



СОДЕРЖАНИЕ

Абрамов С. А., Виноградов В. В. Экологическая дифференциация мышевидных грызунов лесного пояса гор юга Средней Сибири	363
Абросимова О. В., Трояновская Е. С., Меркулова М. Ю., Тихомирова Е. И. Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова	376
Комов В. Т., Степина Е. С., Гремячих В. А., Поддубная Н. Я., Борисов М. Я. Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куньих (Mustelidae) Вологодской области	385
Лазарева В. И., Минеева Н. М., Жданова С. М. Пространственное распределение планктона в водохранилищах Верхней и Средней Волги в годы с различными термическими условиями	394
Лебедев Е. В. Влияние инокуляции спорами <i>Amanita muscaria</i> на минеральное питание, фотосинтез и биологическую продуктивность сеянцев <i>Larix sibirica</i> и <i>Pinus sylvestris</i>	408
Сигарева Л. Е., Тимофеева Н. А. Содержание растительных пигментов в отложениях Рыбинского водохранилища в год с экстремально жарким летом (2010 год) ...	416
Таскаева А. А., Лаптева Е. М. Динамика сообществ коллембол (Collembola) в среднетаёжных пойменных лесах	426
Цветкова А. А. Динамика численности и структура населения мышевидных грызунов в пойменных лесах и степях Прихопёрья	437
Чуклина Н. В., Борисова Г. Г. Изменение структурно-функциональных характеристик фотосинтетического аппарата <i>Eloдея densa</i> Planch. под действием тяжёлых металлов	447

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Березуцкий М. А., Решетникова Т. Б., Серова Л. А., Кашин А. С. Экологическая деспециализация видов семейства Orchidaceae Juss. на территории севера Нижнего Поволжья	455
Воронкова Е. В. Байрачные дубравы бассейна среднего течения р. Урал как ключевые ботанические территории Западно-Казахстанской области	459
Пискунов В. В., Опарин М. Л. Структурные особенности сообществ птиц тростниковых зарослей средней зоны Волгоградского водохранилища	464
Сажнев А. С. Georissidae (Coleoptera: Hydrophiloidea) – новое семейство околводных жёсткокрылых в фауне Саратовской области	469

ХРОНИКА

Крылов А. В., Дгебугдзе Ю. Ю., Копылов А. И., Поддубный С. А. Всероссийская конференция «Бассейн Волги в XXI веке : структура и функционирование экосистем водохранилищ»	473
---	-----

ЮБИЛЕИ

Инна Логиновна Пырина	477
------------------------------------	-----



CONTENTS

Abramov S. A. and Vinogradov V. V. Ecological differentiation of mouse-like rodents in the mountain forest belt of the southern Middle Siberia	363
Abrosimova O. V., Troyanovskaya E. S., Merkulova M. Yu., and Tikhomirova E. I. Ecological status evaluation of soils in Saratov City	376
Komov V. T., Stepina E. S., Gremyachikh V. A., Poddybnaya N. Ya., and Borisov M. Ya. Mercury contents in the organs of musteline (Mustelidae) mammals in the Volgda region	385
Lazareva V. I., Mineeva N. M., and Zhdanova S. M. Spatial plankton distribution in the Upper and Middle Volga reservoirs in some years with different thermal conditions	394
Lebedev E. V. Influence of <i>Amanita muscaria</i> spore inoculation on the mineral nutrition, photosynthesis and biological productivity of <i>Larix sibirica</i> and <i>Pinus sylvestris</i> seedlings	408
Sigareva L. Ye. and Timofeeva N. A. Plant pigment content in the Rybinsk reservoir deposits in a year with an extremely hot summer (2010)	416
Taskaeva A. A. and Lapteva E. M. Collembola community dynamics in inundated forests in the middle taiga	426
Tsvetkova A. A. Abundance dynamics and population structure of mouse-like rodents in the inundated woods and steppes of the Khopyor river area	437
Chukina N. V. and Borisova G. G. Changes of the structural-functional characteristics of the photosynthetic apparatus of <i>Elodea densa</i> Planch. under the influence of heavy metals ..	447

SHORT COMMUNICATIONS

Berezutski M. A., Reshetnikova T. B., Serova L. A., and Kashin A. S. Ecological despecialization of some species of the family Orchidaceae Juss. in the territory of the Northern Lower-Volga region	455
Voronkova E. V. Ravine Oak forests of Ural River middle reach basin as Important Plant Areas of West Kazakhstan region	459
Piskunov V. V. and Oparin M. L. Structure peculiarities of reed brake birds communities of the middle zone of the Volgograd reservoir	464
Sazhnev A. S. Georissidae (Coleoptera: Hydrophiloidea) as a new riparian beetle family in the Saratov regional fauna	469

CHRONICLE

Krylov A. V., Dgebuadze Yu. Yu., Kopylov A. I., and Poddubnyi S. A. All-Russia Conference «Volga river basin in the 21st century: the structure and functioning of reservoir ecosystems»	473
---	-----

JUBILEES

Inna L. Pyrina	477
----------------------	-----

УДК 599.32:591.52

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ ЛЕСНОГО ПОЯСА ГОР ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ

С. А. Абрамов¹, В. В. Виноградов²

¹ *Институт систематики и экологии животных СО РАН
Россия, 630091, Новосибирск, Фрунзе, 11
E-mail: terio@eco.nsc.ru*

² *Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева
Россия, 660049, Красноярск, А. Лебедевой, 89
E-mail: vlad-vin@yandex.ru*

Поступила в редакцию 15.12.10 г.

Экологическая дифференциация мышевидных грызунов лесного пояса гор юга Средней Сибири. – Абрамов С. А., Виноградов В. В. – На основе многолетних исследований авторов и литературных данных рассматриваются закономерности размещения видов мышевидных грызунов в экологическом пространстве горных лесов юга Средней Сибири и формирования их многовидовых сообществ. На основе многомерного статистического анализа (многомерное шкалирование, кластерный и дискриминантный анализ) определены значимые факторы трехмерного экологического пространства. Показано, что различия в чувствительности видов к тем или иным факторам способствуют расхождению оптимумов их экологических ниш, что обеспечивает независимость видов в рамках одного сообщества.

Ключевые слова: мышевидные грызуны, лесной пояс, факторы среды, экологическая ниша.

Ecological differentiation of mouse-like rodents in the mountain forest belt of the southern Middle Siberia. – Abramov S. A. and Vinogradov V. V. – The distribution regularities of mouse-like rodent species within the ecological space of the mountain forest of the southern Middle Siberia and the formation of multi-species communities are considered on the basis of our long-term research and literature data. Significant factors of the 3D ecological space were identified by using multidimensional statistical analysis (multidimensional scaling, cluster and canonical discriminant function analysis). The differences in the sensitivity of species to environmental factors are shown to cause a divergence of their ecological niches, which provides the independence of these species within their community.

Key words: mouse-like rodents, forest belt, environmental factors, ecological niche.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение закономерностей экологических адаптаций животных к условиям среды и механизмов формирования многовидовых сообществ являются актуальными направлениями в современной экологии (Пузаченко, Кузнецов, 2003; Андреева, Окулова, 2009; Meyer et al., 2004; Cook et al., 2006; Michel et al., 2007). Структура сообщества определяется не только набором видов, но и их взаимным размещением в пространстве вдоль градиентов среды в пределах своей экологической ниши. Оценка экологической ниши вида в естественных местообитаниях представляет определенные сложности. Например, встает вопрос о выявлении наиболее значимых факторов, поскольку восприятие этих факторов видами *a priori* отличается

от нашего представления об этом. Кроме того, необходимо учитывать сложные (заведомо нелинейные) взаимодействия между ними, прерывистость действия этих факторов.

Недостаточно изучены эти механизмы у позвоночных животных, обитающих в горах Южной Сибири, на переходном пространстве между таёжной, степной и пустынной подобластями Евразии. Значительная часть региона приходится на лесной пояс, который представлен Урало-Сибирским бореальным фитоценотическим комплексом, в состав которого входят горные светло- и темнохвойные леса южносибирского типа из лиственницы, пихты, кедра, сосны и ели с участием мелколиственных пород (Огуреева, 1983). Характер растительного покрова на конкретной территории зависит, прежде всего, от параметров гидротермического режима, которые имеют существенные различия в разных частях лесного пояса рассматриваемых горных систем (Поликарпов и др., 1986). Нашими исследованиями охвачены избыточно влажные таёжно-черневые леса (пергумидный сектор увлажнения), влажные горно-таёжные леса (гумидный сектор) и умеренно влажные таёжно-лесостепные леса (семигумидный сектор). Такие гетерогенные условия способствуют совместному обитанию многих близкородственных видов животных, что вызывает определенный интерес для сравнительного изучения адаптаций этих видов и выяснения экологических механизмов, способствующих формированию многовидовых сообществ. Удобной модельной группой для подобных исследований служат мышевидные грызуны – самая многочисленная группа наземных позвоночных в пределах лесного пояса.

В связи с этим задачами настоящего исследования были вычисление и отображение экологических ниш видов мышевидных грызунов, выявление закономерностей их размещения по территории в зависимости от биотопических особенностей и выделение типов сообществ грызунов, обитающих в горных лесах юга Средней Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использованы многолетние материалы, собранные авторами в период с 2002 по 2009 г., а также сведения из литературных источников (Юдин, Николаев, 1977; Юдин, Потапкина, 1977; Александров, Сергеев, 1987). Все материалы объединяет использование единых методик их сбора и обработки. Отлов животных производился стандартным методом ловчих канавок 50 м длиной с 5 конусами, вкопанными с интервалом 10 м (Наумов, 1955), в единые сроки – с 15 июля по 30 августа, в период максимальной численности популяций. В работе используется показатель относительной численности – число особей на 100 конусо-суток (к.-с.). Всего отработано более 5000 к.-с., общий объем исследованного материала составил около 4000 экз.

В анализ включены 63 варианта населения мышевидных грызунов с 19 ключевых участков в пределах лесного пояса горных систем Западного Саяна, Восточного Саяна, Кузнецкого Алатау и Горной Шории (рис. 1). Общая протяженность рассматриваемой территории с запада на восток составляет более 550 км, с юга на север – 500 км, перепад абсолютных высот – от 300 до 1400 м н.у.м.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

Основным показателем, характеризующим отношение вида к условиям, сложившимся на данной территории, служит показатель его обилия. Именно разнообразие населения маркирует местообитания и факторы среды. Сходство обилия видов – это сходство их реакций на эндо- и экзогенные факторы. Сравнение показателей численности видов на разных ключевых участках, таким образом, позволяет выявить основные «комплексные» факторы среды, определяющие размещение видов.

В основу статистического анализа в данной работе положен расчет значений координат экологического пространства методом многомерного шкалирования (МШ) на основе матрицы корреляции (гамма-корреляции) между 63 вариантами населения мышевидных грызунов. Этот метод

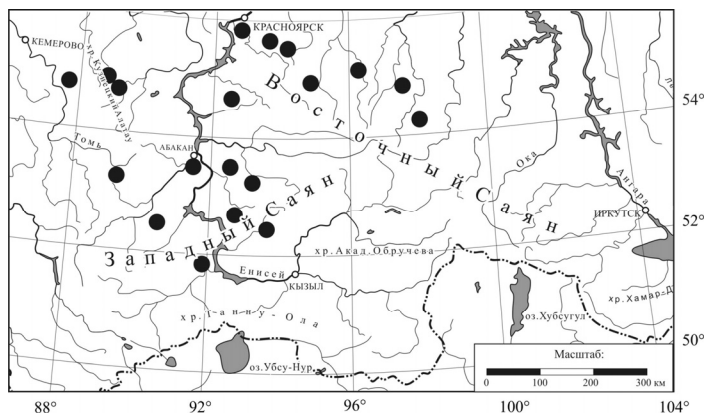


Рис. 1. Карта района работ и расположение ключевых участков (●)

позволяет получить визуальное представление расстояний между переменными без какого-либо знания или предположения об их взаимной ассоциации. Данные о численности видов предварительно были ранжированы в пределах каждой точки отлова, видам с нулевой численностью присваивался один и тот же ранг. Качество подгонки модели, или насколько хорошо исходные данные описываются моделью МШ, оценивалось по индексу стресса Крускала. Для трехмерной модели полученное значение индекса стресса (0.15) говорит о хорошем соответствии между моделью МШ и исходными данными.

