, 2009. 132 с.

ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕННОЙ РТУТИ НА АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ГЛИКОЗИДАЗ У ЛЕСНОЙ КУНИЦЫ

А.А. Филиппов, Г.А. Пенькова, Е.С. Степина.
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
E-mail: andron@ibiw.yaroslavl.ru

Ртуть занимает одно из ведущих мест среди тяжелых металлов, оказывающих токсическое воздействие на живые организмы. Основным природным источником ртути служит общая дегазация земной коры и океана. Антропогенное поступление ртути (выбросы и сточные воды металлургических, приборостроительных и целлюлозно-бумажных предприятий) на порядок выше, чем за счет естественных источников. Продолжительность жизни ртути в атмосфере невелика (несколько дней), однако в почве и воде время ее жизни составляет сотни тысяч лет.

Ртуть принадлежит к числу тиоловых ядов, блокирующих сульфгидрильные группы белков. Блокируя их, она изменяет свойства или инактивирует ряд жизненно важных ферментов. Наиболее токсичны органические соединения ртути, в состав которых входит метиловая группа. Поступая в организм с водой и пищей, метилртуть мигрирует по пищевым цепям как в водной, так и в наземно-воздушной среде, вызывая специфические отравления и заболевания у человека и животных. В то же время показано, что в малых количествах ртуть может оказывать положительное влияние: регулирует активность лейкоцитов и повышает иммунологическую устойчивость организма (Соколов и др., 2008). При действии ртути у млекопитающих выявлены изменения активности антиоксидантных ферментов в печени и почках (Toxic..., 2008), а также изменения активности аргиназы и митоген-активируемой протеинкиназы (Hironori et al., 2008).

Углеводы играют важную роль в энергетическом и пластическом обмене организма, в то же время сведений о влиянии накопления ртути на активность гликозидаз, осуществляющих начальные этапы усвоения углеводов у животных различных систематических групп, в настоящее время крайне мало (Голованова, 2010).

Цель работы – изучение влияния накопленной в организме ртути на активность гликозидаз в кишечнике лесной куницы.

Объект исследования – лесная куница *Martes martes* (L.) семейство Куньи (Mustelidae), отловленная осенью 2010 – зимой 2011 г. в Вологодской области. Всего было использовано 17 особей (масса 715 ± 23 г), разделенных на четыре группы с различным содержанием ртути в кишечнике 0.12, 0.316, 0.557 и 1.52 мг/кг сырой массы. Определение ртути в тканях рыб проводили атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915. Активность гликозидаз (мальтаза, сахараза, амилолитическая активность) определяли в гомогенатах слизистой оболочки медиального отдела кишечника или химуса, приготовленных на растворе Рингера для теплокровных животных (152.3 мМ NaCl, 5.7 мМ KCl, 26 мМ $CaCl_2$, 1.79 мМ $NaHCO_3$), pH 7.4. Амилолитическую активность (отражающую суммарную активность α-амилазы КФ 3.2.1.1, глюкоамилазы КФ 3.2.1.3 и

мальтазы КФ 3.2.1.20) и активность сахаразы КФ 3.2.1.48 определяли модифицированным методом Нельсона, активность мальтазы КФ 3.2.1.20 – глюкозооксидазным методом при температуре 20 °С, pH 7.4 (Уголев и др., 1969). Результаты обработаны статистически методом дисперсионного анализа ANOVA и последующей оценкой различий при помощи LSD-теста при $p = 0.05$.

Активность гликозидаз в слизистой оболочке кишечника и химусе лесной куницы с различным содержанием ртути в кишечнике

Ферментативная активность, мкмоль/г·мин	Среднее содержание Hg в кишечнике, мг/кг сырой массы кишки			
	0.12 (контроль)	0.32	0.56	1.52
Слизистая оболочка кишечника				
Амилолитическая	5.03 ± 0.10[а]	4.76 ± 0.16[а]	1.50 ± 0.15[б]	12.42 ± 0.26[в]
Сахаразы	2.67 ± 0.09[а]	3.48 ± 0.08[б]	1.36 ± 0.08[в]	0.94 ± 0.03[г]
Мальтазы	4.25 ± 0.02[а]	4.22 ± 0.04[а]	3.99 ± 0.03[б]	3.35± 0.02[б]
Содержимое кишечника (химус)				
Амилолитическая	6.10 ± 0.07[а]	5.00 ± 0.21[б]	3.03 ± 0.23[в]	8.13 ± 0.08[г]
Сахаразы	7.83 ± 0.16[а]	5.60 ± 0.15[б]	2.85 ± 0.07[в]	0.47 ± 0.03[г]
Мальтазы	3.84 ± 0.02[а]	3.90 ± 0.03[а]	3.91 ± 0.01[б]	2.63± 0.02[г]

Примечание. Данные представлены в виде средних значений и их ошибок (M ± m); разные надстрочные индексы указывают на статистически достоверные различия между показателями в строке (ANOVA, LSD-test), $p < 0.05$.

Амилолитическая активность в слизистой оболочке кишечника достоверно различалась в зависимости от содержания ртути в кишечнике (см. таблицу). За контроль приняты значения показателей при меньшем содержании ртути. Так, у особей с низким и средним содержанием ртути ферментативная активность снижается на 70% от контроля, однако при наибольшем содержании ртути, наоборот, она увеличивается на 147%. Аналогичные результаты показаны и для химуса, где максимальное снижение активности составило 50% при средних значениях ртути, а увеличение – 33% от контроля при наибольшем содержании ртути в кишечнике.

Активность сахаразы также изменялась разнонаправленно, однако увеличение ферментативной активности (на 31%) отмечено при относительно низком содержании ртути, а при среднем и высоком ферментативная активность была ниже контроля на 49 и 65% соответственно. Активность сахаразы в химусе линейно снижается на 29-94% по мере увеличения содержания ртути в кишечнике. Активность мальтазы при низком и среднем содержании ртути изменяется незначительно, а при максимальном – снижается на 21% от контроля в слизистой оболочке кишечника и на 32% – в химусе. Различные эффекты действия ртути на активность гликозидаз слизистой оболочки кишечника и химуса могут быть обусловлены тем, что в нем наряду с ферментами хищника присутствуют ферменты жертвы и энтеральной микробиоты. Повышение активности сахаразы в слизистой оболочке кишечника при относительно низком накоплении ртути хорошо согласуется с представлениями о стимулирующем действии малых доз токсикантов на биологические системы. Увеличение амилолитической активности при самом высоком уровне накопления ртути объяснить труднее. Поскольку панкреатические ферменты обладают большей адаптационной пластичностью, вполне вероятно, что это связано с действием ртути на активность панкреатической α-амилазы, входящей в состав группы ферментов, гидролизующих крахмал. Это предположение подтверждается и данными по влиянию ртути на мальтазу, активность которой достоверно снижается при наибольшем содержании металла в кишечнике.

Аналогичные результаты были показаны ранее у мелких млекопитающих, в частности, бурозубки обыкновенной *Sorex araneus* L. из того же района, которая является потенциальным объектом питания лесной куницы. Так, у особей с большим содержанием ртути в слизистой оболочке кишечника отмечено повышение амилолитической активности на 15-40% и снижение активности сахаразы на 74% (Влияние..., 2010). Также следует отметить, что максимальное содержание ртути в кишечнике бурозубки составило 0.23 мг/кг сырой массы, в то время как у куниц – 1.52. Это может быть связано с большей продолжительностью жизни куниц, а также способностью ртути накапливаться по трофическим цепям (Комов и др., 2004).

Таким образом, у лесной куницы выявлены группы особей с различным содержанием ртути в кишечнике. Установлено, что повышение содержания этого металла сопровождается разнонаправленными изменениями активности пищеварительных гликозидаз, совпадающими с выявленными ранее у обыкновенной бурозубки. Величина и направленность эффекта зависят от типа фермента и содержания ртути в кишечнике.

Литература

Голованова И.Л. Влияние ртути на пищеварение у животных различных систематических групп // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Матер. Междунар. симпозиума. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 263-268.

Комов В.Т., Степанова И.К., Гремячих В.А. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок: Рыбинский Дом печати, 2004. С. 99-123.

Влияние накопленной ртути на гидролиз углеводов в кишечнике бурозубок различных экологических групп / *Г.А. Пенькова, Е.С. Степина, А.А. Филиппов* и др. // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Матер. Междунар. симпозиума. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 309-314.

Соколов О.А., Черников В.А., Лукин С.В. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Белгород: Константа, 2008. 188 с.

Toxic effects of DDT and methyl mercury on the hepatocytes from Hoplias malabaricus / *F. Filipak Neto, S.M. Zanata, H.C. Silva de Assis* et al. // Toxicol. in Vitro, 2008. Vol. 22. № 7. P. 1705-1713.

Hironori K., Makoto K., Shino H.-T. et al. Downregulation of arginase II and renal apoptosis by inorganic mercury: Over expression of arginase II reduces its apoptosis // Arch. Toxicol., 2008. Vol. 82. № 2. С. 67-73.

ВЛИЯНИЕ ДЕЗОКСИНУКЛЕОТИДТРИФОСФАТОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И ПЛОДОВИТОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* ЛИНИИ *CANTON-S*

Л.А. Шилова[1], А.А. Москалев
[1] Сыктывкарский государственный университет
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: lyubov.schilova@yandex.ru

Важнейшей задачей экологии является изучение механизмов ответа биологических систем на стрессовые воздействия среды. Наиболее интегральные показатели приспособленности организма – его продолжительность жизни, а также длительность поддержания физиологических функций, таких как плодовитость. Известно, что данные параметры определяются способностью организма адекватно отвечать на стрессовые воздействия. Например, долгоживущие особи часто имеют повышенную устойчивость к действию стрессоров (Sohal et al., 1990; A potential..., 2009). Важнейшим механизмом ответа на стресс является репарация ДНК. Известно, что мутации генов, которые кодируют ферменты репарации ДНК, связаны с короткой продолжительностью жизни, преждевременным старением и гиперчувствительностью к стрессовым воздействиям (Dimethylbenzanthracene..., 2001). Установлено также, что с возрастом происходит снижение эффективности репарации ДНК (Gorbunova et al., 2007). Это может быть связано не только с уменьшением активности ферментов репарации ДНК и ухудшением выработки нуклеотидов, необходимых для восстановления поврежденных молекул. Мы предположили, что дополнительное внесение нуклеотидов в питание животных будет способствовать повышению эффективности работы систем репарации ДНК и приведет к качественному продлению продолжительности жизни и более длительному поддержанию репродукции.

Цель работы – исследовать влияние дезоксинуклеотидтрифосфатов на продолжительность жизни и плодовитость особей *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: 1. Изучить влияние dNTP в концентрации 50 и 500 нМ на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*. 2. Исследовать влияние dNTP в концентрациях 50 и 500 нМ на плодовитость самок *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*.

Опыты проводили на плодовой мушке *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*, поскольку она является одним из наиболее часто используемых и удобных модельных животных для изучения сложных биологических процессов. Особи плодовой мушки содержались в термостате при 25 °С и 12-часовом режиме освещения в баночках объемом 100 мл с 25 мл агарно-дрожжевой питательной среды либо в пробирках объемом 20 мл с 5 мл агарно-дрожжевой питательной среды (в зависимости от задач эксперимента). Использовали дрожжевую питательную среду (Ashburner, 1989). Для исследования продолжительности жизни отбирали по 30 мух на баночку с питательной средой. На вариант эксперимента приходилось 180 особей. Самцы и самки жили раздельно. Ежедневно проводили подсчет числа умерших мух. Два раза в неделю дрозофил пересаживали на свежую среду. С 30-го дня жизни питательную среду смазывали дрожжевой пастой с различным содержанием dNTP: 1) без добавления dNTP; 2) с добавлением dNTP в концентрации 50 нМ; 3) с добавлением dNTP в концентрации 500 нМ. Для оценки достоверности различий применяли непараметрические критерии: Колмогорова-Смирнова (для сравнения распределения смертности в выборках) и Гехана-Бреслоу-Вилкоксона (для сравнения различий по медианной продолжительности жизни). Достоверность различий по максимальной продолжительности жизни оценивали с помощью метода Ванг-Аллисона. Для демографического анализа использовали программы Statistica 6.1 (Stat Soft) и WinModest 1.0.2. Для исследования плодовитости отбирали по 50 самок на вариант эксперимента, которых рассаживали в пробирки по пять вместе с пятью самцами. Раз в неделю мух пересаживали на свежую среду. Начиная с 30-го дня жизни питательную среду смазывали дрожжевой пастой с различным содержанием dNTP, как и в эксперименте с анализом продолжительности жизни. Вели учет числа умерших самок. Раз в

месяц самцов заменяли на молодых. Раз в неделю считали количество яиц, отложенных самками за одни сутки, и количество куколок, развившихся из яиц на 10 сут. после кладки. Достоверность различий между выборками оценивали с помощью критерия Хи-квадрат.

Влияние дезоксинуклеотидтрифосфатов на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*. Изучали влияние дезоксинуклеотидтрифосфатов в концентрациях 50 и 500 нМ на продолжительность жизни самцов и самок *Drosophila melanogaster*.

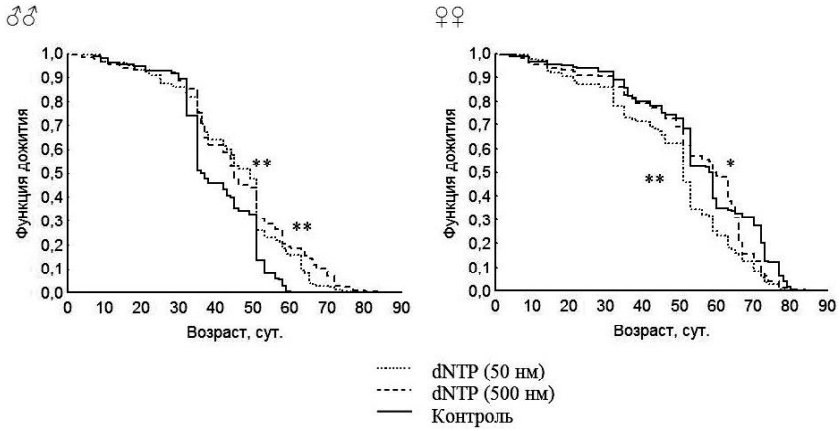


Рис. 1. Влияние dNTP в концентрации 50 и 500 нМ на продолжительность жизни самцов и самок *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*. **p < 0.001, *p < 0.05 (по критерию Колмогорова-Смирнова).

Кривые выживаемости у самцов, которым в питательную среду добавляли dNTP, проходят выше, а максимальная продолжительность жизни увеличивается по сравнению с самцами из контрольной группы ($p < 0.001$ по критерию Комгорова-Смирнова) (рис. 1). Это говорит о продлении жизни самцов, получавших dNTP по сравнению с контролем. Анализ медианной продолжительности жизни подтвердил данный результат. Медианная продолжительность жизни увеличена на 15% у особей, получавших dNTP в концентрации 50 нМ и на 6% у особей, получавших dNTP в концентрации 500 нМ ($p < 0.001$ по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) по сравнению с контролем. Возраст 90%-ной смертности у самцов, получавших с пищей dNTP в концентрации 500 нм, увеличился на 11% по сравнению с контролем, dNTP в концентрации 50 нм – не изменился ($p < 0.05$ по методу Ванг-Аллисона). Анализ параметров уравнения Гомпертца показал, что добавление в пищу dNTP приводит к отсрочиванию и замедлению старения особей *Drosophila melanogaster*. Параметр α уравнения Гомпертца, характеризующий возрастзависимую скорость смертности, снижен на 25-37% у самцов, получавших с пищей dNTP в концентрации 50 и 500 нМ соответственно.

Таким образом, добавление в пищу dNTP увеличивает продолжительность жизни и отсрочивает старение у самцов *Drosophila melanogaster*.

В ходе экспериментов обнаружено, что кривые выживаемости у самок, получавших dNTP, проходят выше и ниже контрольной кривой, максимальная продолжительность жизни увеличивается по сравнению с группой контрольных самок при добавлении в пищу dNTP в концентрации 500 нМ ($p < 0.05$ по критерию Колмогорова-Смирнова). В случае с dNTP в концентрации 50 нМ наблюдается обратная корреляция – снижение максимальной продолжительности жизни ($p < 0.001$ по критерию Колмогорова-Смирнова) (рис. 1). Медианная продолжительность жизни снижена на 12% у самок, получавших dNTP в концентрации 50 нМ ($p < 0.001$ по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона), 500 нМ – не изменилась. Кроме того, обнаружено снижение возраста 90%-ной смертности: у самок, получавших dNTP в концентрации 50 нМ, он снизился на 9% по сравнению с контролем ($p < 0.05$ по методу Ванг-Аллисона). Анализ параметров уравнения Гомпертца показал, что добавление в пищу dNTP не приводит к отсрочиванию старения особей *Drosophila melanogaster*.

Таким образом, добавление самкам в пищу dNTP в концентрации 50 нМ снижает продолжительность жизни. DNTP в концентрации 500 нМ увеличивает продолжительность жизни. Добавление в пищу dNTP не приводит к отсрочиванию старения особей *Drosophila melanogaster*.

Влияние дезоксинуклеотидтрифосфатов на плодовитость самок *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S*. Одна из главнейших задач продления жизни – увеличение качества жизни. К одному из критериев, по которому можно судить о нем, относится длительное поддержание репродукции. Поэтому изучили изменение плодовитости дрозофил после воздействия dNTP в разных концентрациях. У самок, получавших с пищей dNTP, по сравнению с самками, не получавших его, плодовитость выше большую часть жизни (рис. 2). С 30-го дня жизни в среднем количество яиц на самку, отложенных за одни сутки, повышено в 1.3 раза в случае с dNTP в концентрации 50 нМ и понижено в 0.6 раз в случае с dNTP в концентрации 500 нМ по сравнению с контрольными самками ($p < 0.001$ по критерию Хи-квадрат), количество куколок на самку – 2.0 и 0.35 раза соответственно ($p < 0.001$).

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

Итак, у самок *Drosophila melanogaster* при добавлении в пищу dNTP в концентрации 500 нМ

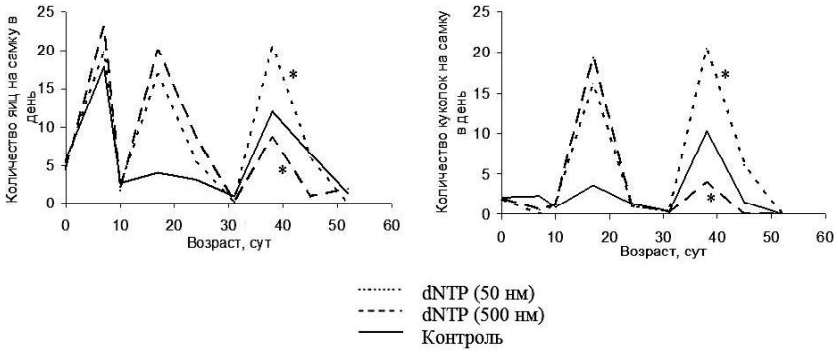


Рис. 2. Влияние dNTP в концентрации 50 и 500 нМ на плодовитость самок *Drosophila melanogaster*. *p < 0.001 (по критерию Хи-квадрат).

отмечается увеличение продолжительности жизни, в концентрации 50 нМ – ее снижение. У самцов происходит увеличение продолжительности жизни при обоих вариантах воздействия.

При добавлении dNTP в концентрации 50 нМ наблюдается увеличение плодовитости самок в возрасте 40 сут., в концентрации 500 нМ – снижение.

Литература

Ashburner M. Drosophila: A laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, N.Y., 1989.

Gorbunova V., Seluanov A., Mao Z., Hine C. Changes in DNA repair during aging // Nucleic Acids Res., 2007. Vol. 35. P. 7466-7474.

Dimethylbenzanthracene carcinogenesis in Gadd45α-null mice is associated with decreased DNA repair and increased mutation frequency / *M.C. Hollander, O. Kovalsky, J.M. Salvador* et al. // Cancer Res., 2001. Vol. 61. P. 2487-2491.

A potential impact of DNA repair on ageing and lifespan in the ageing model organism Podospora anserina: decrease in mitochondrial DNA repair activity during ageing / *M. Soerensen, R. Gredilla, M. Muller-Ohldach* et al. // Mech. Ageing Dev., 2009. Vol. 130. № 8. P. 487-496.

Sohal R.S., Sohal B.H., Brunk U.T. Relationship between antioxidant defenses and longevity in different mammalian species // Mech Ageing Dev, 1990. Vol. 53. P. 217-227.

РОЛЬ ГЕНОВ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ И ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ДРОЗОФИЛЫ В ОТВЕТ НА ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ

О.А. Шосталь
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: olash@list.ru

В процессах старения существенную роль отводят уровню метаболизма и сопутствующему ему оксидативному стрессу. Наиболее распространенной на сегодня является точка зрения, согласно которой увеличение длины светового дня может приводить к более высокому уровню метаболизма вследствие интенсификации двигательной активности и изменения температуры тела дрозофил. Согласно свободнорадикальной теории старения, интенсификация метаболизма ведет к дополнительной продукции свободных радикалов, повреждающих митохондриальную и ядерную ДНК, мембраны и белки клетки (Анисимов, 2003), что в результате приводит к ускоренному старению и укороченной продолжительности жизни (ПЖ). В предыдущих наших работах было установлено (Москалев, Малышева, 2008, 2010), что линии дрозофилы с мутациями в генах репарации ДНК, белков теплового шока семейства 70 и белка сиртуина характеризуются более выраженной разницей между ПЖ в темноте и на свету по сравнению с линией дикого типа, что подтверждает важную роль исследуемых генов в устранении эффектов повреждающего действия света. В настоящей работе мы решили исследовать роль генов супероксиддисмутазы, непосредственно участвующих в детоксикации свободных радикалов.

Цель работы – изучить роль генов митохондриальной и цитоплазматической супероксиддисмутазы в регуляции продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* в ответ на изменение длины светового дня.

В работе использовали линию дикого типа *Canton-S* в качестве контрольной линии; линию $Sod^{n1}/+$ – гетерозигота с мутацией гена цитоплазматической супероксиддисмутазы(генотип: $Sod^{n1}red^{1}/TM3,Sb^{1}Ser^{1}$) и линию $Sod2/+$ – гетерозигота с мутацией гена митохондриальной супероксиддисмутазы (генотип: $y^{1}\ w^{*};\ Sod2^{Delta02}/CyO$).

Культивирование родительских линий проводили в термостате при температуре 25 °С и стандартном 12-часовом режиме освещения в баночках объемом 100 мл, содержащих 25 мл 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 баночек каждой линии было поделено на три группы. Первая группа исследуемых линий содержалась в условиях стандарт-

Параметры продолжительности жизни особей лабораторных линий дрозофилы *Canton-S*, *Sod*^{n1}/+ и *Sod2/+* при различных режимах освещения

Линия	Пол	Освещение, ч	M	СПЖ	90%	min	max	MRDT	б	R	N
Canton-S	♂♂	12	52	48.3±0.8	60	10	72	6.3	0.109	0.0003	248
		0	52	53.7±0.8	67	10	80	7.1	0.097	0.0003	236
	♀♀	12	59	56.6±0.7	67	11	73	5.4	0.127	0.0001	250
		0	59	59.5±0.6	70	10	84	5.7	0.121	0.0001	220
	♂♂	24	61	54.9±0.8	67	10	67	6.2	0.111	0.0001	291
		0	66*	59.7±0.7	67	10	76	4.8	0.145	0.0001	266
	♀♀	24	58	53.7±0.8	66	10	71	6.4	0.108	0.0002	245
		0	58	54.6±0.8	67	10	74	6.8	0.103	0.0002	286
Sod^{n1}/+	♂♂	12	39	38.3±0.9	50	9	53	5.9	0.118	0.0007	164
		0	46*	44.6±1.0	57	10	70	7.2	0.096	0.0008	161
	♀♀	12	46	41.8±0.8	55	9	66	8.3	0.084	0.0016	246
		0	50*	48.1±0.9	63	10	75	8.1	0.086	0.0008	233
	♂♂	24	36	30.8±0.8	59	6	66	11.7	0.059	0.0089	262
		0	56*	50.8±1.2	66*	6	79	10.1	0.069	0.0012	242
	♀♀	24	36	32.0±0.7	44	6	56	7.3	0.095	0.0029	245
		0	42*	42.1±0.9	58*	6	66	8.5	0.082	0.0016	242
Sod2/+	♂♂	12	36	37.1±1.0	55	4	68	11.6	0.060	0.0045	228
		0	58*	52.2±1.0	70*	9	76	7.8	0.089	0.0005	190
	♀♀	12	57	51.4±1.0	68	5	73	8.4	0.082	0.0007	258
		0	66*	62.3±1.0	76*	9	89	8.0	0.087	0.0002	224
	♂♂	24	36	35.4±1.0	55	4	59	11.0	0.063	0.0047	298
		0	59*	57.1±1.0	70*	9	72	5.9	0.118	0.0001	221
	♀♀	24	62	54.7±1.0	70	6	69	6.3	0.113	0.0001	275
		0	77*	72.2±1.0	89*	6	90	7.6	0.091	0.0001	292

Примечание. Различия статистически значимы: * $p < 0.001$. 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; α и R – параметры уравнения Гомпертца; N – количество особей в выборке. При сравнении медианной продолжительности жизни применяли критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона, а при анализе времени жизни 90% популяции – критерий Ванг-Аллисона.

ного 12-часового освещения при интенсивности 120-130 лк, вторая – при постоянном освещении (24 ч, 120-130 лк), третья – в условиях световой депривации (24 ч темнота, 0 лк). Подсчет числа умерших мух проводили ежедневно (за исключением субботы и воскресенья). Выживших мух еженедельно перемещали на свежую среду.

При содержании особей контрольной линии дикого типа *Canton-S* в условиях стандартного 12-часового режима освещения при интенсивности 120 лк медианная ПЖ не изменялась (см. таблицу), а в условиях круглосуточного режима освещения изменилась только у самцов (снизилась на 8%). В то же время у особей линии *Sod*^{n1}/+ с нарушением фермента цитоплазматической супероксиддисмутазы медианная ПЖ при стандартном режиме освещения снизилась на 15% у самцов и на 8% – у самок; при круглосуточном режиме освещения – на 36 и 14% соответственно. У особей линии *Sod2/+* с нарушением фермента митохондриальной *Sod* медианная ПЖ

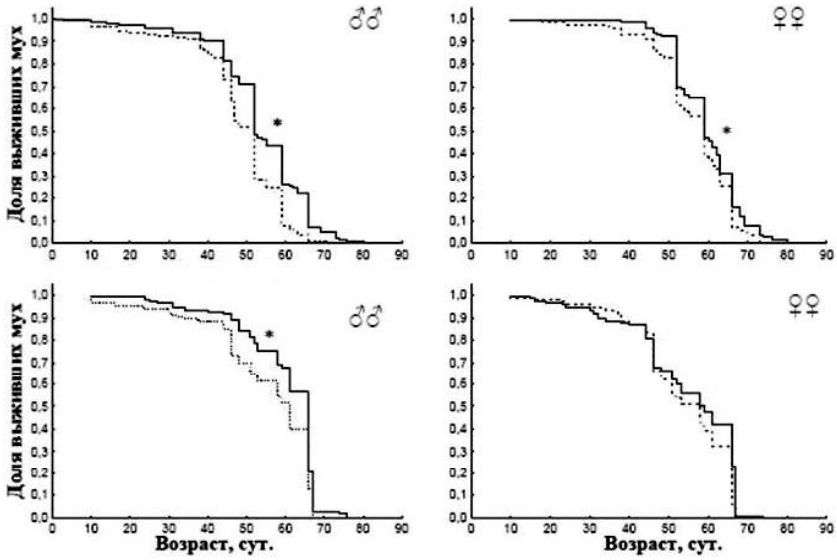


Рис. 1. Кривые выживаемости самцов и самок имаго линии дикого типа *Canton-S* при различных режимах освещения (0, 12, 24 ч).