Интерпретация выявленных виртуальных факторов (осей многомерного шкалирования) выполнена на основе коэффициентов корреляции Пирсона с непосредственно измеренными параметрами среды (табл. 1).

Коэффициенты корреляции между показателями численности и осями шкалирования (ОШ) рассматривались как координаты видов в экологическом пространстве, которые отражают их чувствительность к выявленным абстрактным факторам среды.

Для описания распределения отдельных видов в пространстве виртуальных факторов использовался множественный линейный пошаговый регрессионный анализ. В качестве независимых переменных (факторов) рассматривались значения координат участков в пространстве осей шкалирования, а в качестве зависимой переменной – показатель численности вида. Качество подгонки регрессионной модели определяли с помощью коэффициента детерминации (R^2), который показывает, какая доля дисперсии резульативного признака объясняется влиянием использованных переменных.

Таблица 1

Характеристика среды для каждой точки отлова грызунов

Параметры среды	Характеристика
Высота над уровнем моря	Метры
Почвенные условия	1 – каменистые, 2 – суглинистые, 3 – с выраженным гумусовым горизонтом, 4 – с мощным гумусовым горизонтом
Сомкнутость древесного яруса* (доля покрытия)	0 – отсутствует, 1 – 1 – 25%, 2 – 26 – 50%, 3 – 51 – 75%, 4 – 76 – 100%
Подлесок	То же
Крупнотравно-папоротниковый ярус	«
Травяно-кустарничковый ярус	«
Моховой покров	«
Степень захламлённости (валежник)	0 – отсутствует, 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – сильная

* Параметры растительного покрова определялись по общепринятым геоботаническим методикам (Полевая геоботаника, 1964).

Использование такого подхода в точности соответствует концепции многомерной экологической ниши Хатчинсона (Hutchinson, 1965). В рамках этой методологии удается определить размерность экологического пространства, параметры видовых экологических ниш и физический смысл выявленных абстрактных факторов (Пузаченко, Кузнецов, 1998; Пузаченко, 2004).

Выделение типов сообществ грызунов проведено с помощью кластерного анализа методом Уорда по трем абстрактным факторам, полученным при МШ. В качестве дистанции применялось расстояние Евклида. Надежность выделения сообществ (кластеров) проверялась с помощью канонического дискриминантного анализа на основе тех же факторов и по непосредственно измеренным характеристикам среды. В нашем исследовании термин «сообщество» используется как синоним понятия «население» и не несет определенной функциональной нагрузки.

Все расчеты и построение графиков выполнены в программе Statistica 6.0 (StatSoft Inc., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах лесного пояса отмечено 14 видов мышевидных грызунов (за исключением синантропных видов). Многочисленны в составе лесных сообществ полёвки красная (*Myodes rutilus* Pall.), красно-серая (*Myodes rufocanus* Pall.) и экономка (*Microtus oeconomus* Pall.). Обычны восточноазиатская мышь (*Apodemus peninsulae* Thomas), лесная мышовка (*Sicista betulina* Pall.), тёмная полёвка (*Microtus agrestis* L.) и лесной лемминг (*Myopus schisticolor* Lilljeborg). В пределах черневых лесов встречаются рыжая (*Myodes glareolus* Pall.) и обыкновенная (*Microtus arvalis* Pall.) полёвки. В зоне контакта лесных массивов с агроценозами и остепненными участками отмечаются водяная полёвка (*Arvicola terrestris* L.), мышь-малютка (*Micromys minutus* Pall.), полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pall.), узкочерепная полёвка (*Microtus gregalis* Pall.) и длиннохвостый хомячок (*Cricetulus longicaudatus* Milne-Edwards). В анализ включены 9 наиболее многочисленных

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

видов, показатели обилия которых позволяют получить статистически значимые результаты.

Полученные значения осей шкалирования отражают изменения в пространстве трех независимых абстрактных факторов, представленных через их восприятие самими видами. Физический смысл выделенных факторов среды (осей шкалирования) можно определить, связав их с помощью корреляции с переменными, характеризующими среду обитания (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции параметров среды лесного пояса с осями многомерного шкалирования (ОШ)

Параметры	1 ОШ	2 ОШ	3 ОШ
Высота над уровнем моря	-0.41	0.02	-0.13
Характеристика почвы	0.44	-0.38	0.13
Сомкнутость древесного яруса	-0.26	0.17	-0.06
Подлесок (доля покрытия)	0.19	-0.11	-0.11
Травяно-кустарничковый ярус	0.28	-0.31	0.24
Моховой покров	0.38	-0.16	-0.09
Крупнотравно-папоротниковый ярус	-0.59	0.14	0.05
Захламленность (валежник)	-0.25	-0.06	0.16

Примечание. Полу жирным выделены значимые коэффициенты корреляции ($p < 0.05$).

Значимые коэффициенты корреляции отмечены только для первых двух абстрактных факторов. Первый фактор отражает эколого-ценотический состав подчиненных ярусов леса, среди которых проходит весь жизненный цикл рассматриваемой группы животных. Положительная область этого фактора связана с хорошим развитием почвенного покрова, на котором произрастает развитый травяно-кустарничковый ярус со значительным участием крупнотравя. Увеличение высоты над уровнем моря (отрицательная область первого фактора) сопровождается большей сомкнутостью древесного яруса, господством мохового покрова и значительной захламленностью валежником.

Второй фактор не связан с высотой местности, а только с развитием почвенного покрова и отражает степень развития нижних ярусов леса: крупнотравно-папоротникового, травяно-кустарничкового и подлеска. Эти признаки имеют наибольшие отрицательные коэффициенты корреляции со второй осью шкалирования.

Хотя характеристики среды имеют невысокие коэффициенты корреляции с третьим абстрактным фактором, можно полагать, что в определенной степени он отражает сочетание крупнотравно-папоротникового яруса, захламленности и подлеска.

Расположение видов в пространстве осей многомерного шкалирования отражает их чувствительность к выявленным виртуальным факторам среды (табл. 3). Наибольшую связь с первой, второй и третьей осями демонстрируют красная полёвка, полёвка-экономка и лесная мышовка соответственно. Таким образом, трехмерное экологическое пространство определяется главным образом этими тремя видами. Они же являются наиболее контрастными по своим требованиям к условиям обитания в рамках рассматриваемой модели.

Таблица 3

Чувствительность видов мышевидных грызунов к факторам экологического пространства

Вид	Коэффициент корреляции			Знак коэффициента корреляции		
	1 ОШ	2 ОШ	3 ОШ	1 ОШ	2 ОШ	3 ОШ
Красная полёвка	-0.88	-0.09	0.35	–		+
Полёвка-экономка	0.30	-0.81	-0.37	+	–	–
Лесная мышовка	0.63	0.09	0.65	+		+
Восточноазиатская мышь	0.08	0.65	-0.33		+	–
Красно-серая полёвка	-0.11	0.39	-0.49		+	–
Лесной лемминг	-0.43	0.13	-0.13	–		
Темная полёвка	0.38	-0.05	0.14	+		
Рыжая полёвка	0.08	0.06	0.23			+
Обыкновенная полёвка	-0.28	-0.20	-0.20	–		

Примечание. Полу жирным выделены значимые коэффициенты корреляции ($p < 0.05$).

Большинство видов зависят в той или иной степени от двух или всех трех факторов, но в разном их сочетании (см. табл. 3). Совместное устойчивое обитание видов требует, чтобы их численность управлялась разными факторами или чувствительность к одним и тем же факторам была различной (Абросов и др., 1982; Джиллер, 1988; Пузаченко и др., 1996; Пузаченко, Кузнецов, 1998 и др.).

В нашем исследовании практически все виды занимают разные подобласти экологического пространства (см. табл. 3). Так, например, красная полёвка и лесная мышовка зависят от 1-го и 3-го факторов. Однако если связь с третьим фактором у обоих видов положительная, то зависимость от первого фактора – разнонаправленная, т.е. по первому фактору они взаимозаменяют друг друга. Только два вида, красно-серая полёвка и восточноазиатская мышь, занимают одну подобласть экологического пространства, но при этом имеют разную чувствительность к одним и тем же факторам. Красно-серая полёвка преимущественно зависит от третьего фактора, а восточноазиатская мышь – от второго.

Таким образом, рассматриваемые виды экологически дифференцированы, и их размещение зависит от существенно различных комбинаций независимых параметров среды.

Представление об отношении конкретного вида к факторам среды можно получить, оценив распределение его обилия в пространстве абстрактных факторов (табл. 4, рис. 2). Хотя зависимость обилия вида от факторов среды, как правило, носит нелинейный характер, модель линейной регрессии дает вполне удовлетворительную оценку характера распределения для большинства видов (см. табл. 4). Наилучшие оценки получены для красной полёвки, полёвки-экономки и лесной мышовки – видов, достигающих наибольшей численности в составе сообществ лесного пояса.

Для красной полёвки значимыми оказались все три фактора, но в наибольшей степени первый и третий (см. рис. 2, а). Согласно рисунку численность красной полёвки равномерно меняется в зависимости от обоих факторов, достигая наибольших значений при минимальных значениях 1-го и максимальных – 3-го фак-

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

торов. Согласно интерпретации факторов на основе параметров среды, для красной полёвки наиболее благоприятны влажные захламлинные леса с развитым моховым покровом на возвышенных частях горных хребтов. Некоторое увеличение численности красной полёвки наблюдается в избыточно влажных черневых лесах со смешанным травянисто-моховым покровом с крупнотравием и папоротниками. Подобная экологическая оценка вида хорошо согласуется с результатами многочисленных исследований в горах Южной Сибири (Соколов, 1979; Юдин и др., 1979; Виноградов, 2007; Андреева, Окулова, 2009).

Таблица 4

Параметры регрессионных моделей экологических ниш мышевидных грызунов

Вид	Коэффициенты					
	R^2	F	p	1 ОШ	2 ОШ	3 ОШ
Красная полёвка	0.35	10.69	0.00	-11.07	-2.48	5.71
Полёвка-экономка	0.30	8.62	0.00	8.03	-14.24	-8.68
Лесная мышовка	0.51	20.27	0.00	5.27	3.35	8.06
Восточноазиатская мышь	0.15	3.56	0.02	1.60	2.80	-1.86
Красно-серая полёвка	0.05	3.31	0.07	–	3.96	–
Лесной лемминг	0.08	5.49	0.02	-0.66	–	–
Темная полёвка	0.18	13.18	0.00	2.09	–	–
Рыжая полёвка	0.13	4.54	0.01	0.93	–	1.86
Обыкновенная полёвка	0.09	2.98	0.06	–	-0.32	-0.68

Распределение полёвки-экономки по территории лесного пояса зависит от всех трех факторов, но наибольшая зависимость наблюдается от второго и третьего (см. рис. 2, б). Максимальные значения регрессионная функция имеет в отрицательной области 2-го и 3-го факторов и положительной области 1-го. Таким образом, наибольшей численности полёвка-экономка достигает в низкорослых влажных разреженных хвойно-лиственных лесах с развитым травяно-кустарничковым и крупнотравно-папоротниковым ярусами и слабо выраженным моховым покровом, что соответствует экологическому облику этого зеленоядного гигрофильного вида (Громов, Ембаева, 1995).

Численность лесной мышовки зависит от всех трех факторов одновременно. Их взаимное положительное сочетание ведет к увеличению численности этого вида. Наиболее показательна проекция экологической ниши лесной мышовки в пространстве первого и третьего факторов (см. рис. 2, в). Максимальная численность вида связана с местообитаниями с развитыми травяно-кустарничковым и крупнотравно-папоротниковым ярусами в сочетании с разреженным древостоем смешанного хвойно-лиственного состава. Такое распределение вида по территории согласуется с данными, полученными на всем протяжении видового ареала (Реймерс, 1966; Ивантер, Кухарева, 2008).

Для красно-серой полёвки отсутствует явно выраженная зависимость от выявленных факторов. Основываясь на слабой положительной зависимости от второго фактора, можно полагать, что несколько большей численности этот вид достигает в умеренно-влажных темнохвойных лесах с умеренным травяно-кустарничко-

вым ярусом и развитым моховым покровом. Такие условия соответствуют трофическим предпочтениям вида, основу рациона которого составляют вегетативные и плодовые части ягодных кустарничков – брусники, черники, голубики, а также травянистые растения (Соколов, 1979; Вольперт, Шадрина, 2002).