Здесь и далее: ——— 0 ч; – – – – 12 ч; ····· 24 ч; * различия достоверны при $p < 0.001$ (по критерию Колмогорова-Смирнова).

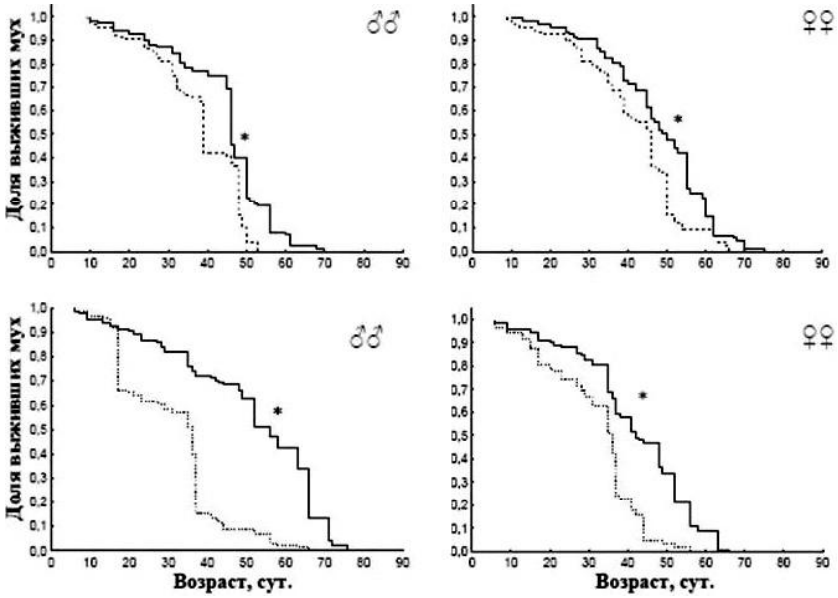


Рис. 2. Кривые выживаемости самцов и самок имаго линии *Sod*^{n1}/+ при различных режимах освещения (0, 12, 24 ч).

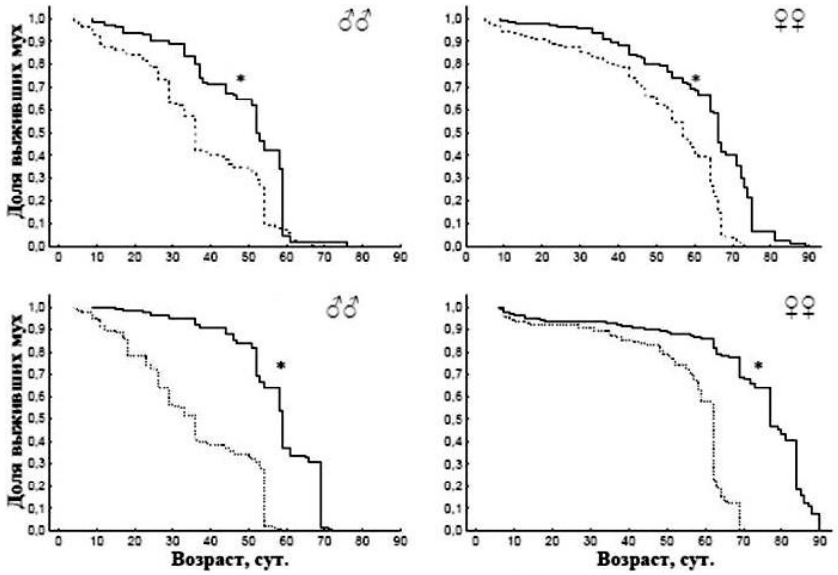


Рис. 3. Кривые выживаемости самцов и самок имаго линии *Sod2*/+ при различных режимах освещения (0, 12, 24 ч).

при стандартном режиме снизилась на 38 % у самцов и на 14 % – у самок; при круглосуточном режиме освещения – на 39 и 19% соответственно. При этом на свету как при стандартном, так и при круглосуточном режимах освещения у особей линии с нарушением в генах *Sod* значительно снижались и другие параметры ПЖ: время 90%-ной гибели особей, средняя и максимальная ПЖ (см. таблицу).

В процессах старения большую роль отводят свободным радикалам, которые крайне реакционноспособны. Основным типом реактивного кислорода в клетке является митохондриальный супероксид, который превращается под действием супероксиддисмутазы в H_2O_2. Каталаза конвертирует его в молекулярный кислород и воду. Таким образом, супероксиддисмутаза является главным защитником клеток от свободных радикалов. Действительно, известно, что у дрозофилы, полностью потерявшей активность Cu/Zn-супероксиддисмутазы, ПЖ снижается на 80% (Staveley et al., 1990), а введение в геном дрозофилы короткоживущей линии дополнительных генов супероксиддисмутазы и каталазы, основных ферментов антирадикальной защиты, приводило к повышению ПЖ (Orr, Sohal, 2003). Недостаток митохондриальной супероксиддисмутазы у дрозофил и мышей также негативно сказывается на ПЖ, тогда как сверхэкспрессия этого гена продлевает ПЖ этих модельных организмов (Honda et al., 2010).

В настоящей работе при постановке экспериментов мы исходили из предположения, согласно которому свет влияет на уровень метаболизма и выработку свободных радикалов вследствие интенсификации двигательной активности и изменения температуры тела дрозофил, поэтому изучили линии дрозофилы с нарушением в генах, непосредственно участвующих в детоксификации свободных радикалов. Согласно нашим результатам, особи линий с нарушением в генах цитоплазматической и митохондриальной *Sod* (линии *Sod*^{n1}/+ и *Sod2*/+) оказались более чувствительными к изменению длины светового дня и имели более выраженную разницу между ПЖ в темноте и на свету по сравнению с линией дикого типа *Canton-S* (см. таблицу, рис. 1-3). Кривые выживаемости особей с нарушением в генах *Sod1* и *Sod2*, содержащихся в условиях постоянной темноты, находятся значительно выше кривых выживаемости особей, содержащихся в условиях стандартного режима освещения, что свидетельствует о замедлении скорости старения особей, содержащихся в постоянной темноте (рис. 2-3). Ранее нами было показано (Москалев, Малышева, 2008), что у линии с мутацией в гене цитоплазматической супероксиддисмутазы также наблюдалось значительное снижение ПЖ в условиях круглосуточного режима освещения, при этом добавление в корм мухам антиоксиданта мелатонина снижало разрыв между ПЖ в темноте и на свету. Та-

ким образом, полученные результаты убедительно свидетельствует в пользу предположения о том, что определяющим фактором снижения продолжительности жизни дрозофил при содержании на свету является увеличение выделения свободных радикалов за счет интенсификации метаболизма, при этом гены цитоплазматической и митохондриальной супероксиддисмутазы играют важную роль в устранении эффектов повреждающего действия света.

Исследования поддержаны грантом Президиума РАН № 12-П-4-1005; грантом Президиума УрО РАН для молодых ученых и аспирантов № 11-4-НП-148.

Литература

Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. СПб.: Наука, 2003. 468 с.

Москалев А.А., Малышева О.А. Роль светового режима в регуляции продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* // Экология, 2009. № 3. С. 221-226.

Москалев А.А., Малышева О.А. Роль генов транскрипционного фактора *dFOXO*, *dSIR2* и *HSP*70 в изменении продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* при различных режимах освещения // Экологическая генетика, 2010. Т. 8. № 3. С. 67-80.

Honda Y., Tanaka M., Honda S. Redox regulation, gene expression and longevity // Gerontol Int., 2010. Vol. 10. P. 59-69.

Orr W.C., Sohal R.S. Does overexpression of Cu, Zn-SOD extend life span in *Drosophila melanogaster*? // Experimental gerontology, 2003. Vol. 38. P. 227-230.

Staveley B.E., Phillips J.P., Hilliker A.J. Phenotypic consequences of copper-zinc superoxide dismutase overexpression in *Drosophila melanogaster* // Genome, 1990. Vol. 33. P. 867-872.

Wang C., Li Q., Redden D.T, Weindruchc R., Allisona D.B. Statistical methods for testing effects on «maximum lifespan» // Mech. Ageing Dev., 2004. Vol. 125, № 9. P. 629-632.

МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ГИПЕРИЦИНА НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧЕННЫХ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.А. Юшкова, Л.К. Рочева[1], О.А. Старцева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
[1] Институт естественных наук Сыктывкарского государственного университета
E-mail: ushkova@ib.komisc.ru

В последнее время ведется активный поиск новых эффективных фармакологических средств, способных повышать общую радиорезистентность организма. Известно (Дубинин, 2001), что традиционные химические вещества (цистеамин, S-аминоэтилизотиороний, серотонин, стрептомицин и др.), снижающие эффекты только острого облучения, обладают кратковременным действием и повышенной токсичностью, вследствие чего они оказались непригодными при хроническом воздействии низких доз облучения.

Проблема химической защиты от эффектов низкоинтенсивного облучения чрезвычайно актуальна. Это обусловлено тем, что радиационные эффекты, возникающие при действии малых доз ионизирующих излучений, не имеют порога, они могут стать причиной аккумуляции цитогенетических нарушений, негативно влияющих на наследственность и выживаемость организмов. Одним из таких препаратов является водорастворимый коллоидный комплекс гиперицина, цитогенетические эффекты которого относительно фракционированного действия низкоинтенсивной радиации были изучены ранее в нашей работе (Юшкова и др., 2011).

Настоящее исследование ориентировано на выявление протекторных свойств водорастворимого коллоидного комплекса гиперицина по отношению к действию хронического облучения разной интенсивности по интегральным показателям выживаемости дрозофилы.

Гиперицин выделен из надземной массы зверобоя *Hipericum perforatum* В.В. Пунеговым (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), дальнейшая его модификация в водорастворимый коллоидный комплекс проведена Г.Г. Зайнуллиным (Институт химии Коми НЦ УрО РАН).

В экспериментах использовали дрозофил дикого типа (*Canton-S*, *Harwich*, *Oregon-R*) и мутантной линии *Sod1*/+ (Sod[n] red[1]/TM, Sb[1] Ser[1]), имеющей нарушения в детоксикации свободных радикалов. Животных содержали одновременно на питательной среде с гиперицином в разных концентрациях (1, 10, 20 и 100 мкМ) и в условиях хронического облучения при мощностях экспозиционной дозы 0.42 и 3.5 мГр/ч. Источником γ-излучения служил ^{226}Ra (56 мГр/ч). Все варианты поддерживали при стандартном режиме освещения (12 ч/сут.) и температуре 25 °С.

Модифицирующее действие гиперицина на жизнеспособность облученных особей дрозофилы оценивали по показателям предимагинальной и имагинальной выживаемости, а также плодовитости самок и уровню повреждений ДНК (при нейтральных условиях электрофореза) в нейробластах личинок дрозофилы.

Полученные результаты свидетельствуют (рис. 1), что хроническое воздействие γ-излучения мощностью 3.5 мГр/ч на животных, культивирование которых проходило на нормальной питательной среде (без добавления гиперицина), вызвало значимое повышение частоты повреждений ДНК у особей линии дикого (*Oregon-R*) и

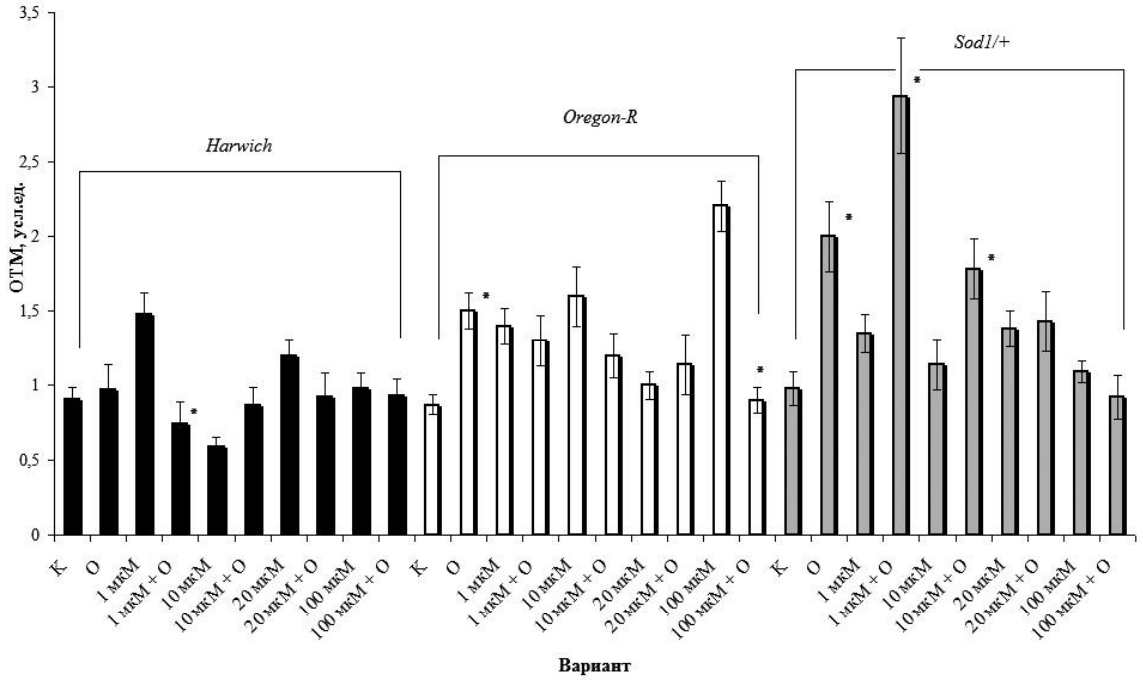


Рис. 1. Частота повреждений ДНК (в нейтральных условиях электрофореза) в нейробластах дрозофил, развивавшихся в условиях воздействия гиперицина и хронического облучения при мощности 3.5 мГр/ч.

мутантного (*Sod*/+) типов. Для *Harwich* линии частота радиационно-индуцированных разрывов ДНК была на уровне контроля. При введении в диету хронически облученных дрозофил тестируемого препарата наблюдали неоднозначные, зависящие от концентрации вещества и генотипических особенностей животных, цитогенетические эффекты. В низких концентрациях (1 мкМ) водорастворимый коллоидный комплекс гиперицина приводил к достоверному снижению частоты повреждений ДНК у импактных животных с нормальным генотипом *Harwich* и *Canton-S* (данные не приведены) независимо от мощности и длительности воздействия γ-излучения.

В отличие от других особей дикого типа для линии *Oregon-R* была характерна повышенная чувствительность к действию препарата, особенно при концентрации 100 мкМ. Однако введение в диету облученных животных 100 мкМ вещества достоверно снижало частоту радиационно-индуцированных ДНК-разрывов не только относительно собственного контроля, но и по сравнению с уровнем повреждений ДНК у особей, развивавшихся в условиях хронического действия радиации и нормальной среде. Подобная реакция была обнаружена и при обработке питательной среды раствором гиперицина в дозе 10 мкМ, но не имело статистического подтверждения ($p > 0.05$). Более того, воздействие исследуемого раствора гиперицина в данных концентрациях увеличивало плодовитость (рис. 2) и предимагинальную выживаемость хронически облученных животных. При этом выживаемость куколок оставалась неизменной. Такой эффект, очевидно, связан с транспозиционной активностью мобильного *hobo*-элемента, содержащегося в генотипе данной линии. Возможно, что гиперицин в определенной концентрации оказывает стимулирующее действие на активность полноразмерных копий *hobo*-элемента, которые способны совместно с ферментами репарации включаться в процесс восстановления индуцированных разрывов ДНК.

У *sod*-мутантов в отличие от дрозофил нормального фенотипа минимальные и медианные концентрации препарата усиливали хроническое действие радиации. С повышением концентрации вещества частота радиационно-индуцированной фрагментации ДНК снижалась, что, очевидно, свидетельствует об ослаблении действия мутации после введения в диету животных препарата в концентрациях выше медианных. По-видимому, гидрофильная форма гиперицина способна проявлять антиоксидантные свойства в случае, когда уровень активности природных антиоксидантов, в частности Cu/Zn, достаточно низкий. Из этого следует, что влияя на интенсивность свободнорадикальных процессов, водорастворимый коллоидный комплекс гиперицина защищает нейроны от гибели.

Выраженное модифицирующее действие гиперицина на имагинальную выживаемость выявлено у особей линии *Canton-S*. Показано, что добавление в корм гиперицина во всех концентрациях повышало выживаемость имаго, содержащихся в условиях хронического облучения при мощности экспозиционной дозы 0.42 мГр/ч. Наибольшую выживаемость хронически облученных животных наблюдали при действии препарата в концентрациях 20 и 100 мкМ. Не исключено, что такое повышение показателя выживаемости обусловлено, как показали экспери-

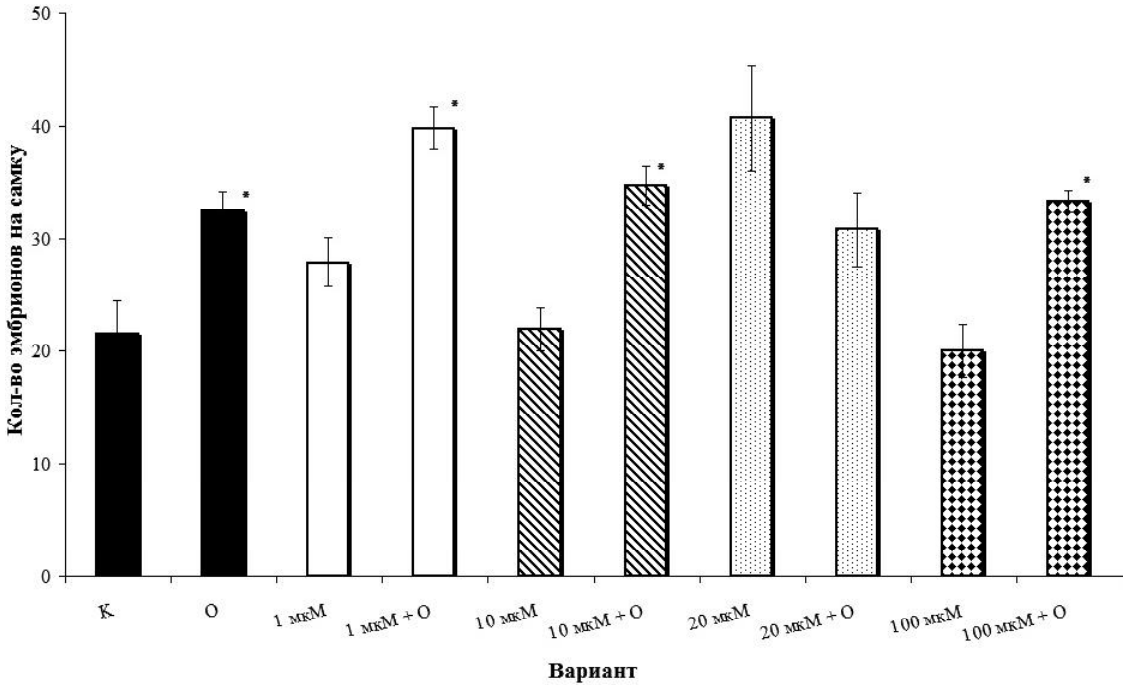


Рис. 2. Сочетанное действие гиперицина и хронического облучения (3.5 мГр/ч) на уровень плодовитости самок линии *Oregon-R*.

менты *in vitro*, способностью гиперицина индуцировать каспаз-зависимую апоптическую гибель клеток в ответ на повреждения ДНК (Ali et al., 2001). Так как линия *Canton-S* отличается наличием в геноме *I*-элементов – гомологов *LINE* ретроэлементов человека (Dimitri et al., 1997), то существенное изменение профиля выживаемости особей данного генотипа мы также связываем с перемещениями *I*-элементов, усиление активности которых после радиационного воздействия сопровождается образованием дополнительных разрывов ДНК. Последние являются инициаторами запуска важных защитных механизмов клетки, включая репарацию, остановку клеточного цикла, апоптоз. Поэтому можно предположить, что гиперицин действует не только по механизму каспаз-зависимого апоптоза, но и через активацию мобильных элементов.

У мутантной линии *Sod1*/+ исследуемое вещество проявляет токсический эффект как без воздействия радиационного фактора, так и при его экспозиции. Реакция на воздействие раствора гиперицина у особей линии *Harwich* была относительно нейтральной.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что водорастворимый коллоидный комплекс гиперицина способен модифицировать эффекты хронического облучения, возникающие у животных после радиационного воздействия. Наряду с цитогенетическим эффектом, гиперицин в зависимости от концентрации обладает антиоксидантной активностью у животных с генетически детерминированным снижением антиоксидантной защиты, а также может влиять на регуляцию уровня транспозиций мобильных элементов. Поскольку гиперицин является мощным фотосенсибилизатором и на свету проявляет высокое генотоксическое действие (Martinez-Poveda et al., 2005), то значимое по отношению к позитивному контролю повышение количества клеток с поврежденной ДНК, возможно, связано со световой активацией препарата. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности проведения исследований, направленных на уточнение механизмов выявленных биологических эффектов гиперицина с учетом его световой и темновой активации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Уральского отделения РАН (№ 12-П-34_2009).

Литература

Дубинин Н.П. Экологическая и космическая генетика. Селекция / Под ред. А.П. Акифьева, И.Ф. Жумилева. М.: Наука, 2001. Т. 3. 437 с.

Юшкова Е.А., Рочева Л.К., Старцева О.А. Реакция нейробластов личинок дрозофилы на совместное действие низкоинтенсивного облучения и гиперицина в разных концентрациях // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XVIII Всерос. молодеж. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 237-239.

Ali S.M., Olivo M., Yuen G.Y., Chee S.K. Induction of apoptosis by Hipericin through activation of caspase-3 in human carcinoma cells // Int. J. Mol. Med., 2001. Vol. 8. P. 521-530.

Dimitri P., Arca B., Beghella L. Hight genetic instability of heterochromatin after transposition of LINE-like *I* factor in *Drosophila melanogaster* // Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 1997. Vol. 94. P. 8052-8057.

Martнnez-Poveda B., Quesada A.R., Medina M.A. Hipericin in the dark inhibits key steps of angiogenesis *in vitro* // Eur. J. Pharmacol., 2005. Vol. 5. № 16. P. 97-103.

Секция 5.
ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

СТРУКТУРА, РОСТ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИСТОСТЕБЕЛЬНОГО МХА *CLIMACIUM DENDROIDES*

К.Ю. Бросова
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: maslova@ib.komisc.ru

Мхи – самая примитивная группа высших растений, произошли около 350 млн. лет назад от первых наземных растений – псилофитов – потомков прибрежных водорослей. Мхи являются доминантами и содоминантами многих растительных сообществ, играют важную роль в циклах углерода и минеральных элементов разных экосистем. Работы по мохообразным посвящены в основном биологии и систематике, в меньшей степени – анатомии, морфологии и физиологии (Шпак, 2008). Принято считать, что эта группа растений характеризуется низкой фотосинтетической активностью, медленным ростом и незначительной биомассой. Важно отметить, что мхи размножаются преимущественно вегетативным путем, так как для полового процесса бриофитам обязательно нужна вода. Вегетативное размножение осуществляется участками слоевищ, стеблей, листьями, а также с помощью столоновидных или корневищноподобных побегов.

Объект исследований – листостебельный мох *Climacium dendroides*. Это крупный древовидный мох, гигромезофит, обитает на болотистых местах, широко распространен в Республике Коми (Железнова, 1994). У *C. dendroides* формируется сложная система ортотропных и плагиотропных побегов, свойственная только этому роду на территории флоры средней части европейской России (Игнатов, Игнатова, 2003). Мы не обнаружили в доступной нам литературе данных по анатомической структуре стебля, росту и продуктивности побеговых систем этого мха. Полагаем, что ортотропные и плагиотропные побеги имеют различия в структуре и метаболической активности, что связано с разной функциональной нагрузкой на эти побеги. Предполагаем, что плагиотропные побеги аналогичны подземным побегам – корневищам сосудистых растений.

Цель работы – сравнительное изучение анатомо-морфологической структуры, роста и метаболической активности ортотропных и плагиотропных побегов листостебельного мха *Climacium dendroides*.

Исследования проводили на территории Радиобиологического комплекса Института биологии Коми НЦ УрО РАН близ г. Сыктывкар в летний период (июнь, июль) в чернично-зеленомошном ельнике. Для изучения накопления биомассы закладывали площадки 0.25×0.25 м^2 в 10-кратной повторности. Изучали морфологические параметры (число, длину побегов), определяли сырую и сухую массу ортотропных и плагиотропных побегов. Для изучения анатомической структуры образцы растений фиксировали в 70%-ном этиловом спирте. Срезы для приготовления временных препаратов выполняли на вибрационном микротоме для мягких тканей, окрашивали метиловым зеленым пиронином, заключали в глицерин и просматривали в микроскопе Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия). Скорость дыхания побегов измеряли по выделению CO_2 при 20 °С с помощью инфракрасного газоанализатора Li-7000 (Licor.Inc, США). Содержание неструктурных углеводов определяли методом ВЭЖХ. Работа выполнена в лаборатории экологической физиологии растений и на базе отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии.

Для растений *C. dendroides* характерно наличие стелющегося подземного побега, от которого приподнимаются вторичные ветвящиеся прямостоячие стебли (Нотов, Спирина, 2002). Гаметофит *C. dendroides* формирует симподиальную систему побегов закрепления (ПЗ). В основании ПЗ образуется плагиотропный участок с ризоидами, который развивается в верхних слоях подстилки. В ортотропной части формируются побеги ветвления (ПВ), а также побеги кущения (ПК) без плагиотропной части.

Число ортотропных побегов у *C. dendroides* составило в среднем 460 шт./м^2. Число побегов на одной особи варьировало от трех до 16 шт.,

из них 25% приходилось на молодые побеги текущего сезона вегетации. Длина ортотропного побега варьировала от 4 до 7 см, плагиотропного – от 7 до 16 см.

Растения климациума накапливали от 8 до 50 г сухой массы/м^2. Сухая масса ортотропных побегов (ассимилирующая + бурая часть) составляла в среднем 16 г/м^2, или 65% общей биомассы. Ассимилирующая и бурая части составили примерно одинаковые доли от надземной биомассы (около 50%). Сухая масса плагиотропных побегов составляла 9 г/м^2, или 35% от общей биомассы.

Анатомическая характеристика стеблей *C. dendroides*

Параметр	Ортотропный	Плагиотропный
Диаметр среза, мкм	693 ± 32	704 ± 38
Толщина покровных тканей, мкм	22.6 ± 2.4	28.4 ± 2.0
Толщина наружной коры, мкм	115 ± 8	89 ± 1.4*
Число рядов клеток	7.3 ± 0.5	5.9 ± 0.1*
Толщина внутренней коры, мкм	179 ± 9	200 ± 15
Число рядов клеток	7.2 ± 0.5	8.2 ± 0.4
Диаметр центрального пучка, мкм	30 ± 3	26 ± 2
Число клеток	9.9 ± 1.3	9.9 ± 1.3

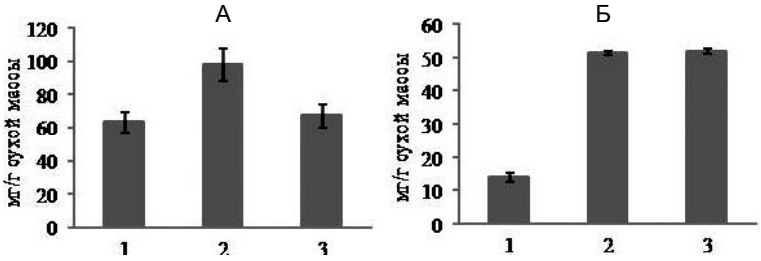
Примечание. * различия между ортотропными и плагиотропными стеблями достоверны при $p \leq 95$.

Изучение анатомической структуры стебля *C. dendroides* показало, что ортотропные и плагиотропные стебли характеризуются единой схемой строения. Стебель состоит из нескольких тканей: покровная – (эпидермис и гиподермис), основная – кора и центральный пучок. Эпидермис состоит из одного-двух слоев мелких, плотно прилегающих друг к другу клеток с утолщенными оболочками. Под эпидермисом просматривается однослойный гиподермис. Основная ткань стебля – кора – состоит из округлых клеток, более мелких по периферии (наружная кора) и крупных – во внутренней своей части (внутренняя кора). При помощи световой микроскопии определили, что наружная кора отличается от внутренней более насыщенным клеточным содержимым, в том числе и пластидами. Число слоев клеток коры составляет от 11 до 17, из них половина приходится на внутреннюю часть (см. таблицу). Центральный пучок состоит из 5-16 однотипных клеток, не дифференцированных на лептоиды и гидроиды, как, например, у кукушкина льна. Диаметр стебля составляет от 0.5 до 0.9 мм и не меняется в зависимости от типа побега. В плагиотропном стебле по сравнению с ортотропным отмечена тенденция к утолщению эпидермиса. Установлено снижение числа рядов клеток наружной коры и увеличение внутренней. Диаметр центрального пучка и число клеток в нем не изменяются у разных побегов. На поперечном срезе ортотропной и плагиотропной частей стебля обнаружены почки возобновления, формирующие пять-восемь листовых примордий.

О метаболической активности органов растений можно судить по скорости дыхания, которое поставляет метаболиты и энергию для роста. Скорость дыхания ортотропных побегов *C. dendroides*, измеренная при 20 °С, была низкой и составляла в среднем 0.5 мг CO_2/г сухой массы ч. По сравнению с ортотропными побегами скорость дыхания плагиотропных побегов была в четыре раза меньше и составляла всего 0.12 мг CO_2/г сухой массы ч. Эта величина в среднем в три раза ниже по сравнению с дыханием корневищ лесных видов сосудистых растений (вороний глаз, грушанка круглолистная, майник двулистный и др.) (Маслова и др., 2010).

Содержание растворимых углеводов в ортотропных побегах было сравнительно высоким и составляло в среднем 23% в сухой массе. Обнаружены моносахариды (фруктоза и глюкоза), дисахариды (сахароза, мальтоза) и олигосахариды (раффинозаоза). Доля моносахаридов от общей суммы углеводов составляла 27%, дисахаридов – 43 и олигосахаридов – 30 (см. рисунок). В отличие от ортотропных побегов, концентрация растворимых сахаров в плагиотропных побегах уменьшалась в два раза. При этом снижалась доля моносахаридов в общей сумме углеводов, а доля олигосахаридов увеличивалась. В результате соотношение моносахариды/дисахариды в ортотропной части составляло 0.7, а в подземной части этот показатель был ниже наполовину.

Таким образом, полученные результаты показали, что ортотропная и плагиотропная части побега *C. dendroides* отличаются по анатомической структуре, накоплению биомассы и физиологической активности. Плагиотропные побеги составляют значительную часть общей биомассы (35%), характеризуются более низкой дыхательной активностью, меньшим содержанием моносахаридов и более высокой долей олигосахаридов, что свидетельствует о запасающей функции этого органа. В отличие от ортотропного стебля в плагиотропном отмечено утолщение покровной ткани – эпидермиса, снижение толщины наружной коры и увеличение толщины внутренней. В целом, листостебельный



Содержание растворимых углеводов в ортотропном (А) и плагиотропном (Б) побегах *C. dendroides*. 1 – моносахариды, 2 – дисахариды, 3 – олигосахариды.

мох *C. dendroides* успешно размножается вегетативным способом при помощи плагиотропных побегов, которые имеют структурное и функциональное сходство с корневищем сосудистых растений.

Литература

Железнова Г.В. Флора листостебельных мхов европейского Северо-Востока. СПб.: Наука, 1994. 149 с.

Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 2. Fontinalaceae – Amblystegiaceae. М.: КМК, 2004. 608 с.

Маслова С.П., Табаленкова Г.Н., Головко 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.

Нотов А.А., Спирина У.Н. О структурной поливариантности системы побегов *Climacium dendroides* // Труды II Международной конференции по анатомии и морфологии растений. СПб., 2002. С. 77-78.

Шпак О.В. Эколого-физиологическая характеристика некоторых видов мхов в Хибинах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2008. 23 с.

СТРУКТУРА И ФОТОСИНТЕЗ ХВОИ *JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD. НА ПРИПОЛЯРНОМ УРАЛЕ

Н.В. Герлинг
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: Gerling1@rambler.ru

На территории Урала перекрываются ареалы двух видов – можжевельника сибирского *Juniperus sibirica* Burgsd. и можжевельника обыкновенного *J. communis* L. (Флора..., 1974). Можжевельник сибирский является евразиатским гипоарктическим видом, распространенным в равнинных и горных тундрах, лесотундре и лесной зоне, особенно в Приуралье (Флора..., 1974). В литературе имеются данные о морфо-анатомической структуре хвои можжевельника сибирского в Хибинах и Карпатах (Долгая, 1937), в условиях интродукции в ботаническом саду Белоруссии (Нестерович, Дерюгина, 1986).

Цель работы – изучение биотопической изменчивости структурных признаков ассимиляционного аппарата, содержания пигментов, фотосинтетической активности хвои можжевельника сибирского, произрастающего на западном макросклоне Приполярного Урала.

Материал для настоящей работы был собран в августе 2009 г. на территории Национального парка «Югыд ва» в верховьях р. Кожим, в бассейне рек Каталамбию (65°11′47.9″ с.ш., 60°55′ 43.9″ в.д.) и Балбанью (65°19′88″ с.ш., 60°39′69″ в.д.). В нижнем течении р. Каталамбию исследование проводили в поясе горных тундр и в лиственнично-еловом чернично-зеленомошном фитоценозе на высоте 496 м над ур.м., расположенном на склоне южной экспозиции. Состав древостоя 7Л3Е. Средняя высота деревьев лиственницы 16 м, ели – 7 м. В среднем течении р. Балбанью исследование проводили в лиственничнике чернично-зеленомошном редкостойном на высоте 750 м над ур.м. и в лиственничноеловом крупнотравном типе леса на высоте 408 м над ур.м., расположенных на склоне с юго-восточной экспозицией. В лиственничнике чернично-зеленомошном высота деревьев лиственницы достигает 14 м, ели – 10 м, состав древостоя 9Л1Е. В лиственнично-еловом крупнотравном типе леса верхний ярус древостоя образован лиственницей, высота деревьев – 13.5 м. В нижнем ярусе произрастает ель. Состав древостоя 6Л5Е.

Для морфометрических исследований отбирали одно-шестилетние побеги можжевельника с пяти кустов. Измеряли длину побега, количество и длину хвои на побеге. Гистологические препараты для анатомических исследований готовили на вибрационном микротоме для мягких тканей (Скупченко, 1979). Для подсчета парциальных объемов основных тканей хвои использовали световой микроскоп «Amplival» (Karl Zeiss, Германия) с экраном-насадкой, на которую нанесена сетка с длиной шага 0.05 мм. Для электронно-микроскопических исследований однолетнюю хвою можжевельников фиксировали в 2.5%-ном растворе глютарового альдегида в течение 4.5 ч, затем в 1%-ном растворе осмиевой кислоты. После дегидратации в серии растворов этилового спирта и ацетона объекты заливались в смолу Эпон. Продольные срезы хвои готовили на ультрамикротоме «Tesla BS 490 A» (Tesla, Чехословакия) и просматривали с помощью электронного микроскопа «Tesla BS 500» (Tesla, Чехословакия). Концентрацию пигментов в ацетоновых вытяжках определяли на спектрофотометре «UV-1700» (Shimadzu, Япония). В таблицах и графиках показаны средние значения со стандартными отклонениями.

Можжевельник сибирский в горах Урала произрастает в двух формах. В форме стланика особи *J. sibirica* встречаются в гольцовом поясе, а в форме куста – в поясе горных тундр и горных лесов. По мере продвижения вверх по склону у можжевельника сибирского на Приполярном Урале снижаются размеры побегов и число хвои на побеге, а охвоенность побегов возрастает (табл. 1). При этом длина хвои изменяется незначительно. В Хибинах длина хвои можжевельника не превышает 4 мм, в Карпатах – 6-8 мм (Долгая, 1937).

В хвое можжевельника сибирского с увеличением высоты склона снижается площадь по-

перечного среза хвои и возрастает толщина покровных тканей (табл. 2). Значительные изменения наблюдаются в парциальных объемах тканей в хвое можжевельника. Так, выше по склону в лиственничнике чернично-зеленомошном редкостойном парциальный объем смоляного канала в 1.5 раза больше, чем в лиственнично-еловом крупнотравном фитоценозе, а парциальный объем мезофилла ниже. По данным Г.М. Козубова (1975), хвоя деревьев в экстремальных условиях произрастания характеризуется хорошо развитой смолоносной системой. Утолщение покровных тканей и увеличение размеров смоляного канала в хвое можжевельника являются признаками приспособления вида к менее благоприятным климатическим условиям в пределах одного склона. У популяций можжевельника сибирского в Хибинах также усиливается развитие покровных тканей и секреторных каналов (Долгая, 1937).

Таблица 1

Морфологические характеристики побегов можжевельника сибирского в хвойных фитоценозах Приполярного Урала

Показатель	Лиственнично-еловый крупнотравный	Лиственничник чернично-зеленомошный
Длина побегов, мм	15.9±0.2	10.2±0.3
Число хвои на побеге, шт.	16.0±0.04	14.6±0.1
Длина хвои, мм	6.9±0.1	6.6±0.1
Охвоенность, шт./мм	1.0±0.2	1.5±0.2

Таблица 2

Анатомические показатели хвои *J. sibirica* в хвойных фитоценозах Приполярного Урала

Показатели	Лиственнично-еловый крупнотравный	Лиственничник чернично-зеленомошный
Площадь поперечного среза хвои, мм^2	0.51±0.07	0.44±0.06
Парциальный объем, %:		
проводящего цилиндра	9.4±0.07	9.2±0.05
смоляного канала	6.6±0.2	10.5±0.2
мезофилла	59.9±0.02	56.7±0.05
покровных тканей	24.0±0.06	23.5±0.05
Толщина эпидермы с кутикулой, мкм	20.4±0.2	18.0±0.1
Толщина гиподермы, мкм	16.0±0.2	20.0±0.2

Установлены различия в ультраструктуре клеток мезофилла хвои можжевельника сибирского, произрастающего в поясе горных тундр и в горнолесном поясе в пределах одного склона. С увеличением высоты склона в клетках мезофилла наблюдается возрастание парциального объема гиалоплазмы с органеллами, но уменьшение межклетников. Не установлены существенные различия в парциальных объемах клеточных оболочек (рис. 1). В пределах одного склона число хлоропластов на срез клетки мезофилла не меняется, однако площадь среза хлоропласта у можжевельника сибирского в горнолесном поясе выше, чем в поясе горных тундр. Часто хлоропласты в клетках мезофилла образуют инвагинации и выросты, за счет чего увеличивается площадь поверхности органелл. Сходные результаты были получены Е.А. Мирославовым с соавторами (1999) на примере травянистых растениях, произрастающих в условиях Крайнего Севера. Другие авторы образование различных выростов и инвагинаций у хлоропластов альпийских видов объясняют увеличением поверхности этих пластид, что облегчает обмен метаболитами между пластидой и цитоплазмой (Lutz, Moser, 1977).

Число митохондрий на срез клетки мезофилла возрастает по мере продвижения вверх по склону от горно-лесного пояса к горным тундрам. По размерам митохондрии можжевельника сибирского не отличаются в пределах склона. По результатам исследования Е.А. Мирославова (1994), у травянистых растений, произрастающих в условиях холодного климата на Крайнем Севере, численность митохондрий возрастает больше, чем численность хлоропластов, с чем согласуются наши данные.

Содержание зеленых пигментов в хвое можжевельника сибирского на Приполярном Урале составляет 1.8-2.5, каротиноидов 0.6-0.7 мг г$^{-1}$ сухой массы. В горнолесном поясе содержание хлорофиллов выше, чем в горных тундрах, а содержание каротиноидов в хвое различается незначительно (рис. 2). Это, вероятно, связано с проявлением защитной функции каротиноидов, когда они сохраняют хлорофилл от разрушения на открытых местах обитания при сильном освещении в поясе горных тундр. Сходная тенденция отмечена ранее у травянистых растений на Приполярном Урале (Головко и др., 2007).

Фотоассимиляция хвои можжевельника сибирского, произрастающего под пологом лиственничного древостоя на Приполярном Урале

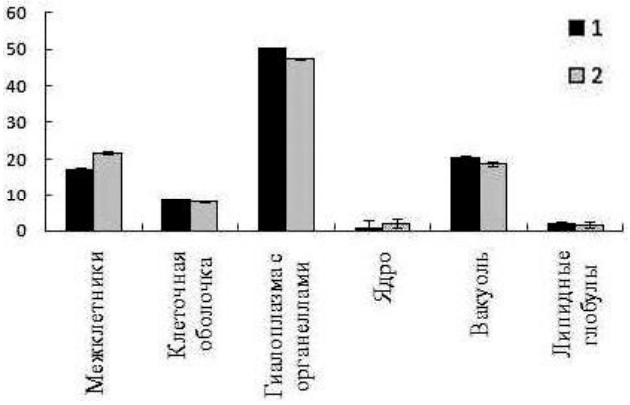


Рис. 1. Парциальный объем клеточных компонентов в мезофилле хвои можжевельника сибирского в поясе горных тундр (1) и в лиственнично-еловом чернично-зеленомошном фитоценозе (2) на Приполярном Урале (%).

Таблица 3

Вариабельность погодных условий и скорости фотосинтеза можжевельника сибирского на Приполярном Урале

Дата	Характер погоды	Температура воздуха, °С		Влажность воздуха, %		Интенсивность ФАР, мкмоль·м$^{-2}$с$^{-1}$		Скорость поглощения CO_2, мкмоль г$^{-1}$с$^{-1}$	
		min	max	min	max	min	max	min	max
9.08.2009	Пасмурно	15.1	18.2	78.5	94.3	162	402	0.028	0.040
10.08.2009	Переменная облачность	14.2	17.6	78.0	96.2	351	1420	0.051	0.073
11.08.2009	Малооблачно	13.2	15.4	77.1	99.5	181	1261	0.040	0.049

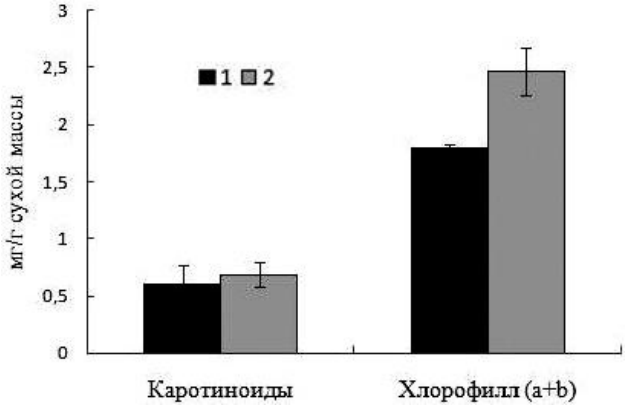


Рис. 2. Содержание пигментов в хвое можжевельника сибирского в горных тундрах (1) и лиственнично-еловом чернично-зеленомошном фитоценозе (2) на Приполярном Урале.

была изучена в августе. Максимальные значения интенсивности поглощения CO_2 выявлены при переменной облачности, температуре воздуха 15-17 °С и влажности 78-96% (табл. 3). Во все дни наблюдения отмечается высокий коэффициент корреляции скорости фотосинтеза хвои можжевельника сибирского с интенсивностью светового потока, поступающего к хвое (R = 0.6-0.9).

Таким образом, у можжевельника сибирского, произрастающего на Приполярном Урале, уменьшение площади хлоропластов в клетках мезофилла, снижение пула пигментов в хвое являются свидетельством увеличения освещенности на открытых местах обитания в верхней части склона. Увеличение охвоенности, уменьшение длины хвои, усиление развития смолоносной системы и покровных тканей связано с воздействием температурного фактора. При оптимальных температуре и влажности воздуха интенсивность поглощения CO_2 увеличивается в зависимости от интенсивности ФАР.

Литература

Флора северо-востока европейской части России. Л.: Наука, 1974. Т. 1. С. 71-73.

Скупченко В.Б. Вибрационная микротомия мягких тканей. Сыктывкар, 1979. 56 с. (Сер. Новые научные методики / Коми фил. АН СССР; Вып. 2).

Козубов Г.М. Некоторые особенности адаптации хвойных к экстремальным условиям Севера // Вопросы адаптации растений к экстремальным условиям Севера. Петрозаводск, 1975. С. 85-104.

Мирославов Е.А., Вознесенская Е.В., Бубло Л.С. Ультраструктурные основы адаптации растений к условиям Крайнего Севера // Проблемы фундаментальной экологии. Экология в России на рубеже XXI века (наземные экосистемы). М., 1999. Т. 1. С. 236-251.

Мирославов Е.А. Структурная адаптация растений к холодному климату // Бот. журн., 1994. Т. 79. № 2. С. 20-26.

Головко Т.К., Табаленкова Г.Н., Дымова О.В. Пигментный аппарат растений Приполярного Урала // Бот. журн., 2007. Т. 92. № 11. С. 1732-1741.

Lutz C., Moser W. Beitrage zur Cytologie hochalpiner Pflanzen. I. Untersuchungen zur Ultrastruktur von *Ranunculus glacial* L. Flora, 1977. 166 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ МЕДИ (II) И НИКЕЛЯ (II) НА ПОЧВЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ

А.И. Фокина, М.С. Жмак, О.Н. Гребенкина, Е.А. Горностаева[1], С.Ю. Огородникова
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: anya_var@mail.ru
[1] Вятская государственная сельскохозяйственная академия
E-mail: g_lentochka@mail.ru

Современный уровень антропогенного воздействия на окружающую среду на одно из приоритетных мест выдвигает задачу очистки экосистем и промышленных сточных вод от различных загрязняющих веществ сравнительно дешевыми, нетрудоемкими и эффективными методами. В последние годы довольно активно проводятся исследования с использованием для этих целей микроорганизмов, обладающих высокой скоростью наращивания биомассы и в то же время устойчивых к различным загрязняющим веществам. К таким организмам относятся и цианобактерии (ЦБ), способные достаточно быстро и в больших количествах накапли-

вать тяжелые металлы (ТМ), в том числе медь и никель, в больших количествах присутствующих в сточных водах гальванических цехов.

Цель работы – на основе многостороннего изучения функциональных особенностей биопленок почвенных цианобактерий с доминированием ЦБ рода *Phormidium* выявить сферы возможного их применения в условиях загрязнения медью и никелем.

Биопленки отобраны из дерново-подзолистой почвы учхоза Вятской государственной сельскохозяйственной академии. Культуру ЦБ предварительно выращивали на жидкой среде Громова № 6 с азотом в течение двух месяцев в люминостате при постоянной температуре (+25 °С) и 12-часовом освещении (3 тыс. лк). Двухмесячные культуры помещали в растворы солей никеля (II) ($NiSO_4 \cdot H_2O$) и меди (II) ($CuSO_4 \cdot H_2O$), а также их смесь в концентрациях ионов металлов 20 мг/дм^3. Исследования культуры и культуральной жидкости проводили через час и через сутки контакта с ионами-поллютантами.

Все определяемые показатели можно разделить на три группы: показатели устойчивости (каталазная активность, интенсивность перекисного окисления липидов, содержание феофетина и хлорофилла *а* в культуре, морфология поверхности клеток); показатели способности ЦБ снижать концентрацию токсикантов в растворе (содержание токсиканта в растворе после контакта с культурой) и показатели, характеризующие одновременно и устойчивость и способность к снижению концентрации токсиканта (количество и качество метаболитов, образующихся в ответ на действие токсикантов, часть из которых отвечает за связывание металлов).

Каталазную активность определяли газометрическим методом (Хазиев, 2005) в модификации для ЦБ. Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в культурах ЦБ анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), образующимся в процессе ПОЛ. За основу была взята методика определения ПОЛ в растительных тканях (Лукаткин, 2002) в нашей модификации. Феофетин и хлорофилл *а* определяли спектрометрическим методом по монохроматической методике. Морфология поверхности клеток была изучена с помощью электронного микроскопа JSM-6510 Scanning Electron Microscope (Дурнев, 2011). Остаточное содержание ионов никеля (II) и меди (II) в растворе определяли методом инверсионной вольтамперометрии на приборе Экотест-ВА с датчиком «Модуль ЕМ-04» (Сборник..., 2004). Качественный состав органических соединений в культуральной жидкости после воздействия токсикантов определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus (Росинский, 2011).

Исследования показали, что ионы меди и никеля усиливают каталазную активность ЦБ: через сутки она в несколько раз выше, чем при часовом воздействии. Это, по-видимому, связано со стимулирующим влиянием стрессовых факторов на организмы, в частности, с усилением работы дыхательной системы, что является своеобразной защитной реакцией организмов на воздействие стрессовых факторов, механизмом их адаптации к экстремальным условиям.

Наибольшее влияние на количество хлорофилла *а* оказывают соли меди, а также смеси солей меди и никеля (рис. 1). В этих же вариантах возрастает количество феофетина (рис. 2), появление которого свидетельствует о разрушении хлорофилла, подавление функционирования культуры ЦБ.

Одновременно с увеличением каталазной активности и количества феофетина через час контакта усиливается ПОЛ (рис. 3), что связано с инициированием поллютантами процессов, вызывающих повреждение клеточных мембран и нарушение функционирования клеток. В дальнейшем интенсивность ПОЛ снижается.

Исследование изменений структурных особенностей ЦБ методом РЭМ показало, что при любой продолжительности контакта с токсикантом структура ЦБ меняется, наблюдается раз-

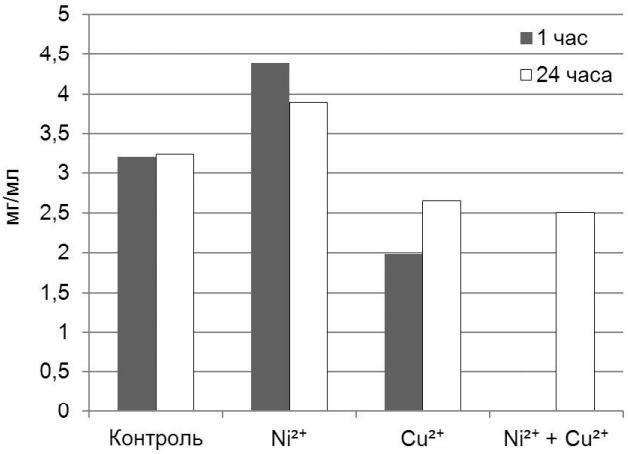


Рис. 1. Содержание хлорофилла *а* в культуре ЦБ.

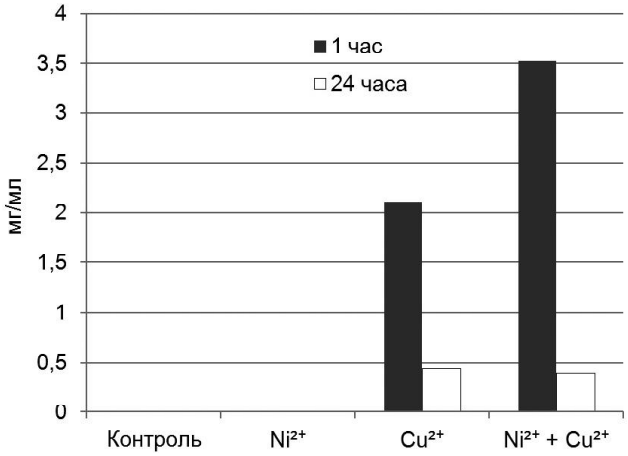


Рис. 2. Содержание феофетина в культуре ЦБ.

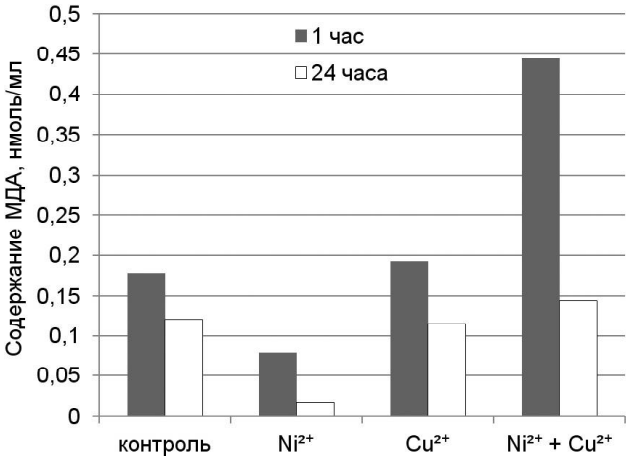


Рис. 3. Перекисное окисление липидов в культуре ЦБ.

рыв связей между компонентами пленки. Так, в отсутствии поллютантов (контрольный опыт) ЦБ «облеплены» бактериями-спутниками (рис. 4а). При воздействии же токсиканта (ионов никеля) связь между ЦБ и бактериями-спутниками ослабевает, бактериии выстраиваются в отдельные, самостоятельные колонии (рис. 4б), что может быть связано с нарушением симбиотических связей.

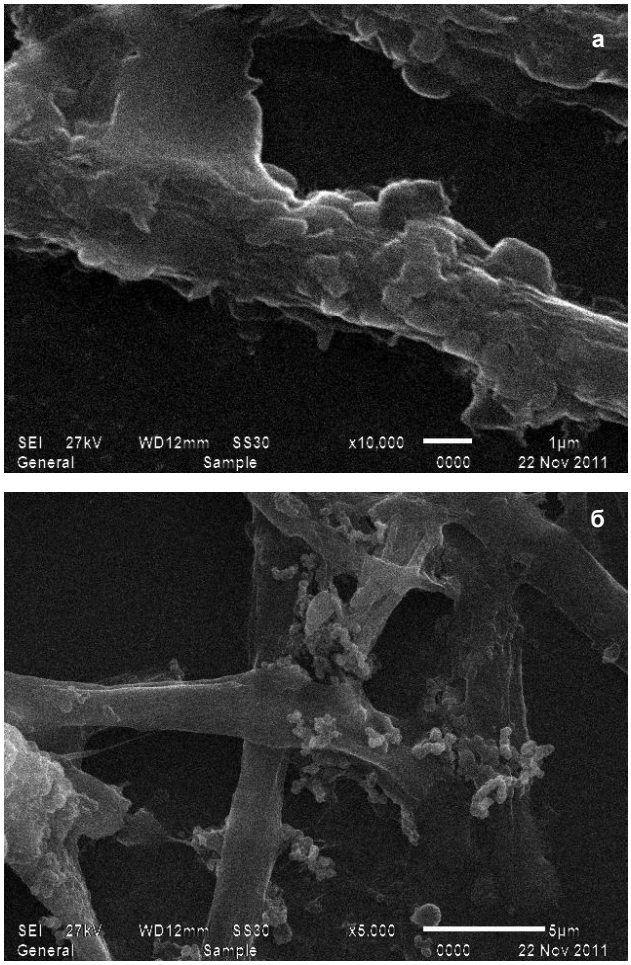


Рис. 4. Изменение структуры ЦБ под воздействием токсиканта: а – контроль, б – в присутствии ионов никеля.