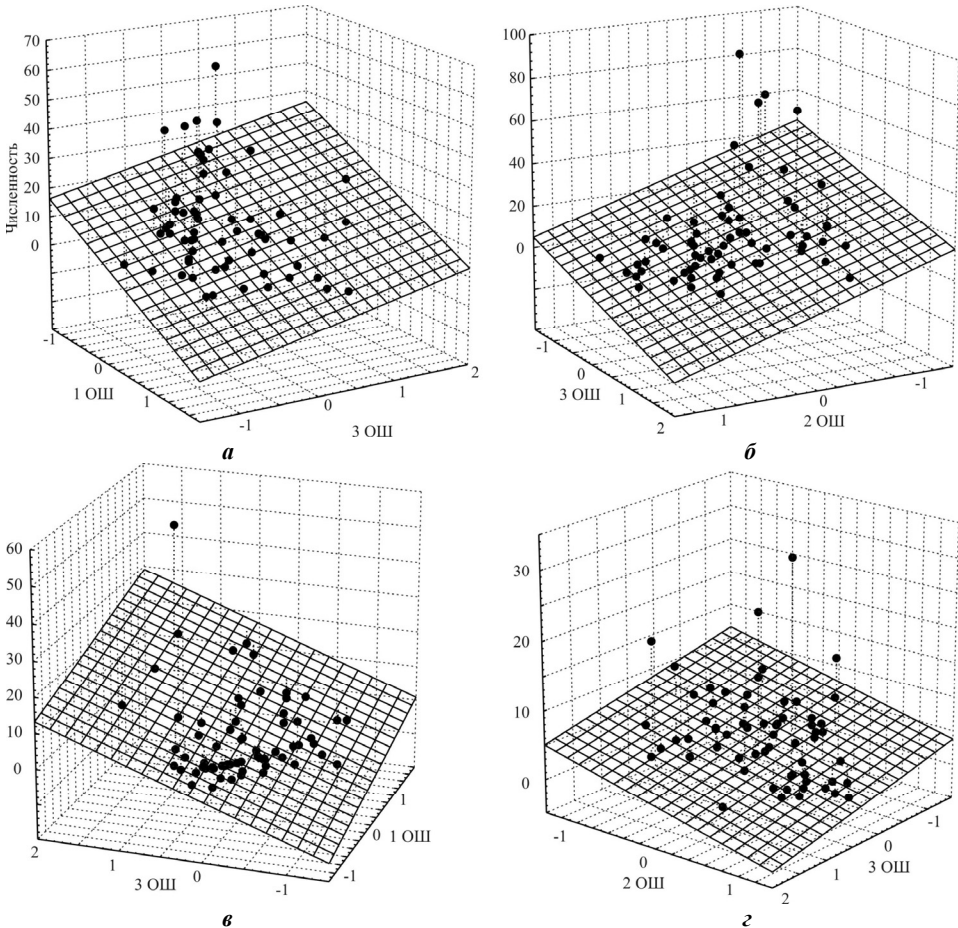


Рис. 2. Отображение экологических ниш грызунов в пространстве двух наиболее значимых абстрактных экологических факторов на основе регрессионной модели: *а* – *M. rutilus*, *б* – *M. oeconomus*, *в* – *S. betulina*, *г* – *A. peninsulae*

Влияние исследованных факторов на распределение и численность восточноазиатской мыши также невелико, о чем свидетельствует невысокий коэффициент детерминации регрессионной функции. Значима только положительная зависимость от второго фактора (см. рис. 2, *г*). Отсутствие связи с первым фактором (высота местности, плотность древостоя) отражает широкое распространение вида в

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

лесах различного типа. В пределах региона наиболее благоприятны для восточноазиатской мыши умеренно-влажные смешанные хвойно-лиственные леса с развитым травяно-кустарничковым ярусом.

Лесной лемминг имеет повсеместно низкую численность и отмечен всего в 20% обследованных местообитаний. Только в трех случаях его численность оказалась выше 5 особей на 100 к.-с. Обилие данного вида связано главным образом с влиянием 1-го фактора. Благоприятные условия для лесного лемминга складываются на возвышенных частях горных массивов в захламлённых темнохвойных лесах с развитым моховым покровом и достаточным увлажнением.

Распределение темной полёвки положительно связано только с первым фактором. Наиболее благоприятны для вида низкогорные смешанные леса с развитым травянисто-кустарничковым и крупнотравно-папоротниковыми ярусами.

Рыжая полёвка, доминирующая в лесах европейской части России, в горных лесах юга Средней Сибири не достигает, как правило, высокой численности. В отличие от близкородственной красной полёвки, ее распределение связано только с 3-м фактором. Наиболее благоприятны для рыжей полёвки влажные смешанные хвойно-лиственные леса, с развитым крупнотравно-папоротниковым ярусом и умеренным захламлением, что в наибольшей степени соответствует экологическому облику этого европейского вида, находящегося на восточной окраине своего ареала (Шварц и др., 1987).

Обыкновенная полёвка – обитатель открытых участков (поляны, луга, агроценозы), прилегающих к лесным массивам. Вид присутствует в отловах только в экотонной зоне, поэтому выявленные факторы, характеризующие лесную растительность, не оказывают значимого влияния на распределение и уровень численности этого вида.

Таким образом, совокупность экологических ниш рассматриваемых видов охватывает все экологическое пространство, их оптимумы разнесены и полностью не перекрываются. Распределение видов в пространстве определяется видоспецифическими требованиями к условиям среды, в первую очередь составом и сомкнутостью древостоя, эколого-ценотическим составом подчиненных ярусов леса.

Для характеристики агрегированности сообществ грызунов на рассматриваемой территории в зависимости от условий окружающей среды проведен кластерный анализ. Сообщества группируются в 4 кластера на дистанции менее 50% от максимальной ($(D_{link}/D_{max}) * 100 < 50$). Надежность выделения сообществ (кластеров) дискриминантным анализом по абстрактным факторам на основе структуры населения (рис. 3 а) составила 92%. В то же время надежность классификации по непосредственно измеренным параметрам среды (рис. 3, б) составила 67%.

Различия в структуре выделенных сообществ определяются главным образом распределением видов-доминантов. Для сообщества первого типа (1 на рис. 3) характерно наличие трех видов доминантов: красно-серой полёвки, лесной мышовки и восточноазиатской мыши. В сообществах второго и третьего типов доминируют красная полёвка и полёвка-экономка соответственно. Для четвертого типа сообществ характерно наличие двух видов-доминантов – красной полёвки и полёвки-экономки, что также показано для черневой тайги Северо-Восточного Алтая (Литвинов и др., 2007).

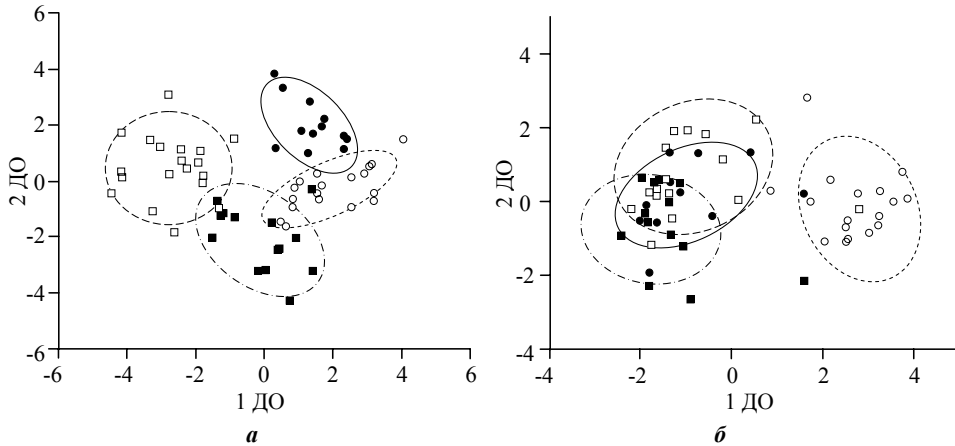


Рис. 3. Распределение типов сообществ в пространстве канонических дискриминантных осей, построенных по абстрактным факторам (а) и по непосредственно измеренным параметрам среды (б): ● – горнотаёжные тёмнохвойные и тёмнохвойно-лиственные леса разнотравно-крупнотравно-зелёномошного типа, ○ – горнотаёжные тёмнохвойные леса зелёномошного типа, □ – подтаёжно-лесостепные сосновые, берёзовые, лиственничные леса травянистых типов, ■ – таёжно-черневые тёмнохвойные (кедровые, пихтовые) леса крупнотравно-папоротникового типа и их производные растительные формации с господством берёзы и осины

На рис. 3, б показан результат дискриминантного анализа сообществ грызунов по непосредственно измеренным параметрам среды. По первой дискриминантной оси наибольшие различия наблюдаются между участками второго типа и всеми остальными. Участки второго типа характеризуются развитым моховым покровом

Таблица 5 Результаты дискриминантного анализа типов сообществ по непосредственно измеренным параметрам среды

Параметры	Стандартизованные коэффициенты	
	1 ДО	2 ДО
Высота над уровнем моря	-0.23	-0.29
Характеристика почвы	-0.43	-0.49
Сомкнутость древесного яруса	-0.29	0.07
Подлесок (доля покрытия)	0.13	0.35
Травяно-кустарничковый ярус	-0.44	-0.71
Моховой покров	-0.18	-0.08
Крупнотравно-папоротниковый ярус	0.74	-0.53
Захламленность (валежник)	-0.01	-0.50
Доля дисперсии, %	88	8

и менее развитой травянистой растительностью (табл. 5) и относятся к горнотаёжным тёмнохвойным лесам зелёномошного типа. Различия между участками разного типа вдоль второй дискриминантной оси слабо выражены. Вместе с тем можно отметить определенную связь расположения классов вдоль второй дискриминантной оси с характером увлажнения территории. Так, крайние положения вдоль второй оси занимают участки черневой тайги с крупнотравно-растительностью (4 на рис. 3, б), характеризующиеся избыточным увлажнени-

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

ем (пергумидный сектор увлажнения; по: Полицарпов и др., 1986), и подтаёжные леса травянистых типов с умеренным увлажнением (семигумидный сектор) (3 на рис. 3, б). Остальные участки (1 и 2 на рис. 3, б) занимают промежуточное положение и соответствуют гумидному сектору. Очевидно, что гидротермический режим территории в значительной степени определяет характер растительности. Так, например, избыточно влажные таёжно-черневые леса отличаются высокой захламленностью, развитой крупнотравной растительностью и моховым покровом. Тогда как для умеренно влажных таёжно-лесостепных лесов характерна мелко-травная растительность и неразвитый моховой покров.

Таким образом, распределение сообществ мышевидных грызунов на территории лесного пояса в значительной степени объясняется гетерогенностью среды, в первую очередь характером гидротермического режима. Очевидно также, что распределение видов и структура сообщества детерминированы существенно большим количеством экологических параметров, чем рассмотрено в этой работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пределах лесного пояса горных систем юга Средней Сибири обитают 14 видов мышевидных грызунов, которые образуют самые многочисленные сообщества среди позвоночных животных. Выделение ведущих факторов, произведенное с помощью многомерного шкалирования, позволило охарактеризовать параметры экологических ниш 9 видов мышевидных грызунов и характер их связи с условиями среды обитания. Расчеты показали, что экологические ниши этих видов никогда полностью не совпадают, а их оптимумы разведены в экологическом пространстве. В пределах лесного пояса значимыми факторами для грызунов выступают состав и сомкнутость древостоя, высота над уровнем моря и эколого-ценотический состав подчиненных ярусов леса, среди которых проходит весь жизненный цикл рассматриваемой группы животных.

Выделены четыре основных типа сообществ грызунов лесного пояса гор юга Сибири. Различия в структуре выделенных сообществ связаны в основном с распределением видов доминантов. Размещение по территории сообществ разного типа объясняется главным образом особенностями гидротермического режима местности, типом и степенью развития подчиненных ярусов леса.

Авторы выражают искреннюю признательность Б. К. Кельбешеву (Государственный природный заповедник «Столбы»), В. А. Стахееву (Государственный природно-биосферный заповедник «Саяно-Шушенский»), Д. И. Назимовой (Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) за ценные советы и практическую помощь в организации полевых исследований и В. М. Ефимову (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск) за советы по статистической обработке материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абросов Н. С., Ковров Б. Г., Черепанов О. А. Экологические механизмы сосуществования и видовой регуляции. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 297 с.