Подобная картина наблюдается и в присутствии ионов меди.

Изучение влияния условий контакта культуры ЦБ с ионами меди и никеля на эффективность очистки растворов от токсикантов показало, что большей способностью снижать концентрацию поллютантов обладают ЦБ в виде гомогенизата в количестве 0.031 г/100 мл раствора продолжительностью контакта 1 ч (на 99% в случае индивидуальных солей и на 96-99% – в их смеси).

Однако через сутки во всех вариантах происходит увеличение концентрации ТМ в растворе (рис. 5). Этому есть две причины. Во-первых, культура адаптируется и выбрасывает часть ионов, поступивших в первое время, из клетки в окружающую среду; во-вторых, повышение содержания металлов в растворе может быть вызвано разрушением клеточных стенок микроорганизмов и, как следствие, выходом ионов в раствор. Могут одновременно оказывать влияние оба фактора, хотя уменьшение феофетина в клетках, ослабление ПОЛ, усиленная каталазная активность и увеличение содержания хлорофилла *а* через сутки контакта указывают все-таки, прежде всего, на адаптацию организмов.

Культуральная жидкость контрольного варианта (без воздействия ТМ) богата различными классами органических соединений. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии в ней обнаружено более 25 различных веществ: кетоны, спирты, карбоновые кислоты, тиолы, предельные и непредельные углеводороды (большинство из них имеют высокую молекулярную массу, более 150 а.е.). При воздействии токсикантов в фильтрате разнообразие соединений резко падает: преобладают азотсодержащие и кетосоединения, практически отсутствуют полярные соединения. Отсутствие последних может быть обусловлено их участием в реакциях связывания ионов никеля (II) и меди (II).

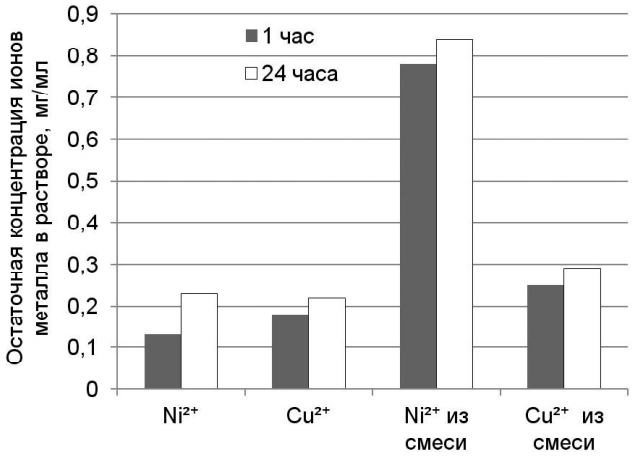


Рис. 5. Влияние продолжительности контакта и присутствия второго иона токсиканта на остаточную концентрацию ионов никеля и меди в растворе.

Таким образом, исследования отклика комплекса почвенных цианобактерий с преобладанием рода *Phormidium*, проведенные с применением различных химических, физических и физико-химических методов, показали, что в растворах солей меди и никеля с концентрацией токсикантов 20 мг/дм^3 биопленка дает существенный отклик по всем определяемым показателям. Выявлена высокая способность биопленки к снижению концентрации ТМ в растворе, что является основой для создания биосорбента. Кроме того, биопленка ЦБ показывает сильный физиолого-биохимический отклик, что является основой для создания биотестера.

Литература

Дурнев Е.А. Электронная микроскопия: Методические указания к лабораторным работам. Киров: Изд-во ВятГУ, 2011. 13 с.

Лукаткин А.С. Холодное повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2002. 208 с.

Росинский А.П., Алалыкин А.А. Газовая хромато-масс-спектрометрия: Методические указания. Киров: Изд-во ВятГУ, 2011. 37 с.

Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. 61 с.

Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (CD, MN) НА ДЫХАНИЕ ДВУХ ВИДОВ ЭЛОДЕИ

Н.С. Клименко, О.А. Кузиванова[1]
Сыктывкарский государственный университет
E-mail: garmash@ib.komisc.ru
[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

С каждым годом возрастает влияние антропогенной деятельности на биосферу. Нарушается стабильность экосистем. Опасными поллютантами являются тяжелые металлы, к которым условно относят химические элементы, обладающие свойствами металлов или металлоидов с атомной массой свыше 50 или удельной плотностью >6 г/см^3. В небольших количествах ТМ необходимы для нормальной жизнедеятельности животных и растительных организмов. Избыток ТМ вызывает окислительный стресс и подавляет важные жизненные функции (Prasad, Hagemeyer, 1999; Титов и др., 2007; Garmash et al., 2011).

Водная среда по условиям обитания относительно постоянна. Есть мнение, что ее стабильность поддерживается в том числе и деятельностью гидрофитов – вторичноводных цветковых растений. Эти виды, прошедшие длительный путь приспособления к водной среде, имеют эффективные механизмы антиоксидантной защиты в ответ на «металлический стресс» (Борисова и др., 2011; Maleva et al., 2009).

Важную роль в устойчивости играют механизмы репарации и/или переключения метаболических путей. Дыхание является интегральным показателем, отражающим состояние метаболизма растений. В отличие от животных дыхательная электрон-транспортная цепь растений содержит помимо основного цитохромного альтернативный путь транспорта электронов (АП) через альтернативную оксидазу (Vanlerberghe, McIntosh, 1997). Это цианидустойчивый энергетически малоэффективный путь дыхания. Полагают, что АП предотвращает перевосстановление пула убихинона, препятствуя образованию АФК (Lambers, Millenaar, 2003; Гармаш, Головко, 2009).

Цель работы – изучение влияния кадмия и марганца на дыхание и соотношение дыхательных путей в листьях двух видов элодеи – *Elodea canadensis* Michx. и *Elodea* (*Egeria*) *densa* Planch. Casp. Для характеристики токсического действия ТМ на растения определяли количество и состав фотосинтетических пигментов, антоцианов и уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Элодея является гидатофитом – полностью погруженным водным растением. Исследования проведены в модельных опытах. Растения собраны из условно чистых водоемов: *E. canadensis* – из искусственного водоема Ботанического сада СГУ, *E. densa* привезена из Чили и любезно предоставлена к.б.н. М.Г. Малевой (кафедра физиологии и биохимии растений Уральского госуниверситета). Растения выращивали в течение пяти суток на 1/2 среды Хогланда. В опытных вариантах в среду добавляли $CdSO_4$ и $MnSO_4$ в концентрации 100 μM. Контролем служили варианты без добавления металла. Cd относится к первому, Mn – к третьему классам токсичности по отношению к окружающей среде (Черных, Овчаренко, 2002). Концентрация металлов выбрана на основе имеющихся в литературе сведений. При данной концентрации металлов элодея проявляет высокую активность антиоксидантных реакций (Maleva et al., 2009).

Известно, что гидатофиты относятся к аккумуляторам ТМ, чему способствует большая поверхность контакта со средой и особенности анатомического строения листа – тонкая листовая пластинка, слабо развитая кутикула, редукция покровных, механических и проводящих тканей. После пяти суток выдерживания на среде с ТМ их концентрация в тканях возрастала на несколько порядков (см. таблицу).

Влияние тяжелых металлов на их содержание и физиолого-биохимические параметры листьев двух видов элодеи

Параметр	*Elodea canadensis*			*Elodea densa*		
	Контроль	100 μM Cd	100 μM Mn	Контроль	100 μM Cd	100 μM Mn
Концентрация металла в тканях, мг/кг	100± 0.19	3800±190*	5200±160*	50±8	3900±20*	2900±90*
МДА, нмоль/г сырой массы	20±1.2	29±1.5*	27±1.7	18±1.5	31±1.0*	26±0.5*
Пигменты, мг/г сухой массы						
хлорофилл *a*	6.8±0.4	3.3±1.4*	7.1±0.5	10.8±0.4	7.8±0.8*	10.3±0.8
хлорофилл *b*	2.7±0.15	1.5±0.6*	3.1±0.3	4.9±0.6	3.8±0.7*	4.7±0.3
Каротиноиды	1.4±0.1	0.75±0.4	2.7±0.3	2.4±0.2	2.1±0.1	2.5±0.4
Антоцианы, г/г сухой массы	60±0.9	77±0.7*	85±3.5*	75±1.0	125±3.5*	145±2.5*
Общее дыхание: нмоль O_2 /г сырой массы мин.	341±10	473±11*	393±6	180±11	209±6*	211±7*
Доля альтернативного дыхания, % от общего дыхания	10	25	25	20	35	35

Примечание. * отличия от контрольных растений достоверны при $p \leq 0.05$.

ТМ вызывают повышенное накопление активных форм кислорода (АФК), которые повреждают жизненно важные биополимеры и мембраны (Dietz et al., 1999). Судя по накоплению ТБК-реагирующих продуктов, у обработанных ТМ растений активность ПОЛ повышалась в 1.5 раза (см. таблицу). Это свидетельствует об окислительном стрессе и нарушении про-/антиоксидантного равновесия в тканях.

Негативное влияние ТМ на фотосинтез в первую очередь связано с заменой ионов Mg в молекуле хлорофилла на катион соответствующего металла, что ведет к разрушению зеленых фотосинтетических пигментов (Prasad, Strzalka, 1999). Cd вызывал почти двукратное уменьшение концентрации хлорофиллов (см. таблицу). Mn в заданной концентрации не оказывал заметного влияния на содержание зеленых пигментов. Известно, что поливалентные металлы легче связываются в комплексы с органическими макромолекулами (например, полифенольными соединениями), выполняющими защитную барьерную роль в клетке (Костюк, Потапович, 2004). Содержание каротиноидов было более стабильно к действию ТМ, что, скорее всего, связано с их антиоксидантной ролью (Prasad, Strzalka, 1999).

Интересно, что при действии ТМ увеличивалось содержание антоцианов. Антоцианы, относящиеся к полифенольным соединениям, причисляют к неферментным антиоксидантам (Hatier, Gould, 2008). Механизм их действия в клетке до конца не изучен. Они могут рассматриваться и как соединения, защищающие антиоксидантные ферменты, и как молекулы, нейтрализующие АФК и как сигналлинговые молекулы.

По дыхательной способности *E. canadensis* превышала *E. densa* вдвое (см. таблицу). Это можно связать с различными экспериментальными условиями. Опыты с *E. canadensis* проводили в летний период во время ее интенсивного роста. Эксперименты с *E. densa* проведены в зимний период. Кроме того, перенос *E. densa* в новые для роста условия, по-видимому, негативно отразились на метаболизме.

Мы проанализировали влияние металлов на дыхание – его интенсивность была достоверно выше по сравнению с контрольными на 15-20%.

Усиление дыхания происходило в основном за счет увеличения активности АП. Виды элодеи различались по доли АП в общем дыхании (см. таблицу). Опытные растения проявляли большую чувствительность к ингибитору АОХ – салицилгидроксамовой кислоте. Увеличение доли АП происходило на фоне интенсификации процессов ПОЛ. Это указывает на антиоксидантную функцию АП в защите клеток от окислительного стресса, вызванного действием ТМ.

В настоящее время интенсивно обсуждается гипотеза о метаболической связи АП с синтезом антоцианов при стрессе. В частности, получены данные о коэкспрессии генов альтернативной оксидазы и генов ключевых ферментов флавоноидного пути в арабидопсисе при низкотемпературном стрессе (Umbach et al., 2005). В нашем эксперименте активация АП соответствовала увеличению синтеза антоцианов (см. таблицу). Это указывает на существование строго регулируемой сигнальной сети в клетке, направленной на усиление антиоксидантной ответной реакции растений на стресс.

Таким образом, оба вида элодеи проявляли качественно сходные ответные реакции на действие ТМ:

1. Листья растения имеют высокую способность к аккумуляции ТМ, что, вероятно, обусловлено их высокой степенью контакта с водной средой и особенностями анатомического строения.

2. Концентрация хлорофиллов под действием Cd уменьшалась на 30-40% по сравнению с контролем. Каротиноиды как стресс-протекторные пигменты были более устойчивы к действию Cd. Mn в концентрации 100 μM не повлиял на пигментный комплекс растений.

3. Листья обработанных ТМ растений дышали интенсивнее и проявляли большую чувствительность к ингибитору АП, чем контрольные

растения. Вовлечение АП происходило на фоне активации процессов перекисного окисления липидов, что указывает на антиоксидантную роль АП при стрессе ТМ.

4. Под действием ТМ увеличение содержания неферментных антиоксидантов – антоцианов – соответствовало активации АП, что указывает на связь путей их синтеза при стрессе ТМ.

Работа поддержана проектом УрО РАН 12-У-4-1008.

Литература

Борисова Г.Г., Кислицина М.Н., Малева М.Г., Чукина Н.В. Изменение структурно-функциональных характеристик элодеи при загрязнении водной среды // Водное хозяйство России, 2011. № 5. С 42-50.

Гармаш Е.В., Головко Т.К. Влияние кадмия на рост и дыхание ячменя при двух температурных режимах выращивания // Физиология растений, 2009. Т. 56. С. 382-387.

Костюк В.А., Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск: БГУ, 2004. 174 с.

Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 172 с.

Черных Н.А., Овчаренко М.М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. М.: Агроконсалт, 2002. 200 с.

Dietz K.-J., Baier M., Kramer U. Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants // Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. Berlin: Springer, 1999. P. 73-97.

Fiorani F., Umbach A.L., Siedow J.N. The alternative oxidase of plant mitochondria Is involved in the acclimation of shoot growth at low temperature. A study of Arabidopsis AOX1a transgenic plants // Plant Physiology, 2005. Vol. 139. P. 179-180.

Garmash E., Skugoreva S., Golovko T. Plant Responses to Cadmium and Mercury Stress // Handbook of Plant and Crop Stress. 3d Edition. New-York: Marcel Dekker, Inc., 2011. P. 713-732.

Hatier J.-H., Gould K.S. Foliar anthocyanins as modulators of stress signals // Journal of Theoretical Biology, 2008. Vol. 253, P. 625-627.

Maleva M.G., Nekrasova G.F., Malec P. et al. Ecophysiological tolerance of *Elodea canadensis* to nickel exposure // Chemosphere: environmental toxicology and risk assessment, 2009. Vol. 77. Issue 3.

Millenaar F.F., Lambers H. The alternative oxidase: *in vivo* regulation and function // Plant Biol., 2003. Vol. 5. P. 2-15.

Prasad M.N.V., Hagemeyer J. Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems. Berlin-Heidelberg-New-York: Springer Verlag, 1999. P. 401.

Prasad M.N.V., Strzalka K. Impact of heavy metals on photosynthesis // Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 117-138.

Vanlerberghe G.C., McIntosh L. Alternative oxidase: from gene to function // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1997. Vol. 48. P. 703-734.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СРЕДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДОВ И УРОВЕНЬ ЛИПОПЕРОКСИДАЦИИ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ *PLANTAGO MEDIA* L.

Е.В. Коковкина
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: Kokowkina@ib.komisc.ru

В течение жизненного цикла растения подвергаются воздействию различных факторов внешней среды. Соответствие метаболизма климату – один из основных критериев, определяющих географическое распространение видов. Особую роль в адаптации растений играют липиды. Они являются основными компонентами мембран и служат запасным веществом клетки. Структурные и динамические характеристики липидного матрикса биологических мембран могут меняться под влиянием различных экологических факторов (Mazliak, 1977; Kuiper, 1985).

Цель работы – изучить содержание липидов и активность липопероксидации в листьях растений подорожника среднего на Южном Тимане в связи с адаптацией к условиям обитания.

*Plantago media*L. – многолетнее травянистое растение сем. Plantaginaceae. Данный вид является типичным растением таежной зоны голарктического бореального пояса (Флора..., 1976). Ареал этого вида охватывает Европу, Сибирь, Переднюю и Среднюю Азию.

Исследования проводили в первой половине июля 2007, 2009 и 2010 гг. на территории ботанического заказника «Сойвинский» (близ пос. Нижняя Омра). По данным Коми республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, вегетационные периоды разных лет отличались по погодным условиям (табл. 1).

Опытные растения произрастали на слабо заросшем склоне юго-восточной экспозиции и на террасе в густом травостое. Измерения температуры, освещенности и относительной влажности воздуха в местах произрастания проводили с помощью портативной метеостанции (Data Logger LI-1400, USA). Микроклиматические условия на склоне характеризовались более высокими дневными температурами, пониженной влажностью воздуха и более высоким уровнем освещенности на протяжении фотопериода по сравнению с условиями в густом травостое.

Растения находились в фазе цветения.Для анализа листья растений отбирали рано утром, в полуденное и вечернее время по одному со

Таблица 1

Погодные условия в период проведения опытов (I декада июля)

Показатели	2007 г.	2009 г.	2010 г.
Средняя за декаду температура воздуха, °С	23	11	16
Сумма осадков, мм	18	50	7
Относительная влажность воздуха, %	75	77	67
Число часов солнечного сияния	97	47	102

средней части розетки 15-25 растений. Выделение общих и нейтральных липидов проводили методом экстракции из сухого материала. Фосфолипиды осаждали охлажденным ацетоном из смеси общих липидов. Уровень перекисного окисления липидов оценивали по накоплению в листьях ТБК-реагирующих продуктов.Образование супероксид-аниона определяли спектрофотометрически на приборе UV-1700 («Shimadzu», Япония) по изменению абсорбции при реакции с нитросиним тетразолием (Chaitanya, Naithani, 1994). Содержание растворимых белков определяли по методу Bradford (1976), свободного пролина – по Bates et al., (1973), фенольных соединений – методом Фолина-Дениса.

Установлено, что содержание и соотношение липидов изменялось в зависимости от условий произрастания, времени суток и погодных условий вегетационного периода.

Сумма липидов (ОЛ) в листьях световых растений в сухой, но достаточно влажный сезон 2007 г. была на 30% выше, чем в листьях теневых растений, в основном за счет накопления нейтральных липидов (НЛ) (табл. 2). Содержание НЛ у растений со склона было выше и их количество достоверно снижалось к вечеру. В прохладный и дождливый период 2009 г. количество ОЛ было существенно выше в листьях растений, произрастающих в густом травостое, а НЛ в листьях растений, обитающих на склоне. В теплый сезон 2010 г. листья световых растений на склоне накапливали максимальное количество ОЛ в вечернее время, а листья теневых растений больше ОЛ содержали утром.

При анализе жирнокислотного состава листьев подорожника среднего были идентифицированы кислоты: среди насыщенных жирных кислот (НЖК) – С16:0 и С18:0 (пальмитиновая и стеариновая), среди мононенасыщенных – С16:1и С18:1 (пальмитолеиновая и олеиновая), среди диеновых – С18:2 (линолевая), среди триеновых – С18:3 (линоленовая). В составе высших жирных кислот доминировали пальмитиновая и линоленовая кислоты. Повышение температуры воздуха приводило к накоплению в листьях растений насыщенных жирных кислот (НЖК), что в свою очередь снижало текучесть мембран (табл. 3).

Выявлены достоверные различия между световыми и теневыми растениями по накоплению супероксид-аниона и ТБК-реагирующих продуктов. Количество супероксид-аниона было максимальным в листьях световых растений, причем к вечеру его содержание повысилось на 38%, тогда как в листьях теневых растений содержание супероксид-аниона снизилось на 4% (см. рисунок).

Накопление ТБК-реагирующих продуктов зависело от температурных и световых условий произрастания растений (табл. 4). Судя по накоплению ТБК-реагирующих продуктов, активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) была выше в три-пять раз в теплый и сухой сезон по сравнению с влажным и холодным. Уровень ПОЛ был выше у растений на склоне. В обоих местообитаниях подорожника максимальные значения ПОЛ в листьях регистрировали в полуденные и послеполуденные часы.

Содержание свободного пролина и фенольных соединений может выступать в качестве дополнительной оценки функционального состояния растений подорожника на участках с разным световым довольствием. Нами не выявлены существенные различия в содержании пролина в листьях световых и теневых растений. Концентрация его в листьях растений со склона составляла 1.9-2.1 мг/г сухой массы в утренние и вечерние часы. У растений, произрастающих в густом травостое, содержание пролина равнялось 2.3 мг/г сухой массы. Защитное действие пролина связано с его способностью стабилизировать белки и белково-липидные комплексы мембран (Кузнецов, Шевякова, 1999). Листья растений подорожника на склоне и террасе характери-

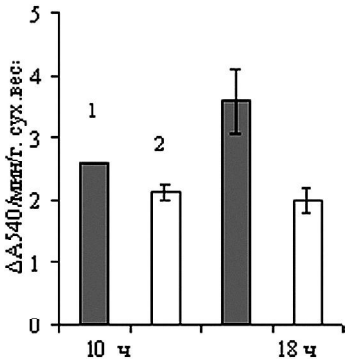
Таблица 2

Содержание общих (ОЛ), нейтральных (НЛ) и фосфолипидов (ФЛ) в листьях растений *Plantago media*

Показатель	Склон			Терраса		
	Время, ч					
	4-6	12-14	21-23	4-6	12-14	21-23
			2007 г.			
ОЛ	89.5±3	74.8±1.7	44.3±1.2	52.6±0.4	64. ±3.2	42.1±0.5
НЛ	43.9±0.1	30.4±0.9	17.4±0	16.8±0.4	16.8±0.4	13.1±0
ФЛ	13.5±0.2	4.2±1.3	1.9±0.5	12.1±0.1	14.7±0.9	11.0±0
			2009 г.			
ОЛ	101.2	95.2	Не опред.	160.0	100.0	Не опред.
НЛ	44.0	33.2	Не опред.	25.1	23.6	Не опред.
ФЛ	8.7	10.6	Не опред.	5.3	5.2	Не опред.
			2010 г.			
ОЛ	85.4±3.3	108.1±1.9	151.1±1.1	144.1±1.5	103.9±0.3	111.9±8.5
НЛ	10.5±1.1	13.3±2.6	13.4±0.9	11.6±0.2	12.1±1.3	13.0±2.2
ФЛ	32.1±0.3	74.8±2.9	74.8±2	16.5±0.7	12.4±0.5	11.2±1.9

зовались сравнительно низким содержанием растворимых белков (около 1%).

Листья растений на склоне содержали 86 мг/г сухой массы фенольных соединений, что на 19% выше по сравнению с листьями растений в травостое. Существует прямая связь между содержанием фенольных соединений и антирадикальной активностью (АРА). Выявлено, что величина АРА листьев световых растений была выше, чем теневых. Таким образом, фенольные соединения могут служить одним из способов защиты от избыточной инсоляции.



Содержание супероксид-аниона в листьях световых (1) и теневых (2) растений *Plantago media.*

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что микроклиматические и погодные условия существенно влияли на содержание липидов, высших жирных кислот и уровень липопероксидации в листьях световых и теневых растений *Plantago media*. Увеличение числа часов солнечного сияния и температуры воздуха оказывало положительное влияние на содержание ФЛ, тогда как на содержание НЛ – отрицательное. Как известно, НЛ служат одним из наиболее важных энергетических источников клетки, ФЛ являются главными компонентами плазмалеммы и эндомембран. Тот факт, что на склоне листья растений содержали больше НЛ и их количество снижалось к вечеру, может свидетельствовать о том, что растения использовали НЛ в качестве энерго-пластического материала и для обновления липидов мембран. Различия в активности ПОЛ между листьями световых и теневых растений были сильнее выражены в теплый сезон, чем в холодный и влажный. По-видимому, листья растений на склоне испытывали стресс от избыточной радиации и высокой температуры. Изменения соотношения НЖК/ ННЖК отражают процессы адаптации и обусловлены важной функциональной характеристикой мембран, связанной с их текучестью.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о роли липидов листьев в адаптации фотосинтетического аппарата к условиям обитания растений.

Таблица 3

Содержание насыщенных (НЖК) и ненасыщенных (ННЖК) жирных кислот в листьях *Plantago media*, % от суммы

Показатель	Склон			Терасса		
	Время, ч					
	4-6	12-14	21-24	4-6	12-14	21-24
			2007 г.			
НЖК	39.4	37.3	32.0	29.3	30.3	37.2
ННЖК	60.5	62.6	67.9	70.6	69.7	62.8
			2009 г.			
НЖК	28.5	23.2	24.4	24.7	26.2	26.6
ННЖК	71.5	76.8	75.6	75.2	73.7	73.4
			2010 г.			
НЖК	31.7	30.3	Не опред.	68.3	69.7	Не опред.
ННЖК	31.9	32.1	Не опред.	68.1	70.0	Не опред.

Таблица 4

Влияние условий произрастания растений на уровень ТБК-реагирующих продуктов в листьях *Plantago media*, мкмоль/г сухой массы

Популяция	Время отбора проб, ч		
	4-6	12-14	21-23
		2007 г.	
Склон	11.2±0.5	30.2±2.7	18.8±1.4
Терраса	10.9±0.6	22.1±1.6	13.23±1.7
		2009 г.	
Склон	не опред.	3.3±0.3	5.8±0.6
Терраса	не опред.	3.6±0.5	5.0±0.5
		2010 г.	
Склон	15.0±1.4	20.7±3.2	20.3±4.4
Терраса	10.0±2.3	15.7±2.7	9.3 ±1.5

Примечание: * – различия статистически значимы при $P \leq 0.05$.

Литература

Флора северо-востока европейской части СССР. Т IV. Семейство Umbelliferae – Compositae / Под ред. А.И. Толмачева. Л.: Наука, 1976.

Кузнецов Вл.В., Шевякова Н.И. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция // Физиология растений, 1999. Т. 46. № 2. С. 321-336.

Bradford M.M. A Rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of proteins utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem., 1976. Vol. 72. P. 248-254.

Bates L.S., Walderen R.D., Taere I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant Soil., 1973. Vol. 39. P. 205-207.

Chaitanya K.S.K., Naithani S.C. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss of viability in seeds of *Shorea robusta* Faertn. New Phytol., 1994. Vol. 126. P. 623-627.

Kuiper P.J.C. Environmental changes and lipid metabolism in higher plants // Plant Physiol., 1985. Vol. 64. P. 118-122.

Mazliak P. Glyco- and phospholipids of biomemranes in higher plants // Lipids and lipid polymers in higher plants / Ed. M.T. Lichtenthaler. Berlin: Springer-Verlag, 1977. P. 48-72.

ВЫДЕЛЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КАРОТИНОИДСОДЕРЖАЩИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПЛОДОВ МОРОШКИ И ЧЕРНИКИ

О.А. Кузиванова, Е.А Лашманова*
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: Kuzivanova@ib.komisc.ru
* Сыктывкарский государственный университет

Регулярное употребление дикорастущих ягод в пищу полезно для сохранения здоровья человека. Протекторные свойства ягод обусловлены содержанием в них значительных количеств веществ, обладающих антиоксидантными свойствами. Каротиноиды – вещества терпеноидной природы – являются эффективными тушителями синглетного кислорода, защищают мембраны и другие клеточные структуры от окислительного повреждения, являются протекторами зрения, препятствуют развитию рака и сердечно-сосудистых заболеваний (Krinsky, 1993; Lila, 2004). Рекомендуемое для человека потребление каротиноидов составляет примерно 700-900 мкг/сут. Несмотря на важность включения в диету человека растительной продукции, обеспечивающей поступление необходимого количества каротиноидов, их состав и содержание во многих продуктах, и особенно в дикорастущих ягодах, остаются мало исследованными.