- Александров В. Н., Сергеев В. Е.* Мелкие млекопитающие (Micromammalia) Горной Шории // Фауна, таксономия, экология млекопитающих и птиц. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1987. С. 22 – 27.
- Андреева Т. А., Окулова Н. М.* Экологические предпочтения лесных полевков // Экология. 2009. № 2. С. 149 – 154.
- Виноградов В. В.* Мелкие млекопитающие Кузнецкого Алатау. Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. пед. ун-та им. В. П. Астафьева, 2007. 212 с.
- Вольперт Я. Л., Шадрин Е. Г.* Мелкие млекопитающие северо-востока Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 2002. 246 с.
- Громов И. М., Ербаева М. А.* Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны / Зоол. ин-т РАН. СПб., 1995. 522 с.
- Джиллер П.* Структура сообществ и экологическая ниша. М. : Мир, 1988. 184 с.
- Ивантер Э. В., Кухарева А. В.* К экологии лесной мышовки (*Sicista betulina*) на северном пределе ареала // Зоол. журн. 2008. Т. 87, № 4. С. 476 – 493.
- Литвинов Ю. Н., Абрамов С. А., Кривопапов А. В., Ковалева В. Ю., Новиков Е. А., Че-чулин А. И.* Структурно-временная организация сообщества грызунов прителецкой тайги (Горный Алтай) // Экология. 2007. Т. 38, № 6. С. 1 – 7.
- Науменко Н. П.* Изучение подвижности и численности мелких млекопитающих с помощью ловчих канавок // Вопросы краевой, общей и экспериментальной паразитологии и медицинской зоологии. 1955. Т. 9. С. 179 – 202.
- Огуреева Г. Н.* Структура высотной поясности растительности гор Южной Сибири // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1983. Т. 88, вып. 1. С. 66 – 74.
- Полевая геоботаника / под ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1964. Т. 3. 530 с.
- Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 225 с.
- Пузаченко Ю. Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М. : Академия, 2004. 416 с.
- Пузаченко Ю. Г., Кузнецов Г. В.* Экологическая дифференциация грызунов сезонно-влажных тропических лесов северного Вьетнама // Зоол. журн. 1998. Т. 77, № 1. С. 117 – 132.
- Пузаченко Ю. Г., Кузнецов Г. В.* Устойчивость грызунов к рубкам в сезонно-влажных лесах юга Вьетнама // Зоол. журн. 2003. Т. 82, № 5. С. 623 – 638.
- Пузаченко Ю. Г., Придня М. В., Мартин В., Санковский А. Г.* Отображение видовых экологических ниш для сообществ смешанных лесов бассейна р. Хаббард-Брук (Белые горы, Новая Англия, Северная Америка) // Экология. 1996. № 6. С. 403 – 410.
- Реймерс Н. Ф.* Птицы и млекопитающие южной тайги Средней Сибири. М. : Наука, 1966. 420 с.
- Соколов Г. А.* Млекопитающие кедровых лесов Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 256 с.
- Шварц Е. А., Шефтель Б. И., Жуков М. А.* Закономерности распространения рыжей полевки на востоке ареала // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1987. Т. 92, вып. 2. С. 17 – 26.
- Юдин Б. С., Галкина Л. И., Потапкина А. Ф.* Млекопитающие Алтае-Саянской горной страны. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 296 с.
- Юдин Б. С., Николаев В. В.* Сообщества мелких млекопитающих (Micromammalia) вертикальных поясов центральной части Восточного Саяна (Тофалария) // Фауна и систематика позвоночных Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 81 – 92.
- Юдин Б. С., Потапкина А. Ф.* Территориальные группировки мелких млекопитающих (Micromammalia) в Кузнецком Алатау и Западном Саяне // Фауна и систематика позвоночных Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1977. С. 32 – 59.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ

Cook R. P., Boland K. M., Dolbeare T. Inventory of small mammals at Cape Cod National Seashore with recommendations for long-term monitoring / National Park Service U.S., Department of the Interior. Boston, 2006. 117 p.

Hutchinson G. E. The niche: an abstractly inhabited hyper-volume // The ecological theatre and the evolutionary play. New Haven : Yale Univ. Press, 1965. P. 26 – 78.

Meyer B. J., Eccard J., Brandl R. Vegetation structure and the abundance of the Black Tailed Tree Rat *Thallomys nigricauda* at the Thornveld savannah (South Africa) // The impact of habitat structures on some small rodents in the Kalahari Thornveld (South Africa). Marburg : Philipps-University Press, 2004. P. 65 – 77.

Michel N., Burel F., Legendre P., Butet A. Role of habitat and landscape in structuring small mammal assemblages in hedgerow networks of contrasted farming landscapes in Brittany, France // Landscape Ecol. 2007. Vol. 22, № 8. P. 1241 – 1253.

StatSoft Inc. 2001. Statistica (data analysis software system), version 6.0. <http://www.statsoft.com>.

УДК 574.24:504.064.2:631.46

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА г. САРАТОВА

О. В. Абросимова, Е. С. Трояновская, М. Ю. Меркулова, Е. И. Тихомирова

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: tichomirova_ei@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.12.11 г.

Оценка экологического состояния почвенного покрова г. Саратова. – Абросимова О. В., Трояновская Е. С., Меркулова М. Ю., Тихомирова Е. И. – Изучено экологическое состояние почвенного покрова некоторых территорий г. Саратова. Определена численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов, по сравнению с контролем в городских почвах повышено в 2 раза содержание актиномицетов и микромицетов. Установлен низкий уровень биологической активности городских почв. Выявлено изменение морфометрических признаков у тест-объектов, которые выращены на почвенных образцах, собранных на территории города.

Ключевые слова: урбанизированные территории, почвенный покров, микроорганизмы, биологическая активность почв, фитотоксичность.

Ecological status evaluation of soils in Saratov City. – Abrosimova O. V., Troyanovskaya E. S., Merkulova M. Yu., and Tikhomirova E. I. – The ecological status of soils in some areas of Saratov City was studied by determining the numbers of different ecological trophic groups of microorganisms. In comparison with some reference soil samples taken outside of the urban limits, the urban soils had double amounts of actinomycetes and micromycetes. A lower level of biological activity in the urban soils was found. Morphometric trait differences in test objects activated on the soil samples have been observed.

Key words: urban areas, topsoil, microorganisms, soil biological activity, phytotoxicity.

ВВЕДЕНИЕ

Почва как ядро городской системы обеспечивает ее очищение, нейтрализацию вредных соединений, сохранность зеленых насаждений и в то же время выступает индикатором условий жизни и здоровья населения (Завистяева, 2006; Мудрый, 2008). В то же время почва – малоподвижная природная система, миграция загрязняющих веществ в ней происходит крайне медленно, что способствует накоплению в ней различных поллютантов.

В городских экосистемах разнообразие почв варьирует от естественных зональных до типичных урбаноёмов, которые выполняют важные экологические функции.

Почвенные микроорганизмы выполняют функцию деструкции поступающих в почву веществ, регулируют состав воздушного потока почв, содержание и доступность биогенных веществ, необходимых для роста и развития растений. Структура микробных комплексов в почве постоянно изменяется и в значительной мере определяется гидротермическим режимом, количеством и составом поступающего органического вещества, что также необходимо учитывать при оценке экологического состояния почв (Фомина и др., 2006).

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В почве накапливается большое количество ферментов, которые способны длительное время функционировать в отрыве от продуцирующих их микроорганизмов. Основная масса почвенных ферментов находится в иммобилизованном состоянии на глинистых минералах, гумусе, органо-минеральных коллоидах, часть ферментов – в свободном состоянии в почвенном растворе. Активность ферментов отражает интенсивность основных биохимических процессов: самоочищения почвы и разложения органических соединений азота, фосфора, углерода, а также степень эродированности и загрязнения почв. В настоящее время в почве на наличие активности тестированы около 60 ферментов (Хазиев, 2005).

Важным интегральным показателем окислительно-восстановительных процессов, протекающих в почве, является интенсивность выделения углекислоты – «дыхание почвы», что позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв.

Биохимический потенциал почв является полифункциональной характеристикой, он зависит от экологических факторов и имеет большое значение при оценке санитарного состояния городских почв, так как показывает их самоочищающую способность.

Целью данной работы была комплексная эколого-биохимическая оценка состояния почвенного покрова г. Саратова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись городские почвы и почвы фоновой территории. Отбор проб проводили в июне 2010 – 2011 гг. в наиболее напряженных участках городской территории: вдоль железнодорожного полотна, на пересечении главных автомагистралей, поблизости от промышленных предприятий, в селитебных районах старой и новой застройки. Для исследования были отобраны пробы почв в 31 точке со строгой картографической привязкой к местности (рис. 1). В качестве контроля использовали пробы почвы лесопарковой территории дома отдыха «Ударник», находящегося в 3 км от г. Саратова.

Численность различных эколого-трофических групп микроорганизмов определяли в свежезятых почвенных образцах методом высева последовательных разведений на диагностические питательные среды: аммонифицирующих микроор-

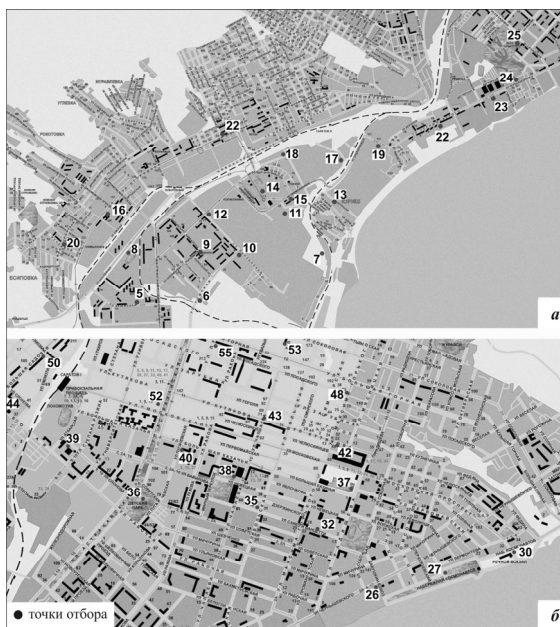


Рис. 1. Карта-схема точек пробоотбора почв на территории г. Саратова: а – Заводской район, б – центр города

ганизмов – на мясо-пептонной агар (МПА); использующих минеральный азот бактерий и актиномицетов – на крахмально-аммиачный агар (КАА); микромицетов и микроскопических грибов – на среду Чапека; олигонитрофилов – на среду Эшби и целлюлозоразрушающих – на среду Гетчинсона. Все посеы проводили в трехкратной повторности. Численность микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах в 1 г абсолютно сухой почвы (Практикум по микробиологии, 2005).

Для определения активности ферментов готовили воздушно-сухие образцы почвы и исследовали содержание каталазы, дегидрогеназы, уреазы, фосфатазы по методу Ф. Х. Хазиева (Временные методические рекомендации..., 1984; Хазиев, 2005), инвертазы по методическим разработкам Л. В. Лысака (Биологический контроль..., 2008).

«Дыхание почвы» оценивали по количеству выделившейся из почвенных проб углекислоты за определенный промежуток времени (Временные методические рекомендации..., 1984).

Для определения фитотоксичности почв проводили биотестирование почвенных образцов и водных вытяжек почв с помощью тест-растений: *Raphanus sativus* L. (сорт красный с белым кончиком), *Triticum durum* Desf. (сорт Фаворит). Все латинские названия растений приводятся по сводке С. К. Черепанова (1995). Оценку токсичности проводили по стандартным методикам (ГОСТ 12038-84; ГОСТ Р ИСО 22030-2009).

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 (Зайцев, 1991).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах г. Саратова распространены две основные группы почв: реликты природных и городские почвы. В черте города на реликтовых участках распространены шесть типов природных почв: серые лесные, чернозёмы обыкновенные, чернозёмы южные, пойменные аллювиальные, лугово-чернозёмные и лугово-каштановые, солонцы. Природные почвы в границах городской территории развиты преимущественно в пределах рекреационной зоны города. Искусственные почвы антропогенного происхождения наиболее широко развиты в пределах Приволжской котловины, где они характеризуются способностями к накоплению загрязняющих веществ и приобретают фактически роль вторичного загрязнителя окружающей среды (Саратовский научно-образовательный геоэкологический полигон, 2007).

Загрязнение окружающей среды по-разному влияет на функционирование микробных сообществ, способствуя как подавлению, так и активизации процессов биологической трансформации органических веществ. Изменение численности и видового разнообразия микроорганизмов в почвах г. Саратова по сравнению с пригородом представлено на рис. 2.

Анализ комплекса микроорганизмов в почвах г. Саратова позволил установить максимальное количество аммонифицирующих бактерий в пробах почв, собранных вблизи промышленных зон предприятий, территории городского парка и в скверах Заводского района города ($180 - 250 \cdot 10^7$ КОЕ/г), минимальное – в почвах, собранных на территории Набережной города ($20 - 40 \cdot 10^7$ КОЕ/г).

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Наибольшее количество актиномицетов выделено из почв, собранных на территории Городского парка, Театральной площади и в сквере на пл. Орджоникидзе в Заводском районе. Практически отсутствовали актиномицеты в пробах почвы, собранных на оживленных автомагистралях в центре города.

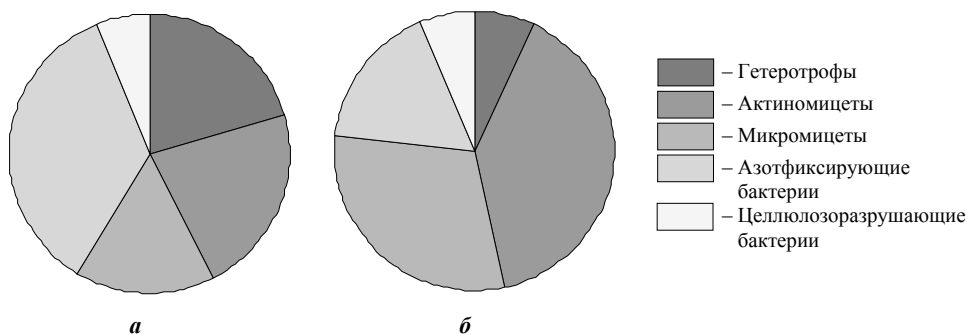


Рис. 2. Видовое разнообразие микроорганизмов в почвах г. Саратова и пригородной территории: а – фоновая территория, б – городская территория

Исследование закономерности изменения численности микромицетов, играющих важную роль в минерализации органического вещества, выявило максимальное их количество в почвах на территории Детского парка и в скверах Заводского района, минимальное – на улицах с небольшой автомобильной загруженностью ($5 - 30 \cdot 10^7$ КОЕ/г).

Азотфиксирующие микроорганизмы являются важнейшими поставщиками азота. Максимальная численность азотфиксирующих микроорганизмов зафиксирована в почвах городского парка ($300 - 400 \cdot 10^3$ КОЕ/г), минимальная – на территории Театральной площади ($8 - 80 \cdot 10^3$ КОЕ/г).

В процессах трансформации органических веществ в почве большое значение играют целлюлозоразрушающие бактерии. Максимальное количество целлюлозоразрушающих бактерий выделено из почв, собранных по ул. Томской в Заводском районе ($50 - 80\%/г$), минимальное – на территории промышленной зоны САЗ ($10 - 20\%/г$).

Особенности количественного состава и жизнедеятельности почвенной микрофлоры отражаются на ходе биохимических процессов в почве, поэтому наряду с изучением основных эколого-трофических групп микроорганизмов определение активности основных ферментов, играющих важную роль в трансформации органических веществ и мобилизации питательных элементов в почве, дает более полное представление о биологическом состоянии почвы. Данные, полученные в ходе оценки ферментативной активности и дыхания почв на территории г. Саратова, представлены в таблице.

Каталазную активность почв можно рассматривать как показатель функциональной активности микрофлоры в различных экологических условиях, так как, выделяясь микроорганизмами в окружающую среду, она обладает высокой устойчивостью, может накапливаться и длительное время сохраняться в почве (Skujin,

1976). Во всех пробах почв, собранных на территории г. Саратова, отмечена низкая активность каталазы. Максимальные значения данного фермента (0.8 – 1.5 мл O₂ / 1 г почвы за 1 мин) зафиксированы в пробах почв, собранных на ул. Чернышевской, пл. Орджоникидзе, ул. Пензенской и просп. Энтузиастов, минимальное же значение во дворах и на пустырях, где отмечено сильное уплотнение почвенно-го покрова вследствие вытаптывания (0.2 – 0.7 мл O₂ / 1 г почвы за 1 мин).

Оценка ферментативной активности и дыхания почв на территории г. Саратова

№ пробы	Каталаза, мл O ₂ / 1 г почвы / 1 мин	Уреаза, мг NH ₄ / 1 г почвы / 4 ч	Фосфатаза, мг фенолфталеина / 1 г почвы / 1 ч	Инвертаза, мг глюкозы / 1 г почвы / 24 ч	Дегидрогеназа, мг формазана / 1 г почвы за 24 ч	Дыхание почв кол-во CO ₂ в мг / дм ² почвы / 1 ч
5	0.3	0.056	0.43	2.9	0.012	0.04
6	0.4	0.045	0.35	3.2	0.017	0.02
7	0.3	0.072	0.45	2.7	0.03	0.10
8	0.2	0.056	0.12	1.5	0.019	0.07
9	0.2	0.050	0.03	0.5	0.112	0.09
10	1.3	0.056	0.09	0.7	0.016	0.25
11	0.8	0.056	0.22	0.8	0.05	0.15
12	0.8	0.056	0.21	1.9	0.054	0.07
13	0.9	0.072	0.44	2.1	0.150	0.01
14	0.3	0.045	0.31	3.2	0.016	0.09
15	0.5	0.053	0.21	2.9	0.016	0.12
16	0.8	0.066	0.10	1.2	0.017	0.17
17	0.5	0.074	0.33	2.8	0.030	0.28
18	0.9	0.075	0.08	0.5	0.028	0.16
19	1.0	0.077	0.22	1.5	0.030	0.17
20	0.9	0.089	0.18	0.9	0.050	0.03
21	1.5	0.072	0.09	0.3	0.028	0.09
22	0.2	0.065	0.09	0.7	0.028	0.16
23	0.7	0.065	0.10	1.2	0.027	0.59
24	1.2	0.072	0.28	1.9	0.012	0.09
25	1.5	0.064	0.39	2.7	0.017	0.13
к	1.8	0.042	0.48	3.8	0.030	0.15

Дегидрогеназы катализируют реакции дегидрирования органических веществ, принимают непосредственное участие в разложении углеводов. Установлена обратная зависимость между содержанием нефти и активностью дегидрогеназ (Киреева и др., 2002; Плешакова и др., 2010). Дегидрогеназная активность в значительной степени отражает уровень деструкции нефтяных углеводов в почвенных субстратах (Шарапова и др., 2010). Высокая чувствительность дегидрогеназ к химическим веществам используется в качестве диагностического показателя загрязнения почв (Временные методические рекомендации..., 1984). Тяжелые металлы блокируют реакции с участием данного фермента, что приводит к уменьшению либо к прекращению его каталитического действия (Новоселова, Киреева, 2009). Во всех почвенных пробах, собранных на территории г. Саратова, отмечен критический уровень содержания дегидрогеназы, что может свидетельствовать о высокой степени загрязнения их различными поллютантами.

Важную роль в обеспечении растений элементами минерального питания играет фосфатаза-фермент, отвечающий за минерализацию органического фосфора.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Все тяжелые металлы ингибируют активность фосфатазы и снижают содержание в почве АТФ, степень ингибирования зависит от типа почвы и концентрации металла. Нефтяное загрязнение также понижает активность данного фермента (Новоселова, Киреева, 2009). Активность фосфатазы в исследованных почвах в основном характеризовалась как низкая (0.03 мг фенолфталеина/г почвы за 1 ч – селитебные зоны города) и средняя (0.45 мг фенолфталеина/г почвы за 1 ч – в парках и скверах города).

Уреаза является существенным фактором азотного обмена, так как ее активность коррелирует с активностью всех ведущих ферментов азотного метаболизма. В условиях антропогенного пресса возможно изменение активности данного фермента (Галстян, 1974). При нефтяном загрязнении активность уреазы повышается, что связывают с ростом численности аммонифицирующих микроорганизмов (Новоселова, Киреева, 2009). Изменение активности данного фермента было установлено в нескольких пробах почв, собранных по ул. Огородней (улице с невысокой степенью антропогенной нагрузки).

Активность инвертазы, являющейся одним из важнейших ферментов, характеризует биологическую активность почв. В цикле углерода инвертазы, высвобождая хорошо растворимые низкомолекулярные сахара, предоставляют источник питания для микроорганизмов (Vepsäläinen et al., 2001). Нефтепродукты приводят к снижению активности инвертазы (Новоселова, Киреева, 2009). Инвертазная активность исследованных почв характеризуется как слабая. Пределы колебания активности данного фермента в почвах г. Саратова составили от 0.3 (автомагистрала в центре города) до 3.8 мг глюкозы в 1 г почвы за 24 ч (фоновая территория). В ряде работ показано снижение инвертазы на фоне загрязнения почв тяжелыми металлами (Коньшева, Коротченко, 2011).

В ряде исследований отмечено существование тесных взаимосвязей между содержанием гумуса в почве и активностью многих гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов (Абрамян, 1992; Михайловская, Миканова, 2008). Соответственно низкое содержание в почвенных образцах г. Саратова ферментов может свидетельствовать о слабой гумусированности данных почв.

В биодиагностике почв большое значение имеет определение почвенного дыхания как интегрального показателя работы всей биоты. Интенсивность выделения углекислоты дает достоверную информацию о напряженности микробально-биохимических процессов, о направленности трансформации органического вещества, а также позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв. Полученные результаты по определению дыхания городских почв представлены в таблице. В целом для почв г. Саратова характерна низкая интенсивность выделения углекислоты (0.20 ± 0.05 мг CO_2 за 1 ч дм^2 почвы), максимальные значения зафиксированы в пробах, собранных на ул. Чернышевского и ул. Пензенской, минимальные – на территориях, где отмечено сильное уплотнение грунта.

Для более полной характеристики почв г. Саратова была проведена оценка фитотоксичности почвенных образцов на тест-объекты: *R. sativus* (сорт красный с белым кончиком), *T. durum* (сорт Фаворит).

Фитотестирование как метод оценки почв используется издавна для определения качества семян, плодородия почв, в биомедицинских исследованиях и сравнительно недавно в природоохранной сфере для контроля качества окружающей среды. При этом для оценки токсичности необходимо выбирать как минимум два растения, одно должно быть однодольным, второе – двудольным (Фомин, Фомин, 2001).

Фитотоксичность почв г. Саратова на тест-объект *R. sativus* оценивали по способности подавлять или стимулировать всхожесть семян. Исследования показали, что всхожесть семян редиса на почвенных образцах и в водных вытяжках из почв достоверно не отличалась от контроля, незначительные подавления роста отмечены лишь в пробах, собранных вблизи автомагистралей. Полученные данные не позволили судить о токсичности всех исследуемых проб почвы.

В литературе имеются данные о том, что при загрязнении почв тяжелыми металлами и другими поллютантами в меньшей степени подавляются всхожесть и энергия прорастания, а наиболее чувствительным показателем является изменение длины корней растений (Лисовицкая, Терехова, 2010).

Фитотоксичность почвенных образцов на тест-объект *T. durum* оценивали по способности всхожести семян и морфометрическим признакам (см. рис. 3). Определение степени токсичности почвы по всхожести биотеста *T. durum* показало, что пробы почв, отобранные вблизи промышленных зон САЗ, завода «САКОЗА», метизного завода, в районе Набережной, а также вблизи автомагистралей города были среднетоксичны. Пробы почв вблизи Залетаевских очистных сооружений, складов САЗ, центральных улиц города и жилых массивов Заводского района характеризовались слабой токсичностью. Проб, обладающих высокой токсичностью, не выявлено.