Цель работы – выделить и изучить химический состав каротиноидсодержащих экстрактов из плодов морошки и черники для оценки содержания биологически активных веществ.

Объектами исследования служили плоды дикорастущих видов растений – морошки приземистой и черники обыкновенной. Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) – многолетнее травянистое длиннокорневищное растение семейства Розоцветные. По имеющимся в литературе данным, биологические запасы ягод морошки в таежной зоне Республики Коми составляют около 27.5 тыс. т. (Лесное хозяйство..., 2000). Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) – листопадный кустарничек из семейства Вересковые. Биологические запасы ягод черники в таежной зоне Республики Коми составляют около 113 тыс. т (Лесное хозяйство..., 2000). Ягоды изученных видов широко используются населением в пищу и в народной медицине.

Сбор материала проводили в период созревания плодов, в августе. Образцы зрелых ягод замораживали и хранили при –76 °С. Экстракцию каротиноидов осуществляли ацетоном из лиофильно высушенных плодов. Полученный экстракт отделяли от твердой фазы методом фильтрации. Фильтрат высушивали, пропуская через него газообразный азот. Высушенные экстракты объединяли.

Из 90 г лиофильно высушенных плодов морошки нами было получено 2.25 г экстракта, а из 105 г плодов черники – 5.93 г.

Определение каротиноидов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с обращенной фазой («KNAUER», Германия) при длине волны 440 нм. Для сравнения был проведен анализ плодов с помощью модифицированной нами ранее методики (Кузиванова и др., 2011). Содержание растворимых углеводов определяли в спиртовом растворе ацетоновых экстрактов методом нормальнофазовой ВЭЖХ с рефрактометрическим детектором. В экстрактах помимо каротиноидов и углеводов также были изучены антоциановые пигменты, общие липиды, фенолы и определена антирадикальная активность. Определение суммарного содержания растворимых фенольных соединений проводили спектрофотометрическим методом по общепринятой методике с использованием реактива Фолина-Дениса. Сумму общих липидов определяли гравиметрическим методом, растворяя экстракт в смеси хлороформ-метанол (Кейтс, 1975). Антирадикальную активность определяли общепринятой методикой с применением дифенилпикрилгидразила (ДФПГ) для растворов экстрактов в метаноле.

По разработанной нами методике пробоподготовки были получены хроматограммы пигментов, извлеченных из плодов морошки и черники. При анализе хроматограмм были идентифицированы β-каротин (β-кар) и ксантофиллы: неоксантин (Нео), виолаксантин (Вио), антераксантин (Ант), лютеин (Лют) и зеаксантин (Зеа). В несапонифицированном экстракте плодов морошки также присутствовали неидентифицированные компоненты – сложные эфиры жирных кислот гидрокси-каротиноидов (β-крипсоксантина, зеаксантина и лютеина) и эпоксикаротиноида (виолаксантина).

Хроматографический анализ показал, что плоды морошки и черники отличались по содержанию индивидуальных каротиноидов (табл. 1). Так, в зрелых плодах морошки превалировал β-каротин. Содержание других каротиноидов было на один-два порядка ниже. По сравнению с морошкой плоды черники содержали существенно меньше β-каротина, но гораздо больше лютеина. На долю лютеина в плодах черники приходилось свыше 70% ксантофиллов. В сумме концентрация каротиноидов в плодах черники была на порядок ниже, чем у морошки.

По сравнению с плодами (табл. 1) в экстракте морошки (табл. 2) суммарная концентрация каротиноидов была выше в 16 раз, в экстракте черники (табл. 2) массовая доля каротиноидов увеличилась на порядок. При этом в экстракте, как и в плодах морошки, превалировал β-каро-

тин, а экстракт плодов черники содержал больше лютеина. В несапонифицированном экстракте морошки доля сложных эфиров жирных кислот каротиноидов составляла 88%.

Исследования химического состава экстрактов плодов выявили, что кроме каротиноидов в них содержались растворимые сахара, липиды и фенолы (табл. 3). Массовая доля углеводов в экстракте из плодов морошки почти вдвое превышала таковую черники. Различия в содержании липидов были менее выражены, их массовая доля составляла в среднем около 50%. Экстракт из плодов морошки содержал больше фенолов, чем из плодов черники, где в небольшом количестве присутствовали антоцианы – вещества фенольной природы. Они накапливаются в вакуолях и обеспечивают окраску плодов черники. Помимо этого, наряду с фенолами, антоцианы выполняют защитную антирадикальную функцию.

Реакционная способность и антирадикальная активность фенольных соединений обусловлены наличием в их структуре ароматических колец и свободных гидроксильных групп. Благодаря высокому содержанию каротиноидов и присутствию фенолов экстракты морошки обладают полезной биологической активностью.

Согласно полученным нами данным, антирадикальная активность метанолового раствора экстракта из плодов морошки равнялась 4900 мг экстракта/г ДФПГ и была вдвое выше экстракта черники (12300 мг экстракта/г ДФПГ).

ВЭЖХ-анализ состава сахаров показал, что экстракты плодов морошки и черники содержали преимущественно моносахара – фруктозу и глюкозу (табл. 4). Массовая доля сахарозы была в экстракте из плодов морошки не превышала 1.5%, черники – около 4%.

Таким образом, нами подобраны оптимальные условия для извлечения каротиноидов из плодов дикорастущих ягод, выполнено хроматографическое разделение каротиноидов, проведен анализ химического состава экстрактов из ягод морошки и черники. Выявлено, что биологическая ценность экстрактов из ягод морошки обусловлена высоким содержанием β-каротина и фенолов. В экстрактах черники антиоксидантная защитная система представлена такими биологически активными соединениями, как лютеин и антоцианы.

Таблица 1

Содержание каротиноидов в плодах морошки и черники

Вид		Нео	Вио	Ант	Лют	Заек	β-кар	Σ эфиров	Σ каротиноидов
Морошка	ω	0.2	0.13	0.21	0.5	4.1	23.2	221	249.34
	S (ω)	0.01	0.03	0.03	0.15	0.46	2.03	33.55	2.09
Черника	ω	0.8	1.01	0.49	15.22	0.2	3.65	–	21.37
	S (ω)	0.13	0.2	0.07	2.01	0.03	0.4	–	2.06

Примечание. Здесь и в табл. 2 Σ эфиров – сумма сложных эфиров жирных кислот каротиноидов; ω – массовая доля каротиноидов, мкг/г; *S* (ω) – стандартное отклонение массовой доли каротиноидов, мкг/г.

Таблица 2

Содержание каротиноидов в экстрактах плодов морошки и черники

Вид		Нео	Вио	Ант	Лют	Заек	β-кар	Σ эфиров	Σ каротиноидов
Морошка	ω	1.41	1.15	1.15	15.1	70.51	311.48	3662.03	4062.83
	S (ω)	0.13	0.18	0.1	0.05	1.24	3.3	74.56	3.53
Черника	ω	1.37	1.82	1.27	125.0	23.24	67.24	–	219.92
	S (ω)	0.07	0.1	0.07	18.1	0.21	0.2	–	18.11

Таблица 3

Химический состав экстрактов плодов морошки и черники

Показатели, %	Морошка	Черника
ω (каротиноиды)	0.406	0.022
ω (сумма углеводов)	51.2	27.0
ω (антоцианы)	–	0.11
ω (общие липиды)	41.3	53.4
ω (фенолы)	9.0	1.5

Таблица 4

Массовая доля (ω) растворимых углеводов в экстрактах плодов морошки и черники, мг/г

Плоды	Фруктоза	Глюкоза	Сахароза	Сумма углеводов
Морошка	278.8	218.4	14.4	511.6
Черника	172.7	60.2	37.6	270.5

Авторы признательны к.б.н. О.В. Дымовой и к.б.н. И.Г. Захожему за консультации при выполнении работы.

Литература

Кузиванова О.А., Лашманова Е.А., Дымова О.В. Оценка содержания β-каротина и ксантофиллов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в дикорастущих ягодах // Химия и технология растительных веществ: Тез. докл. Всерос. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 82.

Кейтс М. Техника липидологии. М., 1975. 323 с.

Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 2000. С. 369-418.

Lila A.D. Plant pigments and human health / Plant pigments and their manipulation. Blackwell Publishing Ltd, 2004. P. 248-274.

Krinsky N.I. Actions of carotenoids in biological systems // Annual Review of Nutrition, 1993. Vol. 13. P. 561-587.

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧЕК ФАНЕРОФИТОВ – ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ ФЛОРЫ И ИНТРОДУЦЕНТОВ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Р.В. Малышев, И.Г. Захожий
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: malrus@ib.komisc.ru

Температура – один из ведущих экологических факторов, определяющих жизнедеятельность растительных организмов. Способность многолетних растений приспосабливаться к сезонным изменениям температуры окружающей среды – залог успешного роста, развития и сохранения вида. Проблема адаптации растений к отрицательным температурам зимнего периода изучается довольно давно. В настоящее время установлены причины гибели растений от низких температур, раскрыты физиологические механизмы устойчивости растений (Трунова, 2007). Однако, несмотря на достигнутые успехи в области изучения холодостойкости и морозоустойчивости, исследования причин гибели или выживания растений в зимний период не теряют своей актуальности.

Важная роль в адаптации древесных растений к неблагоприятным климатическим условиям принадлежит формированию низкотемпературной устойчивости почек (Sakai, 1982). Почки фанерофитов, расположенные над поверхностью почвы, в зимний период испытывают воздействие часто экстремально низких отрицательных температур. Сохранение жизнеспособности уязвимых к холоду меристематических тканей во многом связано с изменением их физиолого-биохимических характеристик.

Цель данной работы – сравнительное изучение некоторых физиолого-биохимических характеристик почек *Betula pendula, Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris* и *Populus nigra* в связи с зимостойкостью растений.

Береза повислая – типичный представитель древесной растительности европейского севера России. Тополь черный и сирени являются интродуцентами, широко используемыми для озеленения. У березы повислой и тополя черного редко отмечается обмерзание молодых побегов, чего нельзя сказать о побегах сирени обыкновенной, которые зачастую обмерзают в особо морозные зимы (Скупченко и др., 2003).

Вегетативные почки отбирали в январе, конце апреля–начале мая у растений, произрастающих в окрестностях (береза повислая), в парковой зоне (тополь черный) г. Сыктывкар и в Ботаническом саду Института биологии Коми НЦ УрО РАН (сирени).

В свежесобранном растительном материале оценивали оводненность, температуру кристаллизации воды, количество замерзшей воды, состав и содержание липидов и неструктурных углеводов.

Температуру кристаллизации и количество замерзшей воды определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии на калориметре DSC-60 «Shimadzu». Содержание и качественный состав неструктурных углеводов определяли методом ВЭЖХ, суммы липидов – весовым методом, жирнокислотный состав липидной фракции оценивали с привлечением ГЖХ метиловых эфиров высших жирных кислот.

Анализ результатов показал, что в январе температура замерзания воды в тканях почек варьировала от −9.6 °С у сирени венгерской до −11.4 у сирени обыкновенной (рис. 1). В конце апреля–начале мая температура замерзания воды в тканях почек повышалась, при этом выявленные вежду видами различия сохранялись.

Следует отметить, что по данным ряда авторов (Миронов и др., 2001), кристаллизация воды в почках фиксируется в области экзотерм от 0 до −15 °С. В этом диапазоне фазовый переход претерпевает вода, которая, как правило, является гидратационной и находится в растворимой фазе цитоплазмы. Можно полагать, что повышение температуры кристаллизации воды обусловлено изменением свойств и состава цитоплазмы.

Одной из основных стратегий растительного организма при адаптации к отрицательным температурам является снижение оводненности тканей. В январе почки древесных содержали около 40% воды. С наступлением весны отмечали повышение оводненности тканей. В почках сиреней содержание воды в весенний период возрастало до 80%, у березы и тополя – не превышало 50%.

В процессе повышения морозоустойчивости, помимо снижения оводненности тканей, в почках уменьшается количество замерзающей воды в клетках. Наши определения показали, что в

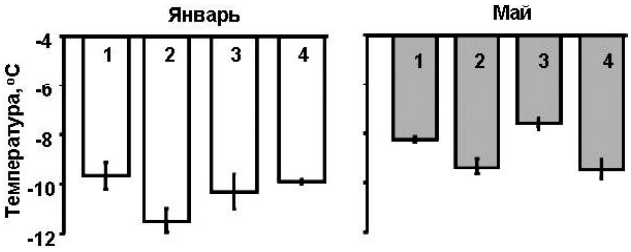


Рис. 1. Температура замерзания воды в тканях почек *Syringa josikaea* (1), *Syringa vulgaris* (2) *Populus nigra* (3), *Betula pendula* (4).

почках сирени венгерской доля замерзающей воды практически не изменяется по сезонам года и составляет около 50%. У сирени обыкновенной в зимний период замерзает менее 36% воды. Почки натурализовавшегося интродуцента тополя черного сохраняют в переохлажденном состоянии до 60% воды. В цитоплазме клеток почек березы замерзало не более 20% воды от ее общего содержания. С началом активного сокодвижения весной доля замерзающей воды в почках всех видов возрастала и была близка к 60%.

Устойчивость растений к морозам – результат целого комплекса структурно-функциональных и биохимических изменений на всех уровнях организации растительного организма. Важная роль в процессе морозостойкости отводится синтезу и накоплению белков холодового шока, Lea-белков, изменению жирнокислотного состава мембран, повышению содержания низкомолекулярных углеводов, обладающих выраженными криопротекторными свойствами.

Определение содержания растворимых углеводов показало, что зимой в почках сиреней концентрация сахаров составляет 60-80 мг/г сухой массы, что в 1.5-2.5 раза больше, чем у тополя и березы (табл. 1). К весне содержание сахаров в почках возрастало почти вдвое, исключение составляли почки сирени обыкновенной. Увеличение концентрации неструктурных углеводов, по-видимому, связано с гидролизом крахмала, как это ранее отмечалось для почек древесных видов и, в частности, тополя (Исаева, Рязанова, 2006).

Вместе с изменением абсолютного содержания неструктурных углеводов существенные изменения претерпевает и их состав в тканях почек (табл. 2). Так, в период покоя в них были выявлены три фракции углеводов: моно-, ди- и трисахариды. В почках сиреней до 44% составляли моносахариды, в почках тополя и березы преобладают ди- и трисахариды (60-90%). По сравнению с январем в мае в почках значительно возрастало содержание моносахаров, а выполняющие преимущественно запасную функцию трисахариды обнаруживаются в следовых количествах. Повышение содержания моносахаридов в мае может быть связано с их высокой востребованностью как субстрата для дыхания.

Известно, что сезонные изменения температуры оказывают существенное влияние не только на содержание и состав неструктурных углеводов, но и липидный комплекс тканей.

Проведенные нами исследования выявили, что содержание липидов в почках тополя и березы в 2.0-2.5 раза выше, чем в почках сиреней (табл. 3). Весной содержание липидов в почках исследуемых видов уменьшалось, по-видимому, вследствие их частичного использования в качестве энергетического субстрата.

Таблица 1

Содержание растворимых углеводов в тканях почек (мг/г сухой массы)

Месяц	*Syringa vulgaris*	*Syringa josikaea*	*Populus nigra*	*Betula pendula*
Январь	84.2	53.7	30.7	34.9
Май	95.6	86.0	62.7	75.5

Таблица 2

Содержание моно-, ди- и трисахаридов в тканях почек растений (% от суммы)

Углеводы	*Syringa vulgaris*	*Syringa josikaea*	*Populus nigra*	*Betula pendula*
		Январь		
Моносахариды	44	44	8.4	37.9
Дисахариды	26.4	31	24.6	19.2
Трисахариды	29.6	25	67	42.9
		Май		
Моносахариды	83.4	89.7	43.8	Не измеряли
Дисахариды	16.6	10.3	56.2	Не измеряли
Трисахариды	Следы	Следы	Следы	Следы

Таблица 3

Суммарное содержание липидов в тканях почек растений (мг/г сухой массы)

Месяц	*Syringa vulgaris*	*Syringa josikaea*	*Populus nigra*	*Betula pendula*
Январь	242	243	681	564
Май	182	203	561	466

Анализ содержания высших жирных кислот выявил (рис. 2), что в январе в почках сиреней содержание насыщенных ЖК составляло 40-50%, в почках тополя их количество не превышало 30%, а у березы – 10% от суммы высших жирных кислот. Существенные различия жирнокислотного состава липидной фракции тканей почек являются, на наш взгляд, результатом видовых особенностей метаболизма, при адаптации к отрицательным температурам. Для

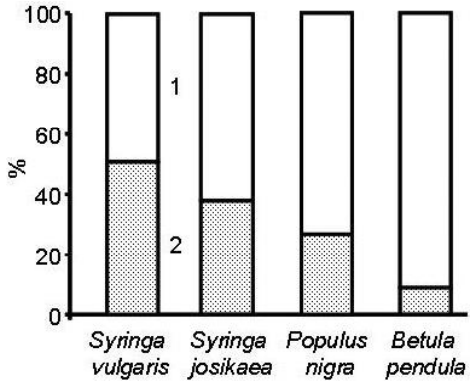


Рис. 2. Содержание ненасыщенных (1) и насыщенных (2) высших жирных кислот в тканях почек растений, январь (% от суммы).

наиболее морозостойкого вида, березы повислой, характерно наибольшее значение индекса ненасыщенности ВЖК. Известно, что увеличение данного показателя зачастую коррелирует с морозостойкостью тканей и связано с сохранением нативного состояния клеточных мембран при низких температурах.

Таким образом, почки исследованных видов растений различались по температуре замерзания и содержанию воды, неструктурных углеводов и липидов. Количественные и качественные различия физиолого-биохимических свойств почек отражают степень адаптированности видов к климатическим условиям подзоны средней тайги.

Литература

Исаева Е.В., Рязанова Т.В. Групповой состав углеводов почек тополя // Химия растительного сырья, 2006. № 1. С. 33-36.

Скупченко Л.А., Мишуров В.П., Волкова Г.А., Портнягина Н.В. Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми. СПб.: Наука, 2003. 214 с.

Трунова Т.И. Растение и низкотемпературный стресс / Отв. ред. Вл.В. Кузнецов. М.: Наука, 2007. 54 с.

Sakai A. Freezing tolerans of shoot end flower primordia of coniferous buds by extraorgan freezing // Plant Cell physiol., 1982. Vol. 23. P. 1219-1227.

АЗОТИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА В ПЛОДАХ *RUBUS CHAMAEMORUS* L. НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Н.В. Матистов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: matistov@ib.komisc.ru

Одним из ценных ресурсных растений на Севере является морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.). Республика Коми (РК) территориально совпадает с центральной частью ареала морошки, где этот вид произрастает в разных типах местообитаний: на торфяных болотах, в заболоченных сосновых и еловых лесах, сырых ивняках, ерниках, моховых и кустарниковых тундрах (Валуйских, Тетерюк, 2010). В северных регионах России ресурсная роль морошки особенно значительна для человека. В последние годы этот вид все более активно используется в пищевой и фармацевтической промышленности.

Накопление азота растениями, произрастающими в разных природных зонах, имеет определенную специфичность. Так, например, постоянный дефицит азота в почвах – зональное явление для тундровых ландшафтов.

Цель настоящей работы – определение содержания азотистых веществ в плодах морошки из типичных местообитаний этого вида в разных природных зонах на европейском северо-востоке России.

Сбор плодов морошки осуществляли в разных природных зонах на территории РК в 2009 и 2011 гг. (табл. 1). Были выбраны типичные местообитания морошки в подзоне средней и северной тайги – участки по окраине олиготрофных болот в сосновых пушицево-кустарничково-сфагновых редколесьях, в лесотундре и тундре – на участках плоскобугристых торфяников в кустарниковых сообществах. Из каждого местообитания отбирали не менее 200 г зрелых плодов, фиксировали их кипящим этанолом не позднее 2-3 ч после съема и сушили в вакуумном эксикаторе в присутствии водоотнимающего агента (безводный хлорид кальция).

Содержание азота определяли в лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН с использованием газовой хроматографии (газ-носитель – гелий) на элементном анализаторе EA 1110, мод. CHNS-O (CE Instruments, Италия). Содержание ПАК устанавливали методом количественного химического анализа гидролизатов белков. Хроматографическое разделение АК осуществляли на аминокислотном анализаторе AAA 339 (Чехия) с использованием буферных растворов с pH 2.90, 4.25 и 7.90.

Таблица 1

Места сбора плодов *R. chamaemorus* на территории Республики Коми

Номер образца	Дата сбора	Административный район РК	Природная зона	GPS координаты
1	09.07.11	Сыктывдинский	Подзона средней тайги	N 61° 57' 47.93" E 50° 21' 00.04"
2	06.07.09	Троицко-Печорский	Подзона средней тайги	N 62° 39' 43.79" E 56° 03' 50.46"
3	28.07.09	Усть-Цилемский	Подзона северной тайги	N 65° 30' 54.10" E 50° 41' 35.60"
4	10.08.11	Интинский	Лесотундра	N 65° 59' 29.76" E 60° 12' 36.88"
5	12.08.11	Воркутинский	Подзона южных гипоарктических тундр	N 67° 23' 48.88" E 64° 25' 17.27"

Сведений о содержании азотистых веществ в плодах морошки на европейском северо-востоке России в научной литературе нами обнаружено не было. Основная часть публикаций посвящена морфолого-физиологическим исследованиям, содер-

Таблица 2

Массовая доля азотистых веществ в плодах *R. chamaemorus*, %

Номер образца	Общий азот	Азот аминокислот в сухом веществе	Азот аминокислот от общего азота	Аминокислот в сухом веществе	Аминокислот в сыром протеине
1	1.8±0.3	9.6±0.07	75±3	1.3±0.5	86±4
2	2.73±0.18	12.7±0.09	65±3	1.8±0.6	75±3
3	1.44±0.26	7.1±0.05	68±3	1.0±0.3	79±4
4	1.53±0.28	8.6±0.4	90±4	1.17±0.05	77±4
5	2.0±0.4	7.7±0.4	62±3	1.07±0.05	53.3±2.7

Примечание. Здесь и в табл. 3: ±Δ – границы интервала абсолютной погрешности при p = 0.95.

жанию углеводов, витаминов С и К, Р-активных и пектиновых веществ, каротиноидов (Руш, Лизунова, 1972; Баранова, 1980 и др.). В задачу наших исследований входило изучение содержания общего и протеиногенного азота, а также компонентного состава протеиногенных аминокислот в плодах морошки из разных местообитаний этого вида.

Самое высокое содержание общего азота обнаружено в плодах морошки, собранных на олиготрофных болотах Троицко-Печорского р-на (подзона средней тайги, табл. 2). Максимальной в этом образце была и массовая доля азота аминокислот, которая составила 12.7% (на сухое вещество). Для обр. 3-5 наблюдается тенденция к увеличению массовой доли общего азота при переходе от таежной зоны к тундровой. При продвижении с юга на север происходит снижение содержания аминокислот в сыром протеине на 38%. Закономерностей в изменении содержания азота аминокислот по отношению к общему азоту не наблюдается. Максимальное его содержание (90%) обнаружено в обр. 4 (зона лесотундры) и 74% в обр. 1 (подзона средней тайги), в то время как для других образцов оно варьировало от 61 до 67%.

В списке нутриентов белок стоит на первом месте (Овчинников, 1987). В качестве примерного ориентира пищевой ценности белка в 1985 г. Комитет ВОЗ принял аминокислотную шкалу «идеального белка», наиболее полно отвечающего физиологическим потребностям человека в аминокислотах. Этот критерий используется для оценки сбалансированности рациона. Для сопоставления данных с идеальным белком используется показатель биологической ценности белка «Score», представляющий собой процентное отношение доли определенной незаменимой аминокислоты в общем содержании таких аминокислот в исследуемом белке к стандартному (рекомендуемому) значению этой доли (Потребность..., 1987).

Аминокислотный состав изучаемых образцов плодов морошки представлен 17 аминокислотами. 18-я аминокислота – триптофан, в условиях данного метода не определяется (табл. 3).

По соотношению массовых долей основными аминокислотами в плодах морошки были глутаминовая (Glu), аспарагиновая кислоты (Asp) и аргинин (Arg), на долю которых приходилось 45-47% от суммы всех аминокислот.

Наиболее высокое содержание (Asp) и (Glu) кислот обнаружено в обр. 1 и 2 из подзоны средней тайги. В обр. 1-4 массовая доля Glu была выше, чем Asp, а в обр. 5 из зоны тундры, наоборот, преобладало содержание Asp. Следует обратить внимание на довольно высокое содержание Arg – незаменимой аминокислоты для детей и пожилых людей, стимулирующей иммунитет, которая обычно встречается в расте-

Таблица 3

Массовая доля аминокислот в сухом веществе, %

Название аминокислот	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Glu	2.12±0.28	2.39±0.31	1.53±0.20	1.91±0.25	1.41±0.18
Asp	1.37±0.22	2.22±0.36	1.18±0.19	1.34±0.21	1.61±0.26
Ser	0.42±0.06	0.56±0.08	0.29±0.04	0.39±0.05	0.31±0.04
Thr	0.34±0.05	0.46±0.07	0.24±0.04	0.31±0.05	0.26±0.04
Pro	0.61±0.19	0.98±0.30	0.39±0.12	0.54±0.17	0.41±0.13
Gly	0.58±0.09	0.61±0.10	0.40±0.06	0.48±0.08	0.40±0.06
Ala	0.48±0.09	0.64±0.12	0.34±0.06	0.40±0.08	0.37±0.07
Cis	0.08	0.07	0.04	0.06	0.02
Val	0.36±0.05	0.51±0.07	0.27±0.04	0.31±0.04	0.34±0.05
Met	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04
Ile	0.32±0.04	0.40±0.05	0.24±0.03	0.28±0.03	0.25±0.03
Leu	0.57±0.07	0.68±0.09	0.42±0.05	0.50±0.07	0.42±0.05
Tyr	0.44±0.09	0.60±0.12	0.35±0.07	0.38±0.08	0.36±0.07
Phe	0.33±0.05	0.41±0.07	0.23±0.04	0.28±0.04	0.23±0.04
His	0.22±0.04	0.29±0.06	0.15±0.03	0.19±0.04	0.14±0.03
Lys	0.52±0.08	0.76±0.12	0.41±0.07	0.50±0.08	0.49±0.08
Arg	0.84±0.16	1.13±0.21	0.58±0.11	0.67±0.13	0.66±0.13

Примечание. Glu – глутаминовая кислота, Asp – аспарагиновая кислота, Ser – серин, Thr – треонин, Pro – пролин, Gly – глицин, Ala – аланин, Cis – цистин, Val – валин, Met – метионин, Ile – изолейцин, Leu – лейцин, Tyr – тирозин, Phe – фенилаланин, His – гистидин, Lys – лизин, Arg – аргинин.