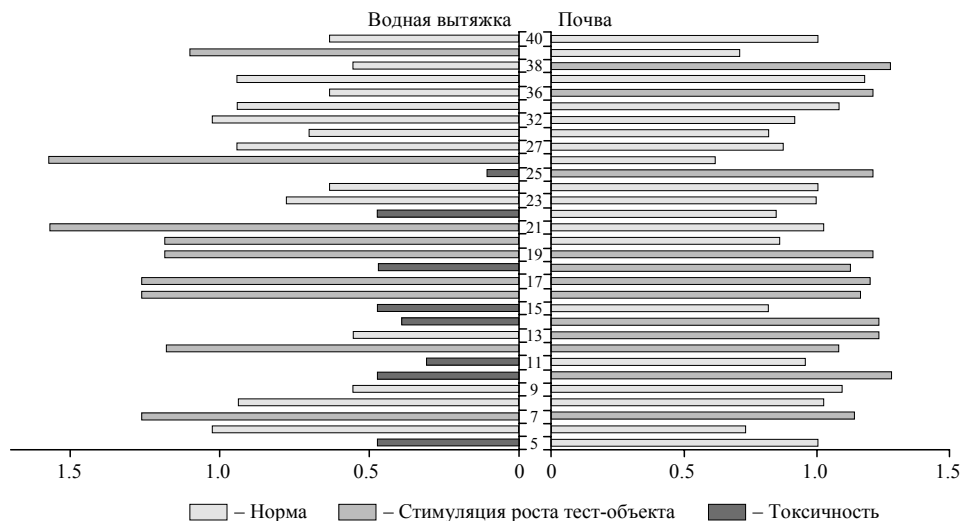


Рис. 3. Оценка токсичности проб почв, собранных на территории г. Саратова с помощью тест-объекта *Triticum durum*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Исследование морфометрических признаков тест-объекта, выращенного на почвах, собранных в г. Саратове, выявило отклонения и по длине корня, и по длине стебля в пробах, полученных на пересечении автомагистралей г. Саратова, вблизи промышленных зон САЗ, метизного завода и завода «САКОЗА», а также на Набережной. Значимые отклонения от контрольных показателей зафиксированы при оценке длины стебля тест-объекта, выращенного на городских почвах.

Оценка степени токсичности почвенных вытяжек по всхожести биотеста *T. durum* выявила, что водные вытяжки почв, отобранные вблизи промышленных зон авиационного и метизного заводов, заводов «Биокон» и «САКОЗА», а также на Набережной города обладают высокой токсичностью.

Средняя токсичность зафиксирована в пробах, взятых вблизи автомагистралей Заводского района и в центре г. Саратова. Водные вытяжки из почв жилых массивов Заводского района и центральных улиц характеризовались слабой токсичностью.

При оценке морфометрических признаков выявлены однотипные отклонения от контрольных показателей и по длине стебля, и по длине корня в пробах, отобранных вблизи промышленных зон авиационного и метизного заводов, заводов «Биокон», «САКОЗА», в районе Набережной, а также на пересечении автомагистралей города. Это может быть связано с тем, что в водные вытяжки почв попадают водорастворимые компоненты поллютантов, оказывающие непосредственное влияние на биотест-объект. В остальных пробах значимые отклонения не обнаружены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная оценка состояния почвенного покрова г. Саратова позволила выявить степень антропогенного нарушения и состояние почвенной биоты. Установлено изменение видового разнообразия микроорганизмов, а именно увеличение в почвах г. Саратова содержания актиномицетов и микромицетов. Данные активности ферментов и почвенного дыхания позволили говорить о низком биохимическом потенциале почвы, что свидетельствует о ее слабой степени самоочищения. Сведения о фитосанитарном состоянии почв г. Саратова имеют неоднозначный характер и требуют дальнейшего изучения.

Экологический мониторинг почв и формирование базы данных позволяют использовать биоиндикационный метод в прогнозировании изменения состояния и степени антропогенной нагрузки на почвенный покров г. Саратова и разработать адекватные методические подходы к реабилитации и восстановлению состояния почв на урбанизированных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамян С. А. Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70 – 82.
- Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Сарапульцевой. М. : Академия, 2008. 288 с.
- Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / под ред. С. Г. Малахова. М. : Гидрометеиздат, 1984. Ч. II. 76 с.
- Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван : Айастан, 1974. 275 с.

ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести / Министерство сельского хозяйства СССР. М., 1984. 60 с.

ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2010. 36 с.

Завистяева Т. Ю. Значение почвы как одного из показателей состояния здоровья населения в системе социально-гигиенического мониторинга // Здоровье населения и среда обитания. 2006. № 1. С. 18 – 21.

Зайцев Т. Н. Математический анализ биологических данных. М. : Наука, 1991. 268 с.

Киреева Н. А., Новоселова Е. И., Онегова Т. С. Активность каталазы и дегидрогеназы в почвах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Агрехимия. 2002. № 8. С. 64 – 72.

Коньшова Е. Н., Коротченко И. С. Влияние тяжелых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почв // Вестн. Красноярск. гос. уни-та. 2011. № 1. С. 114 – 119.

Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Докл. по экологическому почвоведению. 2010. № 1, вып. 13. С. 1 – 18.

Мудрый И. В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2008. № 4. С. 32 – 37.

Новоселова Е. И., Киреева Н. А. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и ее биодиагностическое значение // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 2. С. 4 – 12.

Плешакова Е. В., Кабанцева Е. Г., Черновол В. С. Активность дегидрогеназ в нефтезагрязненных почвах как инструмент мониторинга технологий биоремедиации // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. 2010. Т. 10. Сер. Химия. Биология. Экология. Вып. 1. С. 40 – 46.

Практикум по микробиологии / под ред. А. И. Нетрусова. М. : Академия, 2005. 608 с.

Саратовский научно-образовательный геоэкологический полигон / под ред. А. В. Иванова, В. З. Макарова, А. Н. Чумаченко. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 286 с.

Фомин Г. С., Фомин А. Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М. : Протектор, 2001. 304 с.

Фомина Н. В., Демиденко Г. А., Сорокин Н. Д. Эколого-микробиологический мониторинг почвы лесного питомника Красноярского края // Вестн. Красноярск. гос. ун-та. 2006. № 10. С. 146 – 152

Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.

Шарапова И. Э., Гарабаджиу А. В., Маркарова М. Ю., Щемелинина Т. Н. Микробиологическая активность нефтезагрязненных почвенных субстратов при очистке с применением комплексных биосорбентов // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2010. Т. 12, № 1(5). С. 1245 – 1249.

Михайловская Н. А., Миканова О. Взаимосвязь ферментативной активности с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. 2008. № 4. С. 49 – 53.

Skujin J. J. Extracellular enzymes in soil // CRS Crit. Rev. Microbiol. 1976. Vol. 4, № 4. P. 383 – 414.

Vepsäläinen M., Kukkonen S., Vestberg M., Sirviö H., Niemi R. M. Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment // Soil Biology and Biochemistry. 2001. Vol. 33, № 12 – 13. P. 1665 – 1672.

УДК [599.742.4:615.9](470.12)

**СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНАХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ
СЕМЕЙСТВА КУНЬИХ (MUSTELIDAE)
ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**В. Т. Комов¹, Е. С. Степина², В. А. Гремячих¹,
Н. Я. Поддубная², М. Я. Борисов³**

¹ *Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок
E-mail: vkomow@ibiw.yaroslavl.ru*

² *Череповецкий государственный университет
Россия, 162600, Череповец, Луначарского, 5
E-mail: StepinaElena@yandex.ru*

³ *Государственный научно-исследовательский институт
озерного и речного рыбного хозяйства
Россия, 160012, Вологда, Левичева, 5
E-mail: myaborisov@mail.ru*

Поступила в редакцию 16.12.11 г.

Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куньих (Mustelidae) Вологодской области. – Комов В. Т., Степина Е. С., Гремячих В. А., Поддубная Н. Я., Борисов М. Я. – Концентрации ртути в органах хищных млекопитающих семейства куньих Вологодской области варьируют в широких пределах: от 0.03 мг/кг в мозге горностая до 6.29 мг/кг в печени лесной куницы. Среднее содержание металла в органах крупных представителей семейства куньих – американской норки и лесной куницы – выше, чем в органах меньших по размерам животных – горностая и ласки. Содержание ртути в органах лесной куницы, обитающей в районах на западе Вологодской области, в два-три раза превышает уровни накопления металла животными из восточной части области.

Ключевые слова: ртуть, хищные млекопитающие, куньи.

Mercury contents in the organs of musteline (Mustelidae) mammals in the Vologda region. – Komov V. T., Stepina E. S., Gremyachikh V. A., Poddybnaya N. Ya., and Borisov M. Ya. – The mercury concentrations in some organs of predatory musteline mammals in the Vologda region vary over a wide range: from 0.03 mg/kg in the ermine's brain to 6.29 mg/kg in the marten's liver. The average content of the metal in the organs of large representatives of mustelids (minks and martens) is higher than that in smaller animals (ermine and weasels). The mercury concentrations in the organs of martens from the western districts of the Vologda region two-three times exceed those in the animals from the eastern districts.

Key words: mercury, carnivorous mammals, food webs mustelidae.

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть (Hg), в отличие от других тяжелых металлов, благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, мигрирует в атмосфере и гидросфере на сотни и тысячи километров от источников эмиссии, в первую очередь предприятий, сжигающих природные углеводороды в больших количествах, и накапливается в биотических компонентах водных экосистем (Arctic Pollution, 2002). Содержание

металла в живых организмах возрастает по мере приближения к вершинам трофических сетей и достигает максимальных значений у представителей высших трофических уровней (хищных рыб, рыбоядных птиц и млекопитающих) (Scheuhammer et al., 2007). Высокие концентрации Hg в органах представляют угрозу для здоровья животных (Wiener et al., 2002).

К настоящему времени основная часть работ по изучению накопления ртути животными проведена на водных и околоводных позвоночных, в частности рыбах и типичных ихтиофагах – гагарах, норках и выдрах (Arctic Pollution, 2002; Scheuhammer et al., 2007). Это связано с тем, что в водной среде происходит метилирование ртути с образованием более токсичных металлоорганических соединений (Babiarz et al., 1998). Несмотря на то, что водные и наземные экосистемы не изолированы друг от друга, данных по содержанию ртути в представителях последних мало. Это касается и животных, принадлежащих семейству куньих (за исключением американской норки и выдры), широко распространенных, многочисленных и эврибионтных консументах высших порядков наземных экосистем северо-запада России (Данилов, Туманов, 1976).

На территории Вологодской области расположены крупные промышленные предприятия, сжигающие в технологическом процессе большое количество природных углеводородов, которые являются источниками поступления ртути в окружающую среду. В озёрах, не имеющих на площади водосборного бассейна локальных источников и находящихся на расстоянии десятков и сотен километров от промышленных центров Вологодской области, неоднократно регистрировались высокие значения содержания ртути в мышцах окуня (> 1 мг Hg/kg) (Степанова, Комов, 1997; Haines et al., 1992). В то же время исследований по оценке содержания ртути в организмах высших трофических уровней наземных экосистем в Вологодской области и сопредельных территориях не проводилось.

Поэтому целью работы было определение содержания ртути в органах представителей хищных млекопитающих семейства куньих, обитающих в различных природно-ландшафтных районах Вологодской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор материала и определение концентраций ртути в органах хищных млекопитающих из 7 районов Вологодской области, различающихся природно-климатическими условиями (гидрографическими особенностями, увлажнением, количеством осадков) и степенью развития промышленности: Череповецкого, Кадуйского, Белозерского, Вашкинского, Устюженского, Вожегодского и Никольского (табл. 1), проведены в 2007 – 2011 гг.

Объем собранного материала составил 311 проб от 90 особей 5 видов млекопитающих: ласки (*Mustela nivalis*), горностая (*M. erminea*), лесного хоря (*M. putorius*), лесной куницы (*Martes martes*), американской норки (*Neovison vison*).

Материал получали от охотников районных охотхозяйств и объединений, имеющих лицензию на добычу диких видов млекопитающих. Кроме того, были проанализированы несколько экземпляров животных, погибших в рыболовных сетях (4 экз.), ловушках, установленных в курятниках, или сбитых автотранспор-

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНАХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

том. Разная степень сохранности тушек не позволила в некоторых случаях определить массу тела животного и отобрать для анализа все необходимые органы.

Таблица 1

Природно-климатические условия районов Вологодской области

Показатели	Районы						Источ- ник
	Черепов- ецкий	Кадуй- ский	Устюжен- ский	Белозер- ский	Вашкин- ский	Николь- ский	
Площадь района, тыс. км ²	7.6	3/3	3.6	5.4	2.9	7.5	1
Расстояние от г. Череповца, км	0	65	93	114	141	400	1
Доля территории, занятой низинными болотами, %	5–10	1–5	1–5	5–10	1	0.1	3
Доля территории, занятой верховыми болотами, %	5–10	15–25	20	5–15	1	0.1	3
Доля территории, занятой болотами, %	10–15	15–20	41	10–15	2	0.17	3
Доля территории, занятой лесами, %	50–60	40–50	30–40	50–60	50–60	70	3
Доля территории, занятой пойменными лугами, %	0.5	0	8–10	2	2	8–10	3
Речной сток, км	250	250	250	300	300	300	1
Густота речной сети, км/км ²	0/35	0.35	0.6	0.4	0.4	0.77	1, 3
Количество атмосферных остатков, мм	580	580	550	550	550	510	1, 3
K _{озерности} , %	0.83	0.2	0.57	3	3	0.1	2

Примечание. 1 – Атлас Вологодской области, 2007; 2 – Озерные ресурсы Вологодской области, 1981; 3 – Природа Вологодской области, 1957.

После измерения массы тушки (без шкуры) пробы различных органов помещали в полиэтиленовые пакеты, замораживали и хранили при температуре $-4 - -16^{\circ}\text{C}$. Содержание ртути в образцах определяли в ИБВВ РАН на ртутном анализаторе РА-915 + с приставкой ПИРО (Льюмэкс) атомно-абсорбционным методом холодного пара без предварительной пробоподготовки. Точность аналитических методов измерения контролировали с использованием сертифицированного биологического материала DORM-2 и DOLN-2 (Институт химии окружающей среды, Оттава, Канада).

Данные представляли в виде средних значений и их ошибок ($x \pm mx$). Результаты обрабатывали статистически, используя метод дисперсионного анализа (ANOVA). Для определения корреляционных связей между количеством металла в разных парах органов животных, а также зависимости количества металла в органах куниц от природно-климатических особенностей их местообитания (значения которых не имеют нормального распределения) использовали непараметрический коэффициент Спирмена ($r_s, p < 0.05$). Статистический анализ данных проводили с помощью пакета программ STATGRAPHICS Plus 2.1 и STATISTICA Release 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Максимальные концентрации ртути у всех представителей семейства куньих определены в печени (0.09 – 3.52) и почках (0.18 – 3.43), меньше в мышечной тка-

ни (0.05 – 2.37) и минимальные – в мозге (0.03 – 0.87 мг Hg/кг сырой массы) животных (табл. 2). При этом у одной лесной куницы из Вашкинского района содержание Hg во всех исследованных образцах было значительно выше средних показателей для этого вида. При дальнейшем рассмотрении результатов данные по этому экземпляру были исключены из анализа.

Таблица 2

Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куньих Вологодской области, мг/кг сырой массы

Вид	N	Масса, г	Содержание Hg в органах			
			мышцы	печень	почки	мозг
Горностай <i>M. erminea</i>	3	171	0.05±0.01 ^a 0.03-0.06	0.09±0.03 ^a 0.04-0.12	0.18±0.07 ^a 0.04-0.25	0.03±0 ^a
Лесная куница <i>Martes martes</i>	54	785±178 572-1250	0.36±0.03 ^a 0.10-1.44	0.41±0.01 ^a 0.108-2.27	0.67±0.1 ^a 0.21-3.2	0.13±0.1 ^a 0.034-0.47
	1	777	2.1 ^b	6.29 ^c	3.65 ^b	0.71 ^b
Ласка <i>M. nivalis</i>	12	59±13 39-74	0.12±0.1 ^a 0.01-0.44	0.13±0.07 ^a 0.01-0.64	0.27±0.11 ^a 0.01-1.03	0.13±0.05 ^a 0.004-0.51
Американская норка <i>N. vison</i>	10	880±175.3 640-1170	2.37±1.7 ^b 0.25-5.08	3.49±1.95 ^b 0.571-6.49	3.42±1.7 ^b 0.58-5.52	0.87±0.56 ^b 0.14-1.77
		837.3±118.9 640-1049	0.27±0.1 ^a 0.25-1.17	0.23±0.05 ^a 0.57-1.77	0.38±0.12 ^a 0.58-1.99	0.09±0.02 ^a 0.142-0.42

Примечание. В числителе приведены средние значения и их ошибки ($x \pm mx$), в знаменателе – минимальные и максимальные значения показателя; ^{a, b, c} – значения с разными буквенными надстрочными индексами достоверно различаются по органам между отдельными видами (в колонках) при уровне значимости $p \leq 0.05$ (ANOVA-тест).

Содержание ртути в исследованных органах американской норки статистически значимо превышало уровни соответствующих показателей у всех остальных представителей семейства куньих (см. табл. 2). Средние значения показателя отмечены у куницы (0.13 – 0.67) и хоря (0.09 – 0.38); минимальные – у горностая (0.03 – 0.18) и ласки (0.12 – 0.27 мг Hg/кг сырой массы).

Установлена достоверная корреляционная зависимость между содержанием ртути во всех возможных парах исследованных органов у норки ($r_s = 0.86 - 0.91$, $p < 0.00$, $n = 8 - 9$), лесной куницы ($r_s = 0.76 - 0.90$, $p < 0.00$, $n = 34 - 52$) и ласки ($r_s = 0.85-0.94$, $p < 0.00$, $n = 5 - 12$). У хоря установлена достоверная корреляционная зависимость между содержанием ртути во всех возможных парах исследованных органов ($r_s = 0.90 - 0.94$, $p < 0.03$, $n = 5 - 7$) за исключением пар: почки – другой орган, где зависимость статистически не значима ($r_s = 0.65-0.77$, $p \leq 0.1$, $n = 7$).

Зависимость содержания ртути в органах животных от природно-климатических особенностей и удаленности районов обитания от промышленного центра г. Череповца исследовали на примере лесной куницы, количество которой в выборках было максимальным (табл. 3).

Содержание металла в одних и тех же органах самцов куниц выше, чем самок, но эти различия статистически не достоверны. Показатели корреляционной зависимости содержания Hg во всех парах исследованных органов у самцов выражены

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНАХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

в большей степени и статистически значимы ($r_s = 0.80 - 0.91$, $p < 0.00$, $n = 20$), у самок – в меньшей ($r_s = 0.69 - 0.82$, $p < 0.00 - 0.01$, $n = 12$) и не достоверны для пар органов почки – мозг ($r_s = 0.51 - 0.87$, $p \leq 0.1$, $n = 11$). Статистически значимой корреляции концентрации металла с массой животных не установлено.

Таблица 3

Содержание ртути в органах лесной куницы (*Martes martes*) из разных районов Вологодской области, мг/кг сырой массы

Орган	Районы				
	Череповецкий	Кадуйский	Вашкинский + Белозерский	Устюженский	Никольский
Мышцы	0.45 ± 0.07^b 14	0.45 ± 0.06^b 15	0.34 ± 0.1^{ab} 6	0.28 ± 0.05^{ab} 7	0.19 ± 0.02^a 12
Печень	0.62 ± 0.15^b 12	0.31 ± 0.11^{ab} 4	0.42 ± 0.05^{ab} 5	0.29 ± 0.04^{ab} 7	0.22 ± 0.02^a 12
Почки	1.02 ± 0.20^b 12	0.66 ± 0.25^{ab} 3	0.52 ± 0.17^{ab} 5	0.49 ± 0.01^{ab} 5	0.38 ± 0.05^a 12
Мозг	0.17 ± 0.03^b 13	0.15 ± 0.01^b 16	0.14 ± 0.05^{ab} 6	0.1 ± 0.02^{ab} 6	0.07 ± 0.01^a 12

Примечание. В числителе приведены средние значения и их ошибки ($\bar{x} \pm m\bar{x}$), в знаменателе – n ; ^{a, b} – значения с разными буквенными надстрочными индексами достоверно различаются по органам между отдельными районами (в строчках) при уровне значимости $p < 0.05$ (ANOVA-тест).

Самые высокие концентрации ртути во всех исследованных органах зарегистрированы у животных из Череповецкого района, самые низкие – из Никольского. Содержание металла во всех образцах из этих двух наиболее удаленных друг от друга районов различались статистически значимо (см. табл. 3). Достоверно выше, чем у куниц из Никольского, были значения показателя для мышц и мозга животных из примыкающего к Череповецкому Кадуйского района. Различий в содержании Hg в печени и почках особей Кадуйского и всех остальных исследованных районов не отмечено.

Установлены отрицательные корреляционные зависимости между концентрацией металла во всех исследованных органах куниц и удаленностью районов их обитания от промышленного центра ($r_s = -0.37 - (-0.47)$, $p < 0.02$), а также между частью территории (%), занятой пойменными лугами, и количеством Hg в мышцах, почках и мозге. Отрицательная статистически значимая связь отмечена между количеством ртути в мозге и мышцах куниц от густоты речной сети ($r_s = -0.29$, $p < 0.02$; $r_s = -0.37$, $p < 0.00$) и доли территории (%), занятой лесом в районе обитания животных ($r_s = -0.27$, $p < 0.04$; $r_s = -0.32$, $p < 0.01$).

Достоверная положительная корреляционная зависимость связывает содержание металла в органах куниц и показатели среднегодового количества осадков ($r_s = 0.32 - 0.53$, $p < 0.03$), коэффициента озёрности ($r_s = 0.28 - 0.42$, $p < 0.03$) и части территории района (%), занятой низинными болотами ($r = 0.33 - 0.46$, $p < 0.01$). Кроме того, отмечена достоверная зависимость между количеством ртути в мозге и

мышцах животных и долей (%) территории, занятой верховыми болотами ($r_s = 0.30$, $p < 0.01$; $r_s = 0.43$, $p < 0.00$) и болотами в целом ($r_s = 0.30$, $p < 0.02$; $r_s = 0.37$, $p < 0.00$), в районе их обитания.

ОБСУЖДЕНИЕ

Зарегистрированные в ходе работы концентрации общей ртути в органах хищных млекопитающих семейства куньи Вологодской области (0.004 – 6.49 мг Hg/кг сырой массы) сопоставимы с имеющимися в литературе данными для наиболее исследованных на настоящий момент представителей семейства куньих – норки и выдры. Содержание металла в печени выдр и норок Северной Америки варьировало в пределах 0.26 – 8.66 и 0.85 – 10.0, в головном мозге – 0.06 – 10.2 мг /кг сырой массы (Evans et al., 2000; Fortin et al., 2001; Yates et al., 2005). Высокие концентрации Hg в органах этих животных связаны, вероятно, с их преимущественным питанием рыбой (Wiener et al., 2002).

Для накопления и распределения ртути в организме животных семейства куньих Вологодской области характерны высокие концентрации металла в печени и почках, более низкие – в мышцах и минимальные – в мозге. В рационе исследованных нами животных встречаются млекопитающие, птицы, земноводные, рыбы, насекомые и растения. Однако можно выделить виды, питающиеся исключительно мышевидными грызунами: это ласка и горностай. Американская норка, лесная куница и лесной хорь относятся к видам с более широким кормовым спектром (Данилов, Туманов, 1976; Поддубная, Козлова, 2007; Чашухин, 2009). Достоверно более высокие концентрации металла в организме американских норок из Вожегодского района, по сравнению со всеми остальными исследованными видами семейства куньих, и, вероятно, могут быть связаны с неизвестными нам локальными источниками ртутного загрязнения, приуроченными к местам обитания животных, либо с более узкой пищевой специализацией норок Вологодской области (преимущественном питании гидробионтами, в первую очередь рыбой (Поддубная, Козлова, 2007). Статистически значимых отличий в содержании ртути в органах эврифагов – лесного хоря и куницы – не установлено: хищники, по-видимому, имеют сходный рацион питания. В печени, почках и мозге типичных миофагов – ласки и горностая – содержание ртути достоверно ниже, чем в соответствующих органах куницы.

У куньих Вологодской области установлены высокие статистически значимые корреляционные связи между концентрациями ртути во всех парах исследованных органов, за исключением зависимости количества металла в парах органов почки – другой орган у хоря. При этом у самцов лесной куницы коэффициент корреляции для всех пар органов выше, чем у самок. Для американской норки из Северной Америки также отмечена достоверная корреляционная зависимость между содержанием Hg в печени и головном мозге, более выраженная у самок ($r = 0.77$, при $p < 0.001$), чем у самцов ($r = 0.55$, при $p < 0.001$) (Yates et al., 2005). У выдры зависимость такого рода оказалась достоверной только для самцов ($r = 0.64$, $p < 0.001$).