Таблица 4

Сравнительная характеристика аминокислотного состава плодов *R. chamaemorus* по отношению к идеальному белку

Кислота	Идеальный белок	Номер образца				
		1	2	3	4	5
	Массовая доля аминокислот в сыром протеине, %					
Ile	4	3	2	3	3	2
Leu	7	5	4	5	5	3
Lys	5.5	4.6	4.5	4.5	5.2	3.9
Met + Cis	3.5	1.1	0.7	0.8	1.2	0.5
Phe + Tyr	6	7	6	6	7	5
Thr	4	3	3	3	3	2
Val	5.9	3.2	2.9	3.0	3.3	2.7

ниях в незначительных концентрациях. Минимальное содержание приходится на серосодержащие аминокислоты – метионин (Met) и цистин (Cis), массовая доля которых составляет 0.7-1.3 % от суммы всех аминокислот. На долю остальных аминокислот приходится 52-54%, которые можно расположить в порядке убывания их содержания в следующем ряду: Pro > Gly > Leu > Lys > Ala > Tyr > Ser > Val > Thr > Phe > Ile > His.

Сравнительная характеристика аминокислотного Score показала, что обр. 4 из зоны лесотундры наиболее близок по составу к идеальному белку (75%), а наименьшее значение получено для обр. 5 из тундры (51%) (табл. 4).

Лимитирущими аминокислотами, которые присутствуют в плодах морошки в недостаточном количестве по отношению к идеальному белку, относятся Met, Cis и Val. Дефицит массовой доли Met и Cis составил 69-89%, Val – 44-54%. Такие важные для организма аминокислоты, как Leu и Ile, являющиеся основой, вокруг которой строится весь метаболизм белков, присутствуют в наибольших количествах в обр. 1 (средняя тайга), 3 (северная тайга) и 4 (лесотундра). Важно отметить, что в исследуемых образцах «Score» всех аминокислот не превышает 100%, так как избыток аминокислот организм переносит гораздо хуже, чем других нутриентов.

Итак, впервые получены данные о содержании азота и протеиногенных аминокислот в дикорастущих плодах морошки из разных местообитаний на европейском северо-востоке России.

Максимальное накопление азотистых веществ отмечено в образцах из южных районов Республики Коми. Наблюдалась тенденция к снижению массовой доли азота аминокислот при переходе от зоны тайги к лесотундре и тундре.

Основными по содержанию аминокислотами являются аспарагиновая, глутаминовая кислоты и аргинин.

Аминокислотный Score во всех образцах не превышал 100%, что оказывает благоприятное действие при употреблении плодов морошки в пищу.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке интеграционного проекта (Рег. № 12-и-ч-2072) «Ресурсный и биотехнологический потенциал растений Урала и сопредельной территории европейского северо-востока России – продуцентов важнейших групп биологически активных веществ» программы фундаментальных исследований УрО РАН.

Литература

Баранова И.И., Смирнова Л.М., Ершова Г.Ф. Биологически активные вещества дикорастущих ягод Южной Карелии // Изучение, заготовка и охрана лесных дикорастущих ягодников на территории европейской части СССР в связи с задачами освоения природных ресурсов нечерноземной зоны СССР: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Петрозаводск, 1980. С. 15-16.

Валуйских О.Е., Тетерюк Л.В. Особенности структуры ценопопуляций *Rubus chamaemorus* L. в зонах тайги и тундры европейского северо-востока России // Известия Самарского НЦ РАН, 2010. Т. 12. № 1(3). С. 652-656.

Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М.: Просвещение, 1987. 815 с.

Потребность в энергии и белке // Доклад объединенного консультативного совещания экспертов ФАО, ВОЗ и УООН. Всемирная организация здравоохранения. Женева, 1987.

Руш В.А., Лизунова В.В. Химический состав дикорастущих ягод Сибири // Материалы к Всесоюзному научно-производственному совещанию. Киров, 1972. С. 42-44.

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЛИПИДОВ СЕМЯН *ALLIUM ANGULOSUM* L. КАК ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ

Н.В. Матистов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: matistov@ib.komisc.ru

Жизнеспособность семян – один из основных факторов, определяющих успешность семенного возобновления, развития и сохранения популяций растений. Проблеме оценки качества семян уделяется большое внимание как в научных исследованиях, так и в прикладных работах. Помимо внешних условий, определяющих всхожесть семян, скорость и энергию прорастания, их жизнеспособность зависит от химического состава запасных веществ, накапливаемых семенами в период созревания (Шарапов, 1954; Николаева и др., 1999).

В составе липидов растений как запасных веществ основной составляющей являются нейтральные липиды (НЛ), представленные смесью триацилглицеринов (ТАГ). Именно в молекулах этих соединений заключено большее количество энергии, чем в углеводах и белках. Липиды – одни из основных продуктов биосинтеза растений, которые в зависимости от компонентного состава обладают разного рода биологической активностью. По мнению некоторых авторов, липиды растений служат индикаторами изменений в окружающей среде в результате антропогенного воздействия (Розенцвет и др., 1999).

Таблица 1

Доля нейтральных липидов в семенах *Allium angulosum* (% от сухого вещества)

Номер образца	Оригинатор местовыведения образца, год включения в реестр БС	Дата сбора	Массовая доля НЛ, %	ΔS
1	Москва, ВИЛАР, 1994	03.08.2007	4.90	0.15
2	Москва, ВИЛАР, 1994	08.08.2007	4.90	0.14
3	Москва, ВИЛАР, 1994	28.08.2007	6.80	0.20
4	Москва, ВИЛАР, 1994	31.07.2008	8.90	0.3
5	Москва, ВИЛАР, 1994	16.09.2009	8.00	0.24
6	Москва, ВИЛАР, 1994	02.08.2010	8.32	0.27
7	Падуя, Италия, 1994	02.08.2007	5.80	0.17
8	Хорог, Таджикистан	22.08.2008	8.30	0.25
9*	Сыктывкар, 1999	02.08.2010	9.10	0.3
10*	Сыктывкар, 1994	26.07.2010	6.58	0.17

Примечание: * местная репродукция; ΔS – стандартное отклонение внутрилабораторной прецизионности.

Объектом исследований служили семена охраняемого в Республике Коми корневищного лука *Allium angulosum* L.

Цель наших исследований – оценка содержания нейтральных липидов и входящих в них жирных кислот в зависимости от сроков сбора семян *A. angulosum* и возможности использования этих биохимических показателей для характеристики степени их жизнеспособности.

Объектом исследования служили семена особей *A. angulosum*, выращенных после многократной репродукции семян, поступивших из различных мест в Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН: ВИЛАР-а (Москва), Хорога (Таджикистан), Падуи (Италия). Кроме того, анализировали семена *A. angulosum* местной флоры Республики Коми. Интродуцированные образцы различались по биоморфологическим особенностям и срокам прохождения фенофаз (Волкова, 2007). Сбор семян производили в июле-сентябре 2007-2010 гг. (табл. 1). Семена сушили в термостате при 35 °С и постоянном вентилировании.

НЛ извлекали трехкратной экстракцией гексаном. Компонентный состав НЛ устанавливали с использованием метода тонкослойной хроматографии (ТСХ). В качестве стандартов для идентификации НЛ использовали Lipid Standard, Sigma (Швейцария), содержащие: холестерин, олеиновую кислоту (С18:1, cis-9), метиловый эфир олеиновой кислоты, триолеин, олеат холестерина. Для компонентов НЛ рассчитывали коэффициенты подвижности R_f. Жирнокислотный состав устанавливали с помощью газо-жидкостной хроматографии метиловых эфиров (МЭЖК), полученных по методу К.М. Синяка (1977) на газовом хроматографе Кристалл 2000 М (Россия) с пламенно-ионизационным детектором.

Лабораторную всхожесть семян определяли по методике М.Г. Николаевой с соавторами (1999).

Семена *A. angulosum* различались по срокам сбора. Выделенные из семян *A. angulosum* НЛ имели жидкую консистенцию. Количественное содержание НЛ в семенах сильно варьирует (табл. 1), что связано с внутривидовыми различиями и условиями созревания. Минимальное содержание НЛ было обнаружено в семенах обр. 1 и 2, собранных в 2007 г., что на 28% ниже, чем у обр. 3, собранного на 25 дней позже, что может быть связано со сроками сбора семян, а следовательно, со степенью их созревания. Обр. 7 итальянского происхождения, совпадающий по срокам сбора и хранения с обр. 1-3, содержит большее количество НЛ. Семена, собранные в 2008-2010 гг. имеют более высокое содержание НЛ, что может быть связано как с меньшими сроками хранения, так и с другими факторами влияния – различиями в погодных условиях и времени созревания семян.

Согласно результатам ТСХ-анализа в НЛ семян, в отличие от других частей растения, основным компонентом являются ТАГ (R_f = 0.48).

Таблица 2

Содержание высших жирных кислот в нейтральных липидах семян *A. angulosum* (% от общей массы ВЖК)

Номер образца	С16:0	С18:0	С18:1	С18:2	С18:3	С20:0
1	73	4.5	2.0	15	3.5	2.0
2	54	7.0	5.4	17	6.5	13
3	32	3.3	7.6	53	2.8	1.3
4	5.9	1.1	23	69	0.4	0.6
5	6	1.2	28	64	0.5	–
6	7	1.4	29	63	0.3	–
7	87	8.1	0	0	0	4.9
8	64	12	13	8	1.0	2.1
9	4	1.4	20	75	0.2	–
10	6	1.3	24	68	0.4	–

Примечание: С16:0 – пальмитиновая, С18:0 – стеариновая, С18:1 – олеиновая, С18:2 – линолевая, С18:3 – линоленовая, С20:0 – арахиновая кислоты.

Таблица 3

Жизнеспособность семян *Allium angulosum*

Номер образца	Время эксперимента, сут.						
	1	2	3	6	7	9	16
	Количество жизнеспособных семян, на 100 шт.						
5	0	0	2	54	59	69	76
6	2	21	45	71	73	76	78
9	0	2	23	71	72	74	81
10	0	5	35	72	72	74	77

Жирнокислотный состав нейтральных липидов семян представлен набором кислот с длиной цепи от C_{16} до C_{20}и четным числом углеродных атомов (табл. 2). Преобладающей для большинства образцов (обр. 3-6, 9,10) была линолевая кислота, максимальная массовая доля которой обнаружена в обр. 9, содержащем и максимальное количество НЛ. Для этих образцов семян характерно также высокое содержание олеиновой кислоты (от 20 до 29%). Суммарное содержание линолевой и олеиновой кислот во всех этих образцах составляло 92%, для обр. 9 оно достигало 95%. Низкое содержание линолевой кислоты в обр. 1, 2 по сравнению с обр. 3-6, а также отсутствие ненасыщенных ЖК в НЛ семян обр. 7 итальянского происхождения, скорее всего, можно объяснить недостаточной зрелостью семян. Для этих образцов характерно высокое содержание насыщенной пальмитиновой кислоты, доля которой варьировала от 54 до 87%. Пальмитиновая и стеариновая кислоты являются предшественниками непредельных ВЖК. Можно предположить, что семена, не достигшие полной зрелости, не успели включить механизм биохимического превращения пальмитиновой кислоты в непредельные жирные кислоты. Н.А. Голубкиной с соавторами (НИИ питания РАМН, Москва) было показано, что величина всхожести семян сельдерейных (пастернак, сельдерей, петрушка, морковь) прямо пропорциональна содержанию олеиновой кислоты и обратно пропорциональна содержанию линолевой. Рядом авторов был сделан вывод о том, что полиненасыщенные высшие жирные кислоты благоприятствуют всхожести семян томатов, фасоли и кукурузы, а насыщенные жирные кислоты, наоборот, снижают их всхожесть (Dogras et al., 1977; Maluf, Tigchellar, 1982).

Результаты наших исследований укладываются в рамки этих предположений. Семена с высоким содержанием ненасыщенных линолевой и олеиновой кислот обнаружили высокую жизнеспособность. На 16-е сут. наблюдений она достигала 76-81% (табл. 3). В обр. 9, в котором доля НЛ, линолевой и олеиновой кислот была самой высокой, наблюдалась и самая высокая жизнеспособность семян (81%). Самым динамичным был процесс прорастания семян обр. 6, у которого первые жизнеспособные проростки начали появляться на первые сутки эксперимента, на вторые их доля достигла уже 21%. За время эксперимента этот образец показал 78% всхожести семян (табл. 3). Содержание олеиновой кислоты в нем было самое высокое (табл. 2). Высокая всхожесть и динамичность процесса прорастания семян обр. 9 также может быть связана с высоким содержанием линолевой и олеиновой кислот, суммарное содержание которых достигает 95%.

На основании полученных результатов мы можем высказать предположение, что для семян *A. angulosum* высокое содержание нейтральных липидов и входящих в них ненасыщенных высших жирных кислот – олеиновой и линолевой, является биохимическим признаком их зрелости.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке интеграционного проекта (Рег. № 12-и-ч-2072) «Ресурсный и биотехнологический потенциал растений Урала и сопредельной территории европейского северо-востока России – продуцентов важнейших групп биологически активных веществ» программы фундаментальных исследований УрО РАН

Литература

Авторское свидетельство 542932 СССР, G 01 N 1/28. Способ приготовления проб липидов / *К.М. Синяк, И.И. Даниленко, З.П. Васюренко* и др. № 2138675; Заявл. 26.05.75; Опубл. 15.01.77. Бюл. № 2.

Николаева М.Г., Лязгунова И.В., Поздова Л.М. Биология семян. СПб., 1999. 233 с.

Волкова Г.А. Биоморфологические особенности видов рода Allium L. при интродукции на европейский Северо-Восток. Сыктывкар, 2007. 200 с.

Обручева Н.В., Антипова О.В. Физиология инициации прорастания семян // Физиология растений, 1997. Т. 44. С. 287-302.

Розенцвет О.А., Козлов В.Г., Дембицкий В.М. Сравнительное изучение липидов четырех доминирующих видов растений и водорослей реки Шульган // Биохимия, 1999. Т. 64. Вып. 64. С. 1527-1535.

Dogras C.C., Dilley D.L., Herner R.C. Phospholipid biosynthesis and fatty acid content in relation to chilling ingury during germination of seeds // Plant. physiol., 1977. Vol. 60. P. 897-902.

Maluf W.R., Tigchellar E.C. Relationship between fatty acid composition and low temperature seed germination in tomato // J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1982. Vol. 107. P. 620-623.

НЕТИПИЧНЫЕ ПОГРУЖЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ КАК ФОРМА АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ ПЕРИФИТОННЫХ СООБЩЕСТВ

И.А. Мухин
Вологодский государственный педагогический университет
E-mail: *ivmukhin@mail.ru*

Одним из приоритетных направлений многофакторного антропогенного воздействия на водные экосистемы является их загрязнение. Основное внимание исследователей традиционно уделяется таким формам, как химическое, биологическое, тепловое. Несравнимо меньше работ посвящено изучению физического загрязнения, и практически не исследуются последствия механического загрязнения или захламления, включая замусоривание водных объектов. В то же время появление в водной среде инородных предметов оказывает значительное и разноплановое воздействие на экосистему, особенно при его масштабном характере. Наиболее известны негативные последствия лесосплава для водных экосистем лесной зоны (Болотова, 1997). Происходит механическое разрушение биотопов, меняются условия обитания для донных организмов, сокращается площадь нерестилищ при их захламлении. Гниение древесины сопровождается ухудшением газового режима, выделением в воду токсических веществ. Прекращение в 1990-е гг. сплава леса молевым способом, наносящим наибольший ущерб, не сопровождалось полной очисткой рек от затонувшей древесины, поэтому не решило проблемы пролонгированных последствий этой формы загрязнения для водных экосистем. Наблюдающееся разнообразие в реках крупных инородных предметов, помимо затонувшей древесины, связано и со строительной деятельностью человека (различные сваи, линейные подводные сооружения, подводные части гидросооружений и т.п.). Это изменяет гидродинамическую структуру потока, препятствует перемещениям нейстонных организмов. В последние десятилетия возрастает актуальность «мусорной проблемы» для водных экосистем, что связано как с общей тенденцией увеличения числа и площади свалок, которые нередко оказываются на берегах водотоков или в зоне затопления, так и усилением рекреационной нагрузки. Это определяется возросшей активностью населения в отношении использования водных объектов в целях рекреации. На фоне экологического невежества и часто отсутствия экологической культуры «мусорный след» вносит заметную лепту в антропогенную трансформацию водных экосистем (Болотова, 1995).

Вышеизложенное относится к той стороне последствий механического загрязнения, которые могут изменять динамику потока, химический режим, создавать препятствия и сокращать жилую зону водных обитателей. Однако не менее важна и другая сторона захламления водоемов, которое наряду с нарушением пространственной структуры биотопов создает и дополнительные поверхности для организмов-обрастателей и увеличивает количество микрообитаний на границе раздела фаз «вода–твердое тело». Специфика архитектоники водной среды такова, что даже в небольшом локусе выделяется множество уникальных кластеров. Особую роль в формировании системы пространственных ниш играют поверхности, погруженные в воду. Переходная зона характеризуется целым набором уникальных характеристик, которые складываются из влияния самой твердой фазы, ее химического состава, физических свойств. В то же время каждый предмет меняет и состояние окружающей его жидкости – ее динамическую структуру. Таким образом, складываются уникальные и разнообразные пространственные ниши, которые занимают перифитонные и бентосные организмы.

Следует подчеркнуть специфичность взаимодействия организмов к субстратным поверхностям, что влияет на пространственную структуру популяций и сообществ, создавая еще одно измерение их разнообразия. Эта специфичность вызвана различными причинами. Среди них можно отметить: химические особенности веществ, составляющих субстрат, его структуру, наличие питательных веществ для организмов-обрастателей и адекватность их адаптаций для прикрепления к субстрату. Сочетание этих факторов приводит к тому, что некоторые виды могут обитать лишь на определенных субстратах. Такая прочная связь делает вид более уязвимым, так как накладывает серьезное ограничение на ареал, который должен совпадать с распределением необходимого субстрата. В случае ограниченного распространения специфичного субстрата или его отсутствия в биотопе вид, приуроченный к нему, тоже попадет в категорию редких даже при прочих благоприятных условиях. Хотя упомянутые закономерности известны для многих групп обрастателей и даже используются при определении, поиске и расселении этих видов, значение субстрата в формировании перифитонных сообществ изучено недостаточно.

Наиболее удачным объектом для изучения сообществ организмов-обрастателей, т.е. перифитона, являются простейшие организмы. Они имеют ряд преимуществ. Пленки обрастания практически всегда включают в себя несколько видов, которые могут различаться друг от друга как по типу, так и по способу питания. Этим микроперифитон выгодно отличается от макро-

перифитона, который, как правило, более однороден по систематическому составу. Гетерогенность сообщества дает интересный материал для анализа отношений на популяционном и ценотическом уровнях – в первую очередь для выявления конкуренции видов за субстрат и пищу. Особенностью микроперифитона является также высокая скорость размножения простейших и, как следствие, пластичность их популяций. Сукцессии в таких сообществах протекают очень быстро, что позволяет наблюдать формирование климаксного сообщества в эксперименте. Эта особенность позволяет использовать метод модельных субстратов для изучения первичных сукцессий в водоемах.

Для выявления влияния особенностей субстрата на пространственную структуру сообщества рассмотрено распространение перифитонных инфузорий на различных типах субстратов. В основу их типологии легла пространственная структура. В результате исследований (Мухин, 2008) выделены три основные экологические ниши инфузорий, которые они могут занимать в зависимости от особенностей субстрата вне зависимости от естественного или искусственного его происхождения.

Ниша *«открытой воды»*. Это, например, погруженные поверхности водных макрофитов, растущих на значительном (относительно размеров инфузорий) удалении друг от друга. Инфузории обладают относительной подвижностью (стебельковые формы), так как вынуждены профильтровывать воду из значительного пространства. Длинный стебелек также позволяет животному реагировать на скопления бактерий, которые могут переноситься течением. Кроме того, такие ниши населены относительно крупными видами, которые способны профильтровывать значительные объемы воды. К числу типичных представителей относятся роды *Stentor* и *Vorticella*.

Ниша *«скрытой воды»* характеризуется неплотными зарослями водорослей, расстояние между которыми достаточное для накопления пищевых частиц, но не препятствует развитию инфузорий средних размеров. Именно они получают наибольшее развитие в таких местообитаниях. Типичны представители рода – *Vorticella*.

В нишу *«малых пространств»* могут быть отнесены местообитания, формирующиеся в небольших пространствах пазух листа или в войлокообразных зарослях нитчатых водорослей. Такие ниши не могут населять крупные виды, поэтому типичными представителями являются роды *Epistylis* и *Vaginicola*. Эти местообитания максимально накапливают питательные вещества, что обуславливает развитие бактерий, которыми и питаются упомянутые виды. Подобным условиям соответствует, например, поверхность тела насекомых и других крупных животных (Довгаль, 2005). Здесь ограниченность пространства связана с размером зоны спокойной воды, так как только в ней могут существовать перифитонные организмы, а ее толщина у насекомых очень мала.

Влияние пространства на организм как прямое, так и опосредованное заметно на всех стадиях жизни организма. От организации пространства зависят турбулентные течения вблизи поверхности, которые играют значительную роль в выборе животным места прикрепления. Показано, что течение – один из ключевых факторов при формировании сообществ обрастателей (Раилкин, 1998). Рост животного также ограничен имеющимся пространством для жизни. Инфузория крупного размера просто не сможет разместиться в узкой пазухе листа и будет вынуждена выйти за ее пределы. Если же граница жесткая, как, например, в случае с зоной спокойной воды вдоль движущегося в воде насекомого, инфузория погибнет. Опосредованно влияние субстрата на инфузорий сказывается через трофические условия. Известно, что питательные вещества в воде концентрируются вдоль погруженных поверхностей и поверхностной пленки воды. Не вдаваясь в детали и происхождение этого эффекта, который имеет физическую природу, отметим, что конфигурация погруженной поверхности во многом определяет степень его выраженности.

Таким образом, удалось выделить специфичность различных видов перифитонных инфузорий к субстрату на уровне особенностей его пространственной организации. Структура пространства – фактор, который в отличие от многих других действует одинаково на экологически, а не генетически близкую группу видов. Это означает, что к конкретному типу субстрата приурочена систематически разнородная, но экологически близкая группа инфузорий. В совокупности с другими животными и водорослями они образуют типичное для данного субстрата сообщество. Следовательно, зная особенности пространственной организации субстрата, можно прогнозировать «портрет» сообщества, на нем формирующегося.

Вышеизложенное позволяет заключить о существовании особого вида загрязнения водоемов – субстратного загрязнения. Появление субстрата влечет за собой их неизбежное заселение и формирование сообществ, тем более, что такие космополитные формы, как представители инфузорий, рано или поздно заселяют любое местообитание, где для них существуют благоприятные условия. Следовательно, если в водоеме создаются пространственные ниши, которые ранее в нем не встречались, происходит своеобразная инвазия, но не на уровне видов, а на уровне сообществ. Приуроченность конкретных видов к определенным пространственным видам позволяет им из повсеместно рассеянных спор собрать сообщество на новом месте в соответствии с «шаблоном».

Показано, что внесение в водоем нового с точки зрения пространственной организации субстрата приводит к формированию на нем сообщества, которое может сильно отличаться от типичных для данного водоема. Например, нами выявлено, что в р. Вологда на деревянных сваях сформировались сообщества, отличные от естественных на 50%, но с аналогичными показателями видового богатства и разнообразия. Это свидетельствует об антропогенной модификации сообщества инфузорий на нетипичном субстрате. На основании изложенного предлагаем ввести понятие «субстратного загрязнения» как трансформации пространственной структуры водной среды для организмов-обрастателей при формировании поверхностей, аналогов которым не существовало в данном биотопе в естественном виде.

Литература

Болотова Н.Л. Взаимодействие общества и природы: опыт эксплуатации водных экосистем Вологодской области // Экологический опыт человечества: Матер. Междунар. конф. М., 1995. С. 56-58

Болотова Н.Л. Мониторинг изменения состояния водных экосистем Вологодской области при антропогенном воздействии // Проблемы экологии и устойчивого развития: Матер. совещания. Псков, 1997. С. 166-176.

Довгаль И.В. Микропространственная структура сообществ протозойного перифитона простейших и ее связь с гидродинамическими факторами // Вестник Тюменского госуниверситета. Тюмень, 2005. № 5. С. 12-23.

Мухин И.А. Особенности пространственного распределения перифитонных инфузорий в зарослях элодеи канадской на примере Моложского плеса Рыбинского водохранилища // Вестник НСО. Серия физико-математические и естественно-научные дисциплины. Вологда, 2008. № 5. С. 66-70.

Раилкин И.А. Процессы колонизации и защита от биообрастания. СПб., 1998. 272 с.

ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПИРОФОСФАТА НАТРИЯ НА РАСТЕНИЯ ЯЧМЕНЯ СОРТА НОВИЧОК

Л.С. Свинолупова[1], С.Ю. Огородникова[1, 2]
[1] Вятский государственный гуманитарный университет
[2] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: 712ljuba@mail.ru

Пирофосфат натрия – фосфорсодержащее неорганическое соединение, которое поступает в природные среды в ходе хозяйственной деятельности. Загрязнение пирофосфатом натрия (ПФН) может происходить в ходе работы предприятий по уничтожению химического оружия, он образуется в качестве продукта сжигания реакционных масс на втором этапе уничтожения фосфорсодержащих отравляющих веществ (Ашихмина, 2002). Источником ПФН и его производных являются фосфорсодержащие соединения, применяемые в сельском хозяйстве в качестве пестицидов (тетраэтилпирофосфат – бладан, пирофос) (Вальков, 2004). В окружающей среде пирофосфат натрия неустойчив и гидролизуется с образованием фосфатов (Корбридж, 1982).

Пирофосфат натрия в низких концентрациях оказывает влияние на всхожесть семян, рост проростков, накопление биомассы растений. Пороговой дозой, ниже которой не отмечаются токсические эффекты пирофосфата на рост растений ячменя, является 0.01 моль/л.

Цель данной работы – изучение эффектов пирофосфата натрия на биохимические показатели ячменя сорта Новичок.

Опыты проводили в лабораторных условиях, объектом исследования служили растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Новичок. Выполняли две серии опытов, в которых моделировали кратковременное действие ПФН на растения (1-я серия опытов) и хроническое действие ПФН (2-я серия опытов).

В 1-й серии изучали эффекты ПФН на растениях ячменя, выращенных на водной культуре. Опытные 14-дневные растения ячменя выдерживали в течение 1 ч на растворе 0.01 моль/л ПФН (в раствор погружали только корневую систему растений), затем промывали дистиллированной водой и переносили на питательный раствор Кнопа. Контрольные растения не подвергали обработке токсикантом.

Во 2-й серии семена ячменя выдерживали в течение суток в растворе ПФН (0.01 моль/л), контроль – дистиллированная вода. Затем семена высаживали в контейнеры с песком, увлажненным до 60% от полной влагоемкости раствором ПФН (0.01 моль/л) для опытных растений и дистиллированной водой – для контрольных растений.

Оценивали влияние пирофосфата натрия на биохимические показатели растений. В 1-й серии опытов изучали изменение показателей в динамике через 3, 5, 12, 24, 36, 48 ч после инкубации растений на растворе ПФН, во 2-й серии – однократно на 14-е сут. опыта.

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), образующимся в процессе ПОЛ (Лукаткин, 2002). Активность пероксидаз оценивали по накоплению продуктов окисления

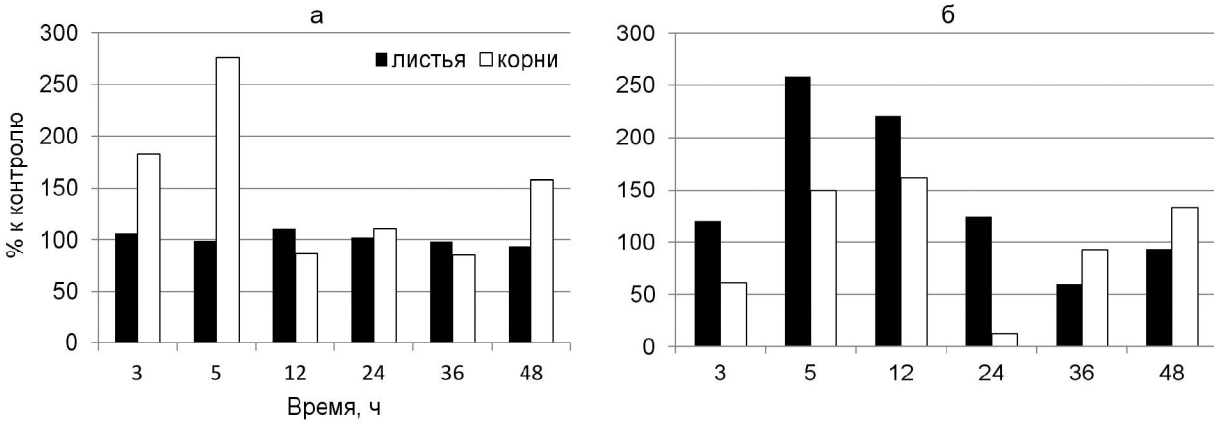


Рис. 1.Динамика изменения биохимических показателей в растительных тканях под влиянием пирофосфата натрия (0.01 моль/л): а – активность пероксидаз, б – интенсивность ПОЛ.

гваякола (Методы..., 1987). Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически на спектрофотометре «Specol 1300» (Германия) в ацетоновой вытяжке (Шлык, 1971). Экстракцию и количественное определение антоцианов проводили по методике Д.А. Муравьевой (1987). Выход электролитов из тканей корней растений в дистиллированную воду (соотношение навеска/вода – 150 мг/50 мл) за 3 ч определяли на кондуктометре INOLAB. Рассчитывали процент выхода электролитов от полного выхода, который оценивали по электропроводности вытяжки после разрушения мембран кипячением (Коваль, 1974).

В ответ на действие неблагоприятных факторов любой природы в растительных тканях генерируются активные формы кислорода (АФК), что сопровождается активацией антиоксидантной защиты растения. Происходит накопление веществ с антиоксидантными свойствами (антоцианы, каротиноиды, аскорбиновая кислота и т.д.), активируются антиоксидантные ферменты (пероксидаза, каталаза, СОД и др.) (Гафуров, 2001).

Установлено, что кратковременное действие пирофосфата натрия на 14-дневные растения ячменя (1-я серия опытов) сопровождалось изменением биохимических показателей. После инкубации растений на растворе ПФН происходило возрастание активности пероксидаз (рис. 1а). Значительная активация пероксидаз в корнях в первые часы опыта свидетельствует об увеличении уровня АФК в растительных тканях. Известно, что данный фермент катализирует процессы окисления различных биологически активных соединений, предотвращая разрушительное действие АФК. В листьях ячменя изменения активности пероксидаз были выражены в меньшей степени по сравнению с корнями ячменя, что, по-видимому, связано со способом обработки (в раствор токсиканта погружали только корни растения). Через 12 ч после обработки растений ПФН активность пероксидаз в растительных тканях восстанавливалась до контрольного уровня.

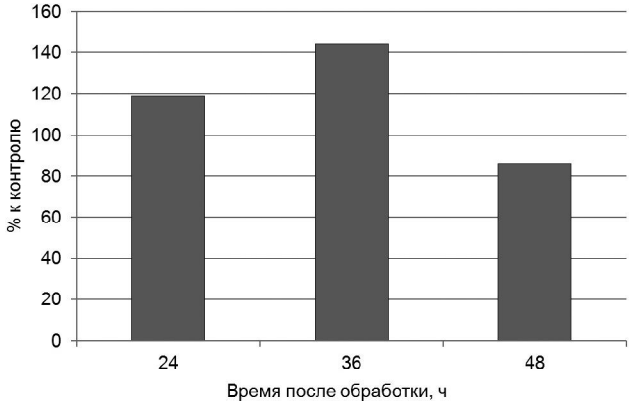


Рис. 2. Динамика изменения уровня антоцианов в листьях ячменя под влиянием пирофосфата натрия (0.01 моль/л).

К числу неспецифических реакций растений на действие неблагоприятных факторов относится интенсификация перекисного окисления липидов в клетках. Установлено, что ПФН (0.01 моль/л) вызывал изменение интенсивности процессов ПОЛ в листьях и корнях (рис. 1б), причем в большей степени содержание МДА возрастало в листьях, где активации пероксидаз не было выявлено. Интенсификация процессов ПОЛ сопровождалась усилением экзосмоса электролитов из корней растений. Максимальное значение выхода электролитов было отмечено через 24 ч после обработки растений (на 27% выше контрольного уровня). Восстановление интенсивности процессов ПОЛ в листьях и корнях до контрольного уровня отмечали через 36 ч после действия пирофосфата натрия.

Показателем состояния антиоксидантной системы является накопление низкомолекулярных веществ-антиоксидантов, к числу которых относятся антоцианы. Нами установлено, что кратковременное действие ПФН вызывало накопление вакуолярных пигментов, высокая концентрация антоцианов в листьях была отмечена через 36 ч действия токсиканта (рис. 2). Известно, что антоцианы выполняют протектор-

ную функцию и участвуют в подавлении окислительных процессов в растительных тканях. Накопление антоцианов в листьях опытных растений свидетельствует о развитии окислительных процессов в растительных тканях.

Кратковременная инкубация растений на растворе ПФН вызвала обратимые изменения в пигментном комплексе растений (табл. 1). Действие токсиканта в первые сутки опыта проявлялось в достоверном увеличении содержания каротиноидов. Соотношение хлорофиллов *a*/*b* и хлорофиллов/каротиноидов было стабильным. Далее происходило восстановление содержания пигментов до уровня контрольных растений. Полученные данные свидетельствуют о том, что экспозиция растений на растворе пирофосфата натрия в течение 1 ч не вызвала существенных изменений в пигментном комплексе растений, что, возможно, связано с эффективной работой антиоксидантной системы в целом.

Таблица 1

Действие пирофосфата натрия на содержание пластидных пигментов, мг/г сухой массы

Время, ч	Вариант	Хлорофилл		Сумма каротиноидов
		а	б	
12	H_2O (контроль)	6.22±0.25	2.62±0.03	1.23±0.02
	ПФН (0.01 М)	6.85±0.31	2.68±0.10	1.38±0.04*
36	H_2O (контроль)	7.12±0.47	2.63±0.01	1.40±0.09
	ПФН (0.01 М)	6.89±0.11	2.66±0.08	1.39±0.01

Примечание. Здесь и в табл. 2 разница между контролем и опытом статистически значима при $p \leq 0.05$.

Изменения биохимических процессов, которые были выявлены в листьях опытных растений свидетельствуют о том, что ПФН обладает системным действием, поглощается корневой системой и транспортируется по сосудам ксилемы в надземные органы.

Во 2-й серии опытов изучены биохимические реакции растений на хроническое действие ПФН. Как и в опыте с кратковременной обработкой, длительное действие ПФН приводило к росту интенсивности окислительных процессов в растительных тканях. Установлено, что активность пероксидаз в листьях и корнях растений ячменя, выращенных в присутствии ПФН, достоверно выше по сравнению с контролем (табл. 2).

Таблица 2

Влияние пирофосфата натрия на биохимические показатели растений

Вариант	H_2O (контроль)	ПФН (0.01 моль/л)	% к контролю
Активность пероксидаз, ед./г сырой массы			
Лист	328.06±6.53	360.65±3.95*	110
Корень	399.63±3.88	464.62±9.89*	116
Содержание МДА, мкмоль/г сырой массы			
Лист	4.52±0.71	6.28±0.81	139
Корень	3.64±0.40	5.52±0.54	152
Концентрация суммы антоцианов, %			
Лист	0.0164±0.0017	0.0403±0.0089*	245
Содержание каротиноидов, мг/г сухой массы			
Лист	1.08±0.03	1.30±0.05*	120
Содержание хлорофилла a, мг/г сухой массы			
Лист	5.16±0.26	8.17±0.12*	158
Содержание хлорофилла b, мг/г сухой массы			
Лист	2.43±0.15	4.32±0.25*	178

Наряду с усилением активности пероксидаз отмечали высокий уровень интенсивности процессов ПОЛ в растительных тканях опытных растений. В большей степени ПФН инициировал процессы ПОЛ в корнях, содержание МДА в тканях было в 1.5 раза выше по сравнению с контролем. В листьях ячменя, выращенного в присутствии ПФН, уровень МДА составлял 139% от контроля.

Действие ПФН вызывало накопление в листьях ячменя веществ с антиоксидантными свойствами – антоцианов и каротиноидов. Выявлено существенное (в 2.5 раза) возрастание антоцианов и достоверное увеличение количества каротиноидов (1.2 раза) в тканях опытных растений. Вероятно, накопление антиоксидантов направлено на снижение уровня АФК и восстановление про-/антиоксидантного равновесия в тканях листьев.

Изучение пигментного комплекса растений позволило выявить изменения в качественном и количественном содержании пластидных пигментов (табл. 1). Так, суммарное содержание хлорофилла *a* и *b* в листьях опытных растений более чем в 1.5 раза превысило уровень контрольных растений. По-видимому, возрастание уровня пластидных пигментов в листьях в условиях хронического действия ПФН является следствием повышения содержания необходимого для растений фосфат-иона, который образовался в результате гидролитического разложения пирофосфата натрия в условиях хронического опыта.

Установлено, что пирофосфат натрия в концентрации 0.01 моль/л независимо от длительности действия на растения вызывал изменения биохимических показателей: активацию пероксидаз и интенсификацию процессов ПОЛ, изменения в пигментном комплексе растений, накопление антоцианов, возрастание выхода электролитов из корней. Внесение ПФН в субстрат для выращивания вызывает биохимические изменения в листьях растений ячменя, что свидетельствует о системном действии токсиканта. Кратковременное действие ПФН вызывало обратимые изменения биохимических показателей растений, восстановление которых происходило в течение 48 ч после инкубации. Вы-

ращивание растений на загрязненном субстрате (хроническое действие ПФН) приводило к активации окислительных процессов: накопление веществ-антиоксидантов, продуктов ПОЛ, активация пероксидаз. Отмечали увеличение уровня зеленых пигментов в листьях опытных растений, что может быть следствием появления в среде доступного для растений фосфат иона, образующегося в ходе гидролиза ПФН.

Литература

Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.

Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение. М., 2004. 496 с.

Гафуров Р.Г. Стратегия направленного химического синтеза фиторегуляторов и стресспротекторов нового поколения и результаты их испытания // Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях: Тез. докл. Междунар. конф. М., 2001. С. 87.

Коваль С.Ф. Исследования свойств клеточных мембран и устойчивости растений по вымываемости электролитов // Известия Сибирского отделения АН СССР. Сер. биол. наук, 1974. № 15. Вып. 3. С. 161-167.

Корбридж Д. Фосфор: основы химии, биохимии, технологии. М.: Мир, 1982. 680 с.

Лукаткин А.С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2002. 208 с.

Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармакология, 1987. Т. 36. С. 28-29.

Рудковская О.Н., Сунцова Н.С., Огородникова С.Ю. Изучение эффекта малых и сверхмалых доз пирофосфата натрия на растения // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Матер. докл. молодеж. науч. конф. Киров, 2009. С. 104-106.

Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154-171.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИКЕЛЯ (II) И МЕДИ (II) НА ПРИРОДНЫЕ БИОПЛЕНКИ *NOSTOC COMMUNE*

Е.М. Сластникова, А.И. Фокина, Е.А. Горностаева[1], К.В. Кокоулина, С.Ю. Огородникова[2]
Вятский государственный гуманитарный университет
E-mail: slastnikovna.11@gmail.com
[1] Вятская государственная сельскохозяйственная академия
E-mail: g_lentochka@mail.ru
[2] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: svetao_05@mail.ru

Проблема поиска универсального метода биотестирования остается актуальной. В частности, в последние годы доказано, что организмами-биотестерами на химическое загрязнение окружающей среды являются почвенные цианобактерии. Кроме того, они могут служить уникальными биосорбентами тяжелых металлов. Одной из перспективных в этом плане культур является *Nostoc commune*.

Цель исследования – выявление влияния ионов никеля (II) и меди (II) на физиолого-биохимические показатели природных биопленок *Nostoc commune* и сорбционной способности организмов по отношению к указанным ионам ТМ.

Объектами были природные пленки *Nostoc commune*, собранные в октябре 2006 г. вдоль железной дороги и у обочины шоссейной дороги на окраине г. Дзержинск Нижегородской области, который является одним из неблагополучных городов России. Их видовой состав представлен в табл. 1. На гомогенат культуры в водном растворе воздействовали солями меди и никеля ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и $NiSO_4 \cdot 7H_2O$) с концентрациями ионов металлов 2 и 20 мг/дм^3. Брали не только индивидуальные растворы солей, но и их смеси в указанных концентрациях. Время экспозиции культуры с токсикантами составляло 1 ч и 1 сут. Активность каталазы определяли газометрическим методом (Хазиев, 2005). Хлорофилл *a* определяли спектрометрическим методом по монохроматической методике (Standard procedure..., 2000). Измерения интенсивности биохемилюминесценции (ИБХЛ) проводили на биохемилюминометре БХЛ-07 (ЦНИЛ НГМА; «ИМБИО», Нижний Новгород, Россия).

При изучении сорбционных способностей опыт закладывали с сухими, растертыми в ступке до порошкообразного состояния пленками *Nostoc commune*, а также в виде гомогената. Сорбционную способность исследовали с собранными пленками и пленками после очистки (проводили выращиванием на среде Громова № 6 без азота), после чего видовой состав обоих сообществ стал одинаковым: *Nostoc commune, N. punctiforme, Leptolyngbya foveolarum, Plectonema nostocorum*. Остаточное содержание ионов никеля (II) и меди (II) в растворе определяли методом инверсионной вольтамперометрии на приборе Экотест-ВА с датчиком «Модуль ЕМ-04» (Сборник..., 2004).

Активность каталазы под действием токсикантов со временем возрастает, но снижается при контакте в течение 24 ч. Смесь токсикантов в первый час вызывает резкое усиление ка-

талазной активности, в индивидуальных растворах значения выше. По сравнению с контролем токсиканты стимулируют каталазную активность, что говорит о напряжении в работе биологических систем культуры. Наибольшее напряжение вызывает раствор никеля. Наиболее оптимальной для контакта формой ЦБ является гомогенат культуры.

Через сутки почти во всех вариантах ИБХЛ снижается (табл. 2). Особенно отчетливо это заметно в вариантах с ионами меди. Неоднозначно влияние ионов никеля. По сравнению с контролем в большинстве случаев ионы никеля ослабляют ИБХЛ, но по сравнению с вариантами, где токсикантом является медь, свечение сильнее.

Наиболее приемлемым вариантом при проведении биотестирования является вариант экспозиции в течение суток. В этом случае варианты по увеличению токсичности среды можно расположить в следующем порядке: контроль > Ni^{2+} (2) > Ni^{2+} (20) > Cu^{2+} (2) > Cu^{2+} (2) + Ni^{2+} (2) > Ni^{2+} + Cu^{2+} (20) > Cu^{2+} (20).

Результаты исследования влияния токсикантов на содержание хлорофилла представлены на рисунке. Четкой закономерности не выявлено. Заметна большая токсичность Cu^{2+}, чем Ni^{2+}. При этом падение содержания хлорофилла *a* наблюдается только через 1 сут., испытуемые поллютанты оказывают сильное действие на культуру ЦБ *Nostoc commune*. При культивировании ЦБ *Nostoc commune* в среде с добавлением никеля и меди происходят существенные изменения в содержании хлорофилла *a*.

Результаты исследования сорбционной способности представлены в табл. 3.

Сорбционные возможности очищенной биопленки оказались значительно выше. Скорее всего, при выращивании на среде Громова № 6 остались виды с большим сорбционным потенциалом. Во-вторых, содержащиеся до очистки в биопленке ТМ препятствовали поглощению ионов никеля (II) и меди (II).

Исследование сорбционных возможностей очищенной биопленки и ее гомогената показали, что разница в поглощении ионов никеля и меди практически отсутствует. После очистки содержание ТМ в пленке снизилось почти в два раза.

Выводы:

1. Сообщество биопленок *Nostoc commune* различных экотопов отражает специфику техногенного воздействия на окружающую среду.

Таблица 1

Видовой состав фототрофов биопленок *Nostoc commune* вблизи автомобильной и железной дорог

Группы фототрофов	Автомобильная дорога	Железная дорога
Азотфиксирующие гетероцистные цианобактерии	1. *Nostoc commune* 2. *Nostoc punctiforme* 3. *Tolypothrix tenuis* 4. *Calothrix elenkinii* 5. *Microchaete tenera*	1. *Nostoc commune* 2. *Nostoc punctiforme*
Безгетероцистные цианобактерии	6. *Phormidium autumnale* 7. *Ph. boryanum* 8. *Ph. formosum* 9. *Leptolyngbya frigidum* 10. *L. fragilis* 11. *l. foveolarum* 12. *L. angustissima* 13. *Trichonema granulate* 14. *Oscillatoria sp.*	3.*Phormidium autumnale* 4. *Phormidium molle* 5.*Leptolyngbya fragilis*
Одноклеточные зеленые водоросли	15. *Clorella vulgaris* 16. *Chlamydomonas gloeogama* 17. *Clorococcum sp.* 18. *Coenocystis planctonica*	6. *Chlorella murabilis*
Нитчатые зеленые водоросли	19. *Stichococcus bacillaris* 20. *Klebsormidium flaccidum* 21. *Kleb. rivulare*	
Желтозеленые водоросли	22. *Characiopsis minima* 23. *Eustigmatos magna*	

Таблица 2

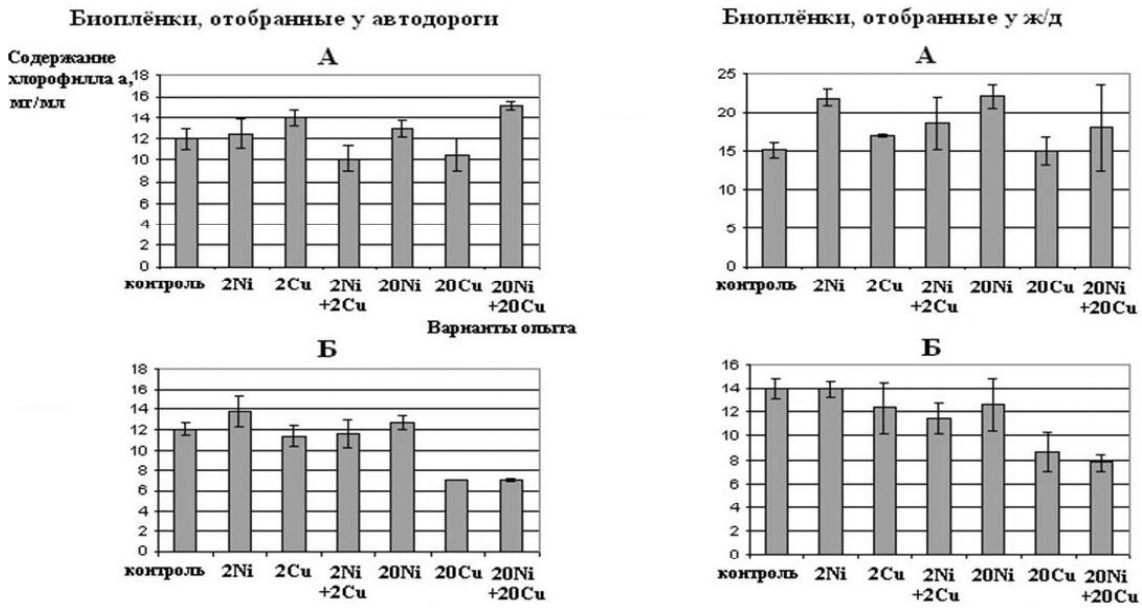
Влияние ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} и времени экспозиции на интенсивность биохемилюминесценции биопленок, I_{max}(mB)

Концентрации, мг/дм^3	Вблизи автодороги		Вблизи железной дороги	
	Через час	Через сутки	Через час	Через сутки
Контроль	399 ± 25	267 ± 33	314 ± 37	209 ± 5
Ni^{2+}, 2	114 ± 9	130 ± 10	347 ± 41	204 ± 22
Cu^{2+}, 2	110 ± 11	3 ± 1	105 ± 6	52 ± 2
Ni^{2+} + 2 Cu^{2+}, 2	138 ± 19	2 ± 0	246 ± 29	45 ± 6
Ni^{2+}, 20	222 ± 9	54 ± 10	240 ± 10	178 ± 9
Cu^{2+}, 20	9 ± 2	4 ± 1	12 ± 1	0
Ni^{2+} + 20 Cu^{2+}, 20	10 ± 2	1 ± 0	11 ± 1	3 ± 0

Таблица 3

Остаточное содержание металлов в растворе после контакта с культурой в виде пленки до и после очистки, %

Вариант, мг/л	Остаточное содержание ионов металла в растворе			
	Cu^{2+}		Ni^{2+}	
	До очистки	После очистки	До очистки	После очистки
Cu^{2+}, 2	20.50	4.50		
Cu^{2+}, 20	20.50	13.25		
Ni^{2+}, 2			11.50	1.50
Ni^{2+}, 20			50.00	25.00
Ni^{2+} + Cu^{2+}, 2	15.00	5.00	10.50	0.30
Ni^{2+} + Cu^{2+}, 2	7.65	15.70	61.35	41.8



Влияние ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} и времени экспозиции на содержание хлорофилла а в биопленках: А – через 1 ч экспозиции; Б – через 1 сут. экспозиции.

2. Испытуемые поллютанты оказывают сильное действие на культуру ЦБ *Nostoc commune*. При культивировании ЦБ *Nostoc commune* в среде с добавлением никеля и меди происходят существенные изменения в содержании хлорофилла *a*. Из двух испытанных токсикантов никель обладает более репрессивным действием по сравнению с медью. Культура ЦБ *Nostoc commune* может считаться хорошим сорбентом.

Литература

Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.

Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. 61 с.

Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

Standard procedure for the determination of chlorophyll *a* by spectroscopic methods. Institute of Marine Research. Norway, 2000. 25 p.

АНТИОКСИДАНТНАЯ РОЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЫХАНИЯ ПРИ ДЕЭТИОЛЯЦИИ ЛИСТА ПШЕНИЦЫ

М.А. Шелякин, Е.В. Коковкина
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: shelyakin@ib.komisc.ru, kokovkina@ib.komisc.ru

Дыхание – это источник энергии и процесс, участвующий в адаптации организма к окружающей среде. Дыхательная электрон-транспортная цепь (ЭТЦ) растительных митохондрий отличается от животных по составу переносчиков электронов. Помимо основного цитохромного пути (ЦП) ЭТЦ содержит альтернативный путь (АП) транспорта электронов от пула убихинона через альтернативную оксидазу, передающую электроны на кислород, восстанавливая его до воды (Vanlerberghe, McIntosh, 1997). АП не сопряжен с генерацией протонного градиента, поэтому является энергетически малоэффективным. Считается, что вовлечение АП обеспечивает поддержание окислительно-восстановительного баланса в ЭТЦ за счет более быстрого окисления НАДН и препятствует образованию избыточного количества активных форм кислорода (Maxwell et al., 1999) особенно при стрессе, в том числе, при фотоокислении (Noguchi, Yoshida, 2008).

Зеленение – это светоиндуцируемый процесс формирования пластид и тилакоидной системы хлоропластов. При деэтиоляции интенсивность дыхания возрастает, так как увеличиваются энергетические потребности для формирования фотосинтетического аппарата и других клеточных структур (Effects..., 2000). В процессе зеленения свет может являться стрессовым фактором для растений. При деэтиоляции листа избыток света может индуцировать образование активных форм кислорода (АФК), поэтому зеленение является удобной моделью для выявления роли АП в поддержании баланса про-/антиоксидантной системы растений.

Относительная скорость роста (ОСР), дыхание и показатели окислительного стресса проростков пшеницы в процессе зеленения

Часы зеленения	ОСР, г/г сухой массы ч	Интенсивность общего дыхания (ОД), нмоль O_2/г сырой массы мин.	Доля АП, % от ОД	Содержание O_2^-, D/г сух массы	ПОЛ, содержание ТБК-реагирующих продуктов, нмоль/г сырой массы
0	0.037±0.01	184 ± 10	10	14.3 ± 0.6	15 ± 0.7
6	0.050±0.01	330 ± 25	50	25.7 ± 3.0	29 ± 2.2
12	–	240 ± 10	40	20.4 ± 0.3	32 ± 2.3
24	0.013±0.001	260 ± 19	35	18.4 ± 0.6	25 ± 2.0
48	0.002±0.001	260 ± 18	35	23.1 ± 1.0	26 ±1.6

Цель работы – выявить изменение дыхания и соотношения дыхательных путей в процессе деэтиоляции проростков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L., с. Иргина) в связи с возможной антиоксидантной ролью альтернативного пути дыхания.

Для этого пятидневные этиолированные проростки переносили в условия непрерывного света интенсивностью 200 мкмоль/м^{2}с. Интенсивность дыхания измеряли по скорости поглощения O_2 полярографически с использованием электрода Кларка (Oxytherm, Hansatech, Англия), уровень ПОЛ – по накоплению ТБК-реагирующих продуктов (Лукаткин, Голованова, 1988). Содержание супероксид-аниона (O_2^-) определяли по его способности восстанавливать нитросиний тетразолий (Chaitanya, Naithani, 1994).

Процесс зеленения проростков сопровождался их интенсивным ростом. К моменту экспозиции растений на свет их относительная скорость роста (ОСР) была высокой и составляла 0.03 г/г ч или 0.9 г/г сут. В первые 6 ч зеленения ОСР повысилась и соответствовала 0.05 г/г ч. После суток зеленения скорость роста снизилась (см. таблицу).

В ходе формирования фотосинтетического аппарата происходило изменение дыхательной активности листьев. В начале зеленения скорость поглощения O_2 составляла около 190 нмоль/г сырой массы·мин. В течение первых 6 ч на свету дыхание возрастало, а через сутки – снизилось. В этиолированных проростках дыхание осуществлялось преимущественно по цитохромному пути (70%). Доля АП от общего дыхания возрастала от 10 до 50% в течение первых 6 ч зеленения, т.е. в период высокой скорости роста. Затем скорость дыхания и доля АП снизились (см. таблицу). Изменение ОСР совпадало с динамикой дыхания и активностью АП.

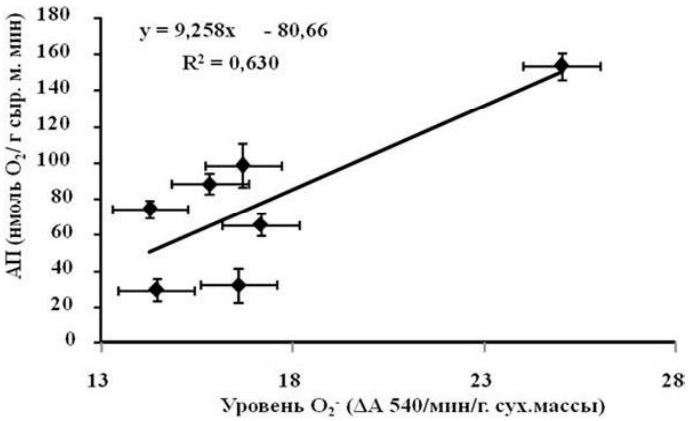
Одной из опасных АФК является супероксид ион (O_2^-), образующийся при присоединении одного электрона к молекуле кислорода. Несмотря на то, что время жизни O_2^- в биологических субстратах составляет около 10^{-6} с, этот анион-радикал представляет опасность тем, что способен повреждать все важные биологические макромолекулы. При присоединении одного электрона к супероксид-аниону образуется H_2O_2, которая также относится к мощным окислителям (Noctor, Foyer, 2003).

Согласно нашим данным, концентрация O_2^- постепенно увеличивалась и достигла максимальной величины после 6 ч освещения. Затем содержание этого аниона снизилось до первоначальной величины (см. таблицу).

О степени повреждения активными формами кислорода обычно судят по уровню перекисного окисления липидов. Содержание ТБК-реагирующих продуктов увеличивалось в первые 12 ч зеленения, затем наблюдали снижение этого показателя (см. таблицу). Таким образом, интенсивность ПОЛ снизилась позже, чем уменьшилась концентрация супероксида как прооксиданта. Это согласуется с общими представлениями о временной динамике развития окислительного стресса в клетке.

В целом, некоторое усиление окислительных процессов в первые 6-12 ч зеленения сменилось последующей стабилизацией про-/антиоксидантного баланса. Это может указывать на эффективность структур, направленных на снижение образования и детоксификацию АФК. Выявлена положительная линейная связь между активностью АП и содержанием супероксид-аниона (см. рисунок).

Судя по коэффициенту детерминации (R^2 = 0.43), линейная связь между уровнем ПОЛ и активностью АП (y = 4.7x – 37.3) носила слабый характер. Возможно, это связано с тем, что высокий уровень ПОЛ в конце 12 ч светового периода соответствовал снижению активности АП.



Связь между активностью АП и уровнем O_2^- в проростках пшеницы в процессе зеленения.

Таким образом, установлено, что изменение относительной скорости роста, скорость дыхания и активность альтернативного пути дыхания (АП) листьев проростков при зеленении имели сходный характер. Выявлена положительная линейная связь между активностью АП и содержанием супероксид-аниона O_2^-. Уровень ПОЛ и активность АП слабо коррелировали между собой. Полученные результаты позволяют предположить, что активация АП при деэтиоляции направлена не только на предотвращение образования АФК. По-видимому, на начальных этапах зеленения АП способствует поддержанию работы цикла Кребса, поставляющего необходимые для биосинтеза метаболиты в условиях высокой скорости роста.

Работа поддержана проектом УрО РАН 12-У-4-1008.

Литература

Лукаткин А.С., Голованова В.С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений, 1988. Т. 35. Вып. 4 С. 773-780.

Chaitanya K.S.K., Naithani S.C. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss of viability in seeds of *Shorea robusta* Faertn // New Phytol., 1994. Vol. 126. P. 623-627.

Maxwell D.P., Wang Y., McIntosh L. Alternative oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cells // Biology, 1999. Vol. 96. P. 8271-8276.

Foyer C.H., Noctor G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria // Physiologia Plantarum, 2003. Vol. 119. P. 355-364.

Noguchi K., Yoshida K. Interaction between photosynthesis and respiration in illuminated leaves // Mitochondrion, 2008. Vol. 8. P. 87-99.

Effects of light on respiration and oxygen isotope fractionation in soybean cotyledons / *M. Ribas-Carbo, S.A. Robinson, M.A. Gonzalez-Meler* et al. // Plant Cell and Environment, 2000. Vol. 23. P. 983-989.

Vanlerberghe G.C., McIntosh L. Alternative oxidase: from gene to function // Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol., 1997. Vol. 48. P. 703-734.

РЕЗОЛЮЦИЯ
XIX ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ» (Сыктывкар, 2-6 апреля 2012 г.)

XIX Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила 2-6 апреля 2012 г. и была посвящена 50-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН. В стенах Института собрались аспиранты, кандидаты и доктора наук, сотрудники различных организаций и студенты вузов, интересующиеся вопросами биологии и экологии и участвующие в научно-исследовательской работе. Основная цель конференции – создание условий для общения молодых исследователей друг с другом, поиска новых идей и возможности представить и обсудить в кругу квалифицированных специалистов результаты своих научных трудов. Организаторами конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии при поддержке администрации Института и Президиума Уральского отделения РАН.

Всего 170 участников, из них 76 – молодые ученые Института биологии, 29 – из других организаций Сыктывкара (СыктГУ, Коми государственный педагогический институт, Сыктывкарский лесной институт), 65 – из других городов России (включая авторов и соавторов) (Апатиты, Архангельск, Вологда, Ижевск, Красноярск, Киров, Кострома, Москва, Пущино, Улан-Удэ, Санкт-Петербург, Саранск, Ярославль, пос. Борок, Kuopio).

Организации – участники конференции: Вологодская лаборатория ФГНУ «ГосНИОРХ», Вологодский государственный педагогический университет, г. Вологда; Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург; Вятский государственный гуманитарный университет, г. Киров; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар; Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок; Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, г. Москва; Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ; Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино; Костромской государственный университет им. Н.А. Некрасова, г. Кострома; Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва; Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН, г. Апатиты; Пущинский государственный естественно-научный институт, г. Пущино; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва; Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск; Северный филиал ФГУП ПИНРО (Северный филиал Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича), г. Архангельск; Удмуртский государственный университет, г. Ижевск; филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Кировской области, г. Киров; Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль; Ярославская государственная сельскохозяйственная академия; Сибирский федеральный университет, г. Красноярск; University of Eastern Finland, Department of Environmental, Kuopio.

Среди участников – три доктора наук, более 50 кандидатов наук разных специальностей, 29 аспирантов и 29 студентов.

На конференции прозвучало 128 сообщений, в том числе пять пленарных. Конференцию открыл доклад д.б.н. С.В. Дёгтевой «Институт биологии Коми НЦ УрО РАН – ведущее исследовательское учреждение естественно-научного профиля на европейском северо-востоке России». В.И. Пономарев представил вниманию слушателей доклад, посвященный развитию международных отношений Института биологии и сохранению биоразнообразия европейского Севера на примере проекта ПРООН/ГЭФ. Традиционно основная часть докладов затронула проблемы изучения, охраны и рационального использования животного и растительного мира. Это фаунистические и экоморфологические исследования позвоночных животных, фауна и экология беспозвоночных животных, исследования бентоса и паразитофауны, криптогамных организмов, флоры и растительности, исследования высших растений на разных уровнях организации. Существенное внимание уделено вопросам, связанным с последствиями загрязнения окружающей среды поллютантами различной природы, изменением структурно-функциональной организации экосистем при антропогенном воздействии, исследованию почв. Рассмотрены биотехнологические, молекулярно-генетические и физиолого-биохимические механизмы устойчивости и продуктивности организмов.

Впервые в рамках молодежной конференции была проведена школа для молодых ученых «Моделирование динамики углерода в лесных экосистемах», форма проведения которой включала два этапа: 1) обзорная лекция была посвящена общим принципам моделирования, системе моделей EFIMOD и некоторым примерам ее применения; 2) практическая часть, заключающаяся в работе на компьютере, обработке климатических данных, построении моделей, обсуждении и т.д. В качестве основного докладчика был приглашен д.б.н. А.С. Комаров (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН). Школа вызвала интерес у молодых исследователей. Положительный опыт участия в такой работе ведущих ученых РАН и молодых специалистов из разных научных организаций и вузов будет использован и в дальнейшем.

В рамках конференции А.Н. Кирпичевым (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) было представлено сообщение «Представление научной организации в сети интернет на примере сайта Института биологии», которая вызвала большой интерес у слушателей.

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 работы конференции выполнена в полном объеме. Участники конференции отметили высокий уровень организации и проведения конференции, актуальность обсуждаемых аспектов и значимость полученных сведений для научной работы, а также насыщенную и интересную культурную программу.

Подводя итог обсуждению основных рассмотренных проблем, конференция рекомендует:

1. Институту биологии Коми НЦ УрО РАН издать материалы докладов, представленных на конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии», тиражом 180 экз.

2. Совету молодых ученых разместить электронную версию материалов докладов на сайте Института биологии.

3. Продолжить проведение в рамках молодежной конференции школы для молодых ученых, а также обзорные лекции по вопросам современной науки.

4. Закрепить выбор лучших докладов в каждой секции по следующим номинациям: «Лучшая студенческая работа», «Лучшая аспирантская работа», «Лучшая кандидатская работа».

5. Совету молодых ученых Института биологии провести XX Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2013 г. в рамках II Всероссийской научной конференции «Молодежь и наука на Севере».

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ и Президиум Уральского отделения РАН за помощь и финансовую поддержку в проведении конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Пленарный доклад

Осипов А.Ф.
БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА В ЗАБОЛОЧЕННЫХ СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ 4

Секция 1. Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира

Батаногова Ю.Н.
МАТЕРИАЛЫ К АДВЕНТИВНОЙ ФЛОРЕ ШАРКАНСКОГО РАЙОНА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ 8
Березина М.О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ В ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД БЕЛОГО МОРЯ 9
Гришуткин О.Г.
ОСОБЕННОСТИ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ АЛАТЫРЬ (РЕСПУБЛИКА МОРДОВИЯ) 12
Грозовская И.С.
ОЦЕНКА БИОМАССЫ МИКРОГРУППИРОВОК ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПИХТО-ЕЛЬНИКОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ 14
Грозовский С.А.
ЛЕСА С ПИХТОЙ СИБИРСКОЙ НА ЗАПАДНОЙ ГРАНИЦЕ ЕЕ АРЕАЛА (НА ПРИМЕРЕ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ) 16
Друзь Ю.И., Шадрин Д.М., Пылина Я.И.
ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ РОДСТВО ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА CARYOPHYLLACEAE НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ITS1, ITS2 И ГЕНА 5.8SPPHK 18
Дубровский Ю.А., Новаковский А.Б.
ПИХТОВЫЕ ЛЕСА СЕВЕРНОГО И ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА 21
Дулин М.В.
ПЕЧЕНОЧНИКИ СКАЛЬНЫХ ВЫХОДОВ БАССЕЙНА РЕКИ ИЛЫЧ (РЕСПУБЛИКА КОМИ) 23
Жук М.А.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИКИХ РОДИЧЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 26
Зянкина Е.Н.
ЭКОТОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АДВЕНТИВНОЙ ФЛОРЫ ВОТКИНСКОГО РАЙОНА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ 27
Иванова Н.В.
ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ЛИШАЙНИКА ЛОБАРИЯ ЛЕГОЧНАЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА ШАРЬЯ (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ) 29
Клабукова И.П.
ПАПОРОТНИКИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ 32
Косолапов Д.А.
РАЗНООБРАЗИЕ АФИЛЛОФОРОИДНЫХ ГРИБОВ КОМПЛЕКСНОГО ЗАКАЗНИКА «СИНДОРСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КОМИ) 33
Кутявин И.Н.
СТРОЕНИЕ ДРЕВОСТОЕВ КОРЕННЫХ СОСНЯКОВ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА 36
Манов А.В.
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЕЛЬНИКЕ РАЗНОТРАВНО-ЧЕРНИЧНОМ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ 38
Паламарчук М.А.
АГАРИКОИДНЫЕ БАЗИДИОМИЦЕТЫ ХРЕБТА МАНЬХАМБО (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ) 40
Патова А.Д., Новаковская И.В.
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ *NOSTOC COMMUNE* VAUCH. EXBORN. & FLAH. ГОРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ МЕСТООБИТАНИЙ 42
Пестов С.В.
ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ РЯБИНЫ РЖАВЧИНОЙ 45
Пылина Я.И., Шадрин Д.М.
ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ДАННЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ТРИБЫ CARDUEAE CASS. СЕМЕЙСТВА ASTERACEAE DUMORT. 47

Рогозина О.А., Валуйских О.Е.
ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *RUBUS CHAMAEMORUS* L.
В РАЗНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ 50
Рябова Е.В.
ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ *JURINEA CYANOIDES* (L.) REICHENB.
В ОСТЕПНЕННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ 51
Семенова Н.А.
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИИ *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM.
В ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ 53
Филиппов Д.А.
ФЛОРА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ 55
Филиппов Д.А., Дулин М.В.
ПЕЧЕНОЧНИКИ СОЙДОЗЕРСКОГО ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ
(ВЫТЕГОРСКИЙ РАЙОН, ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ) 57

Секция 2 Изучение, охрана и рациональное использование животного мира

Адамова Я.А.
МИКОБИОТА *PHOXINUS PHOXINUS* L. ИЗ РЕКИ ЧОВЬЮ 60
Бабурина Т.Н., Батурина М.А.
ФАУНА ЗАРОСЛЕЙ (КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, СТРУКТУРА, РАЗНООБРАЗИЕ)
НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО ВОДОЕМА 63
Безбородов А.С., Левицкий А.Л.
ПОДХОД БЕЛОМОРСКОЙ СЕЛЬДИ В СОРОКСКУЮ ГУБУ БЕЛОГО МОРЯ В 2011 ГОДУ 66
Белозерова А.М.
ФАУНА ПАРАЗИТОВ *RUTILUS RUTILUS* (L.) ИЗ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА 68
Воробьева Л.В., Иванчев В.П., Семерной В.П.
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ ПРА
РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ В 2010 ГОДУ 70
Гаврилина Л.Е., Ситар А.А.
ПАРАЗИТОФАУНА И КОМПОНЕНТНОЕ СООБЩЕСТВО *PHOXINUS PHOXINUS* (L.)
ИЗ НИЗОВИЙ РЕКИ ШАЙТАНОВКА (БАССЕЙН ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ПЕЧОРА) 73
Горбатова М.В.
ЭКОЛОГИЯ И МОРФОЛОГИЯ ЛЯГУШЕК ЛЕСОСТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 75
Данилова Е.В.
ВЕСЕННЯЯ МИГРАЦИЯ РЖАНКООБРАЗНЫХ ПТИЦ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫСОЛА
(РЕСПУБЛИКА КОМИ) 77
Евтушенко З.В.
ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР ВОЛЧЬИХ
(МЕГОРСКИЙ БАССЕЙН) ЗА ПЕРИОД 2002-2011 ГОДЫ 79
Желудкова А.И.
СЛУЧАЙ ЗАБОТЫ БЕЛУХИ (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*) О ПОТОМСТВЕ
В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ (СОЛОВЕЦКОЕ РЕПРОДУКТИВНОЕ СКОПЛЕНИЕ, БЕЛОЕ МОРЕ) 81
Зиновьева А.Н.
К ПОЗНАНИЮ ФАУНЫ НАСЕКОМЫХ КОМПЛЕКСНОГО ЗАКАЗНИКА «ПОНЪЮ-ЗАОСТРЕННАЯ» ... 83
Кулакова О.И.
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ВНУТРИВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БЕЛЯНОЧЕК РОДА LEPTIDEA
(LEPIDOPTERA, PIERIDAE) НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ 86
Мазур В.В.
ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ МИКРО- И МАКРОЭЛЕМЕНТОВ
В СИСТЕМАХ «РЫБА–ПАРАЗИТЫ РЫБ» И «РЫБА–ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ»
НА ПРИМЕРЕ ВОДОТОКОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ 87
Павлович Е.А.
ПАРАЗИТОФАУНА ГОЛЬЯНА *PHOXINUS PHOXINUS* (L.) ИЗ РЕКИ КЫЛТЫМЬЮ
(ОКРЕСТНОСТИ ГОРОДА СЫКТЫВКАР) 89
Расова Е.Е.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА АТМОСФЕРУ
И ПРОДУКТЫ ПЧЕЛОВОДСТВА В ОКРЕСТНОСТЯХ СЫКТЫВКАРА 91
Рафиков Р.Р.
ФОРМИРОВАНИЕ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
РЕСПУБЛИКИ КОМИ 94
Селиванова Н.П., Шипилина Д.А.
ПОДВИДОВАЯ СПЕЦИФИКА ПЕНОЧКИ-ТЕНЬКОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ
(ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР) 96
Ситар А.А.
ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ *DIPLOSTOMUM PHOXINI*
В ПОПУЛЯЦИЯХ ЗДОРОВОГО И ПОРАЖЕННОГО ОПУХОЛЯМИ ГОЛЬЯНА ОБЫКНОВЕННОГО
PHOXINUS PHOXINUS (L.) 98
Соломатин Ю.И.
ЧИСЛЕННОСТЬ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ
РУСЛОВОЙ ЧАСТИ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 99

Уфимцев К.Г., Пестов С.В.
НАСЕКОМЫЕ-ФИТОФАГИ НЕКОТОРЫХ ЭКДИСТЕРОИДСОДЕРЖАЩИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА SERRATULA 101
Флёрова Е.А., Шарова Е.С.
ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАТОНКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕЙКОЦИТОВ КАРПООБРАЗНЫХ РЫБ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА 103
Цепелева М.Л.
СООБЩЕСТВА ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РЕКИ ИВКИНА (ВОЛЖСКИЙ БАССЕЙН) 106
Юрченко В.В.
АКТИВНОСТЬ ЭТОКСИРЕЗОРУФИН-*O*-ДЕЭТИЛАЗЫ В ПЕЧЕНИ ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA* L.) ИЗ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 108

Секция 3. Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем

Вараксина Н.В., Олькова А.С.
ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА *DAPFNIA MAGNA* 111
Василевич Р.С.
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПОЧВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ 113
Виноградова Ю.А.
БАКТЕРИАЛЬНО-ГРИБНОЙ КОМПЛЕКС ТУНДРОВЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ 115
Габов Д.Н.
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПОЧВАХ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ 117
Гончаров А.А., Храмова Е.Ю.
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СООБЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ТРЕХ АВТОМОРФНЫХ ТИПАХ ЛЕСА ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА 120
Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В.
ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА 123
Есев А.И.
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ОЗЕР В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА СЫКТЫВКАР ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И ФИТОПЛАНКТОНУ 125
Ефремова В.А., Кондакова Л.В.
ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННЫХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ В РАЙОНАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА КИРОВ 128
Жангуров Е.В., Дымов А.А., Дубровский Ю.А.
ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЭКОТОНА ЛЕС–ГОРНАЯ ТУНДРА ХРЕБТА КЫЧИЛ-ИЗ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ) 130
Иноземцева М.О.
ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА 132
Каверин Д.А., Пастухов А.В.
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ И ПОДСТИЛАЮЩИХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД 134
Ковалева В.А.
ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТЫ В ПОСТАГРОГЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ 136
Ковалева В.А., Лиханова И.А.
ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЫ НА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ СЕВЕРА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРИЕМОВ «ПРИРОДОВОССТАНОВЛЕНИЯ» 139
Коробушкин Д.И.
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ НАЗЕМНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ГРАДИЕНТЕ УДАЛЕНИЯ ОТ ЧЕРНОГО МОРЯ (ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА) 141
Кузнецов М.А.
КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В ЗАБОЛОЧЕНННОМ ЕЛЬНИКЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ 144
Кутявина Т.И., Лелекова Е.В.
ИЗУЧЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ ОМУТНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 146
Кызъюрова Е.В.
ПРЕВРАЩЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПОЧВЕ 148
Лиханова И.А.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА КАРЬЕРАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА СЫКТЫВКАР 149
Лукина Н.А.
ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ 152
Макаренкова Н.Н.
ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА ВОЖЕ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЕГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ 153

Marushchak M.E., Lind S.E., Martikainen P.J.
ENVIRONMENTAL CONTROLS OF METHANE FLUXES FROM SOUTHERN TUNDRA
WITH DISCONTINUOUS PERMAFROST 155
Махныкина А.В.
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА ФИТОМАССЫ В ТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ
СРЕДНЕЙ СИБИРИ 157
Мигловец М.Н., Михайлов О.А.
РЕАКЦИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА НА СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ
И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕЗО-ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ 159
Михайлов О.А., Мигловец М.Н.
МЕЖСЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА
В ЭКОСИСТЕМЕ ВЕРХОВОГО БОЛОТА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ 162
Москаленко С.В.
СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕ 30 ЛЕТ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ
НА БРОШЕННЫХ ПАШНЯХ В ЗАПОВЕДНИКЕ «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ» 164
Пастухов А.В., Каверин Д.А.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТОРФЯНИКОВ
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ 167
Семенюк И.И.
ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА ДИПЛОПОД (DIPLOPODA, MYRIAPODA) –
СООТВЕТСТВИЕ ДАННЫХ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА И ТРАДИЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ 169
Холопов Ю.В.
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ТОРФЯНИСТО-ПОДЗОЛИСТО-ГЛЕЕВАТЫХ
ПОЧВ (НА ПЫЛЕВАТЫХ СУГЛИНКАХ) ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА 173
Чимитдоржиева Э.О.
АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СОСТАВА ГУМУСА КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ 174
Шахтарова О.В.
КОНЦЕНТРАЦИЯ И МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПОЧВАХ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ 176
Яковлева Е.В.
ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ БЕНЗ[А]ПИРЕНОМ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ 179

Секция 4. Радиационная биология, генетика.
Влияние факторов физико-химической природы на организм

Аминов А.И.
ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДА РАУНДАП НА АКТИВНОСТЬ ГЛИКОЗИДАЗ
В ОРГАНИЗМЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ И МОЛОДИ РЫБ 182
Боднарь И.С.
ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫМИ И ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ
ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КОМИ 184
Вагонов К.А., Аниськина М.В.
ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОКА ЭЛОДЕИ КАНАДСКОЙ
В ТЕСТАХ НА ИНФУЗОРИИ-ТУФЕЛЬКЕ 186
Вахрушева О.М.
ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПОЙМЫ РЕКИ ВЯТКА
ВБЛИЗИ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА 187
Данилов А.А., Шапошников М.В., Плюснина Е.Н., Москалев А.А.
ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ИНГИБИТОРА ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА
NF-kB НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ, НЕРВНО-МЫШЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ
И ПЛОДОВИТОСТЬ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* 189
Капшай Д.С.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АККЛИМАЦИИ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ
ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ 193
Лашманова Е.А., Романова Е.В.
ВЛИЯНИЕ КАРОТИНОИДСОДЕРЖАЩЕГО ЭКСТРАКТА ПЛОДОВ МОРОШКИ
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ
DROSOPHILA MELANOGASTER 196
Мезенцева В.Н., Велегжанинов И.О., Шосталь О.А., Москалев А.А.
ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК
И УРОВНЯ МЕТИЛИРОВАНИЯ ГЕНОМА В ЛЕЙКОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ
МЫШЕЙ ЛИНИИ *SHK* 198
Плюснина Е.Н., Шилова Л.А., Москалев А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАДАПТИВНОГО ОТВЕТА У ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER*
С МУТАЦИЯМИ В ГЕНАХ РЕПАРАЦИИ ДНК 202
Пыстина А.В.
ПОКАЗАТЕЛИ БЕЛОЙ КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ
В МАЛЫХ ДОЗАХ И СЕРПИСТЕНА 205
Романова Е.В.
РОЛЬ ГЕНОВ *MEI-41* И *MEI-9* В РАДИОАДАПТИВНОМ ОТВЕТЕ 207

Рочева М.Е., Жаков А.С.
ГЕОГРАФИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГМО 210
Старобор Н.Н.
ПОКАЗАТЕЛИ РАЗМНОЖЕНИЯ ПОТОМКОВ ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, РОДИТЕЛИ КОТОРЫХ ОБИТАЛИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОСТИ 212
Стрекаловская А.В.
ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРАСНОЙ КРОВИ У ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И СОЧЕТАННОМ ДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ И СЕРПИСТЕНА 215
Сунцова Е.С., Злобин С.С.
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИМИЧЕСКОГО, РАДИОЛОГИЧЕСКОГО И ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ КИРОВО-ЧЕПЕЦКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА 218
Филиппов А.А., Пенькова Г.А., Степина Е.С.
ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕННОЙ РТУТИ НА АКТИВНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ГЛИКОЗИДАЗ У ЛЕСНОЙ КУНИЦЫ 220
Шилова Л.А., Москалев А.А.
ВЛИЯНИЕ ДЕЗОКСИНУКЛЕОТИДТРИФОСФАТОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И ПЛОДОВИТОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* ЛИНИИ *CANTON-S* 222
Шосталь О.А.
РОЛЬ ГЕНОВ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ И ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ДРОЗОФИЛЫ В ОТВЕТ НА ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ 224
Юшкова Е.А., Рочева Л.К., Старцева О.А.
МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ГИПЕРИЦИНА НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧЕННЫХ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* 227

Секция 5. Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов

Бросова К.Ю.
СТРУКТУРА, РОСТ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИСТОСТЕБЕЛЬНОГО МХА *CLIMACIUM DENDROIDES* 230
Герлинг Н.В.
СТРУКТУРА И ФОТОСИНТЕЗ ХВОИ *JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD. НА ПРИПОЛЯРНОМ УРАЛЕ 232
Фокина А.И., Жмак М.С., Гребёнкина О.Н., Горностаева Е.А., Огородникова С.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ МЕДИ (II) И НИКЕЛЯ (II) НА ПОЧВЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ 234
Клименко Н.С., Кузиванова О.А.
ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (CD, MN) НА ДЫХАНИЕ ДВУХ ВИДОВ ЭЛОДЕИ 237
Коковкина Е.В.
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СРЕДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДОВ И УРОВЕНЬ ЛИПОПЕРОКСИДАЦИИ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ *PLANTAGO MEDIA* L. 239
Кузиванова О.А., Лашманова Е.А.
ВЫДЕЛЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КАРОТИНОИДСОДЕРЖАЩИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПЛОДОВ МОРОШКИ И ЧЕРНИКИ 242
Малышев Р.В., Захожий И.Г.
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧЕК ФАНЕРОФИТОВ – ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ ФЛОРЫ И ИНТРОДУЦЕНТОВ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА 244
Матистов Н.В.
АЗОТИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА В ПЛОДАХ *RUBUS CHAMAEMORUS* L. НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ 246
Матистов Н.В.
ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЛИПИДОВ СЕМЯН *ALLIUM ANGULOSUM* L. КАК ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ 248
Мухин И.А.
НЕТИПИЧНЫЕ ПОГРУЖЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ КАК ФОРМА АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ ПЕРИФИТОННЫХ СООБЩЕСТВ 251
Свинолупова Л.С., Огородникова С.Ю.
ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПИРОФОСФАТА НАТРИЯ НА РАСТЕНИЯ ЯЧМЕНЯ СОРТА НОВИЧОК 253
Сластникова Е.М., Фокина А.И., Горностаева Е.А., Кокоулина К.В., Огородникова С.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИКЕЛЯ (II) И МЕДИ (II) НА ПРИРОДНЫЕ БИОПЛЕНКИ *NOSTOC COMMUNE* 256
Шелякин М.А., Коковкина Е.В.
АНТИОКСИДАНТНАЯ РОЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЫХАНИЯ ПРИ ДЕЭТИОЛЯЦИИ ЛИСТА ПШЕНИЦЫ 258

Резолюция XIX Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» 261

ISBN 978-5-89606-479-4

Научное издание

XIX Всероссийская молодежная научная конференция

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»

Материалы докладов

Рекомендовано к изданию ученым советом
Института биологии Коми НЦ УрО РАН

Редакторы Л.А. Федорова, О.А. Гросу
Оригинал-макет Е.А. Волкова

Лицензия № 0047 от 10.01.99.

Компьютерный набор. Подписано в печать 24.08.2012. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.
Бум. офсетная. Усл. печ. л. 33.5. Уч.-изд. л. 33.0. Тираж 180. Заказ № 34.

Редакционно-издательский отдел Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 48.