Содержание Hg во всех исследованных органах куниц достоверно уменьшалось с увеличением расстояния мест их обитания от промышленных центров, ин-

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНАХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

дустриально-развитых Череповецкого и Кадуйского районов. Концентрация общей ртути в органах норки и выдры, по мнению ряда авторов, может быть использована в качестве показателя загрязнения окружающей среды в районах, близких к промышленным центрам (Fortin et al., 2001). В свою очередь, накопление металла в организме животных – один из возможных факторов, способствующих сокращению численности этих видов пушных зверей на побережье Атлантического океана (юго-восток США), т.е. в районах, исторически ими богатых (Osowski et al., 1995). Концентрация ртути в почках норки из проблемных областей составляла более 25 мг/кг, из отдаленных – менее 4 мг/кг сырой массы (Osowski et al., 1995).

Районы обитания исследованных экземпляров лесных куниц различались не только по степени удалённости от промышленных центров Вологодской области, но и по своим природно-климатическим особенностям (см. табл. 1). Для западных районов – Череповецкого, Кадуйского, Вашкинского и Устюженского – характерно наличие большого числа озёр и заболоченных территорий, в то время как в Никольском районе, расположенном на востоке области и удаленном от металлургического центра более чем на 500 км, крупных водоёмов и болотных массивов нет (Природа Вологодской области, 1957). Выявленные положительные достоверные корреляционные зависимости между концентрацией ртути в органах куниц и среднегодовым количеством осадков, коэффициентом озёрности, а также долей территории (%), занятой низинными болотами, могут свидетельствовать о том, что содержание металла в биотических компонентах наземных экосистем в значительной степени зависит от наличия водно-болотных угодий в местах обитания животных. Известно, что водная среда считается основным источником поступления ртутьорганических соединений в трофические сети (наземные в том числе) в силу того, что именно в водоёмах и на заболоченных территориях создаются благоприятные условия для бактериального процесса преобразования менее токсичных для биоты неорганических соединений металла в металлорганические (Greenfield et al., 2001).

Согласно литературным данным, для норки и выдры содержание ртути, превышающее 10 мг/кг в мозге и 20 – 100 мг/кг в печени, несовместимо с жизнью (Dansereau et al., 1999). Исследований, посвященных воздействию сублетальных концентраций ртути на диких хищных млекопитающих и выявлению у последних функциональных и поведенческих изменений, очень мало. Результаты медицинских и токсикологических исследований на мелких млекопитающих (мышьях, крысах, морских свинках) показали, что концентрации металла в головном мозге 3 – 5 мг / кг могут вызывать визуальный, когнитивный или нейроповеденческий дефицит у животных (Burbacher et al., 1990). Снижение остроты зрения и способности к обучению опасно для жизни в дикой природе, так как может существенно повлиять на способность охотиться, что приведет к голоданию, повышенной восприимчивости к болезням или сокращению репродукции живых организмов. Полученные в настоящем исследовании результаты позволяют сделать вывод об отсутствии остротоксичных, летальных уровней накопления Hg в организме хищных млекопитающих Вологодской области. Однако зарегистрированные концентрации

металла у отдельных особей могут свидетельствовать о реальной возможности возникновения функциональных нарушений на организменном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованные виды семейства куньих Вологодской области значительно различаются по абсолютным значениям концентраций ртути в органах, а также особенностями накопления и распределения металла между ними. Максимальные концентрации Hg зарегистрированы в почках и печени американской норки, средние – у лесной куницы и хоря, минимальные – у горностая и ласки.

Содержание ртути в органах лесной куницы из западной части Вологодской области в более чем 2 раза превышает значение показателя для популяции животных восточной части. Для исследованных видов высокий уровень вариабельности концентраций ртути в органах связан, вероятно, не только с различиями в образе жизни, особенностями рационов питания и природно-климатических условий мест обитания животных, но и с разными объёмами поступления металла на территорию районов области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Вологодской области. СПб. : Аэрогеодезия, 2007. 108 с.
- Данилов П. И., Туманов И. А. Куньи Северо-Запада СССР. Л. : Наука. Ленингр. отделение, 1976. 198 с.
- Озерные ресурсы Вологодской области / Вологодский гос. пед. ин-т. Вологда, 1981. 150 с.
- Природа Вологодской области. Вологда : Обл. кн. изд-во, 1957. 328 с.
- Поддубная Н. Я., Козлова И. В. Состояние популяций куньих (Mustelidae) на северо-западе Вологодской области в 1995 – 2006 годах // Териофауна России и сопредельных территорий : материалы Междунар. конф. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2007. С. 384.
- Степанова И. К., Комов В. Т. Накопление ртути в рыбе из водоёмов Вологодской области // Экология. 1997. № 4. С. 295 – 299.
- Чащухин В. А. Норка американская. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2009. 103 с.
- Arctic Pollution (AMAP). Oslo, 2002. 212 p.
- Babiarz C. L., Hurley J. P., Benoit J. M., Shafer M. M., Andren A. W., Webb D. A. Seasonal influences on partitioning and transport of total and methylmercury in rivers from contrasting watersheds // Biogeochemistry. 1998. Vol. 41. P. 237 – 257.
- Burbacher T. M., Rodier P. M., Weiss B. Methylmercury developmental neurotoxicity : a comparison of effects in humans and animals // Neurotoxicol. Teratol. 1990. Vol. 12. P. 191 – 202.
- Greenfield B. K., Hrabik T. R., Hervey G. J., Carpenten S. R. Predicting mercury levels in yellow perch of water chemistry, trophic ecology, and spatial traits // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2001. Vol. 58. P. 1419 – 1429.
- Dansereau M., Lariviere N., Tremblay D. D., Belanger D. Reproductive performance of two generations of female semidomesticated mink fed diets containing organic mercury contaminated freshwater fish // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1999. Vol. 36. P. 221 – 226.
- Fortin C., Beauchamp G., Dansereau M., Lariviere N., Belanger D. Spatial variation in mercury concentrations in wild mink and river otter carcasses from the James Bay Territory, Quebec, Canada // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2001. Vol. 40. P. 121 – 127.

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ОРГАНАХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Haines T. A., Komov V. T., Jagoe C. H. Lake acidity and mercury content of fish in Darwin National Reserve, Russia // *Environ. Pollut.* 1992. Vol. 78. P. 107 – 112.

Evans R. D., Addison E. M., Villeneuve J. Y., MacDonald K. S., Joachim D. G. Distribution of inorganic and methylmercury among tissues in mink (*Mustela vison*) and otter (*Lutra canadensis*) // *Environ. Res. Sect. A.* 2000. Vol. 84. P. 133 – 139.

Osowski S. L., Brewer L. W., Baker O. E., Cobb G. P. The decline of mink in Georgia, North Carolina, and South Carolina: the role of contaminants // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1995. Vol. 29. P. 418 – 423.

Scheuhammer A. M., Meyer M. W., Sandheinrich M. B., Murray M. W. Effects of Environmental Methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish // *Ambio.* 2007. Vol. 36, № 1. P. 12 – 18.

Wiener J. G., Krabbenhoft D. P., Heinz G. H., Scheuhammer A. M. Ecotoxicology of mercury // *Handbook of Ecotoxicology.* Boca Raton : Lewis Publishers, 2002. P. 409 – 463.

Yates D. E., Mayach D. T., Munney K., Evers D. C., Major A., Kaur T., Taylor R. J. Mercury Levels in Mink (*Mustela vison*) and River Otter (*Lontra canadensis*) from Northeastern North America // *Ecotoxicology.* 2005. Vol. 14. P. 263 – 274.

УДК 574.583(28):581+574.5(285.2)(47)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ ВОЛГИ В ГОДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕРМИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

В. И. Лазарева, Н. М. Минеева, С. М. Жданова

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок
E-mail: laz@ibiw.yaroslavl.ru*

Поступила в редакцию 22.02.11 г.

Пространственное распределение планктона в водохранилищах Верхней и Средней Волги в годы с различными термическими условиями. – Лазарева В. И., Минеева Н. М., Жданова С. М. – Изучено пространственное распределение хлорофилла фитопланктона, структуры и обилия зоопланктона в трех крупных водохранилищах Волги – Рыбинском, Горьковском и Чебоксарском летом 2008 и 2010 гг. Проанализированы факторы, влияющие на содержание пигмента и количество зоопланктона. Показано, что в anomalously жарком 2010 г. концентрация хлорофилла и зоопланктона превышала типичные для исследованных водохранилищ. Зарегистрированы изменения структуры зоопланктона, снижение плодovitости кладоцер, встречаемости бентосных видов и низкая численность велигеров дрейссены.

Ключевые слова: хлорофилл, зоопланктон, температура воды, водохранилища Волги.

Spatial plankton distribution in the Upper and Middle Volga reservoirs in some years with different thermal conditions. – Lazareva V. I., Mineeva N. M., and Zhdanova S. M. – The spatial distribution of phytoplankton chlorophyll, the structure and abundance of zooplankton in three large Volga river reservoirs (the Rybinsk, Gorky, and Cheboksary reservoirs) in the summer of 2008 and 2010 was studied. Factors influencing the pigment content and zooplankton abundance were analyzed. In the anomalously hot 2010, the concentration of chlorophyll and zooplankton exceeded the typical values of the reservoirs. Changes in the zooplankton structure, a decrease in the cladoceran fecundity, the occurrence frequency of benthic species, and a low density of *Dreissena veligers* were observed.

Key words: chlorophyll, zooplankton, water temperature, Volga river reservoirs.

ВВЕДЕНИЕ

В крупных водохранилищах водоросли планктона продуцируют основной запас органического вещества. Степень развития водорослей и трофический статус водоёма оценивают по содержанию главного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a*, который считается универсальной эколого-функциональной характеристикой альгоценозов. Ведущим потребителем первичной продукции в толще воды служит зоопланктон. Его состав и структура во многом определяются количеством и доступностью водорослей – трофического ресурса для мирных зоопланктеров.

В водохранилищах формируются различные водные массы (Буторин, 1969). Их свойства влияют на развитие и пространственное распределение фитопланктона, а наличие течений и их скорость формируют характерные особенности структуры зоопланктона. В свою очередь, планктон оказывает воздействие на подводный световой и газовый режим. Исследование взаимосвязи биотических и абиоти-

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

ческих параметров экосистемы важно для понимания факторов биологической продуктивности и изменения трофического статуса водоёмов.

Температура относится к важнейшим регулирующим факторам развития гидробионтов, от нее зависят скорость протекания жизненных процессов, а также характер воздействия других факторов среды. Это также основной структурирующий фактор, определяющий сезонную смену видов и их пространственное распределение. В последние 30 – 35 лет в северном полушарии отмечают повышение температуры воздуха и, как следствие, температуры воды, в том числе в водохранилищах Волги на 0.6 – 1.6°C (Литвинов, Рощупко, 2005). К 2007 г. почти на 1 месяц увеличилась продолжительность безледного периода. Следствия такого изменения климата для водных сообществ не изучены.

Цель работы – на примере трех волжских водохранилищ проанализировать взаимосвязь между характеристиками планктона и факторами среды, выявить специфические изменения в сообществе зоопланктона, связанные с высокой температурой воды. Кроме того, собранные по расширенной сетке станций данные характеризуют особенности пространственного распределения фито- и зоопланктона и продолжают многолетний мониторинг экосистем водохранилищ.

Все три водохранилища расположены внутри волжского каскада. По классификации (Авакян и др., 1987) они относятся к очень крупным (площадь 1270 – 4550 км²) и неглубоким (средняя глубина 4.2 – 5.6 м). Коэффициент водообмена в Рыбинском водохранилище составляет 1.9 год⁻¹, в Горьковском – 6.1 год⁻¹, в Чебоксарском – 19.8 год⁻¹. Рыбинское водохранилище считают слабо эвтрофным, Горьковское и Чебоксарское – эвтрофными, среди волжских водохранилищ наибольшую антропогенную нагрузку испытывает Чебоксарское (Минеева, 2004).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собирали в комплексных экспедициях Института биологии внутренних вод РАН 30 июля – 16 августа 2008 г. и 14 – 27 июля 2010 г. на 46 станциях в пелагиали Рыбинского, Горьковского и Чебоксарского водохранилищ (табл. 1, 2). В Рыбинском водохранилище обследовали четыре плёса Главный, Волжский, Моложский и Шекснинский. В Горьковском станции располагались преимущественно на русле Волги, в Чебоксарском – попарно у левого (волжская водная масса) и правого (окская водная масса) берегов. Координаты станций определяли с помощью GPS Garmin.

Абиотические характеристики (температуру воды, прозрачность, цветность и скорость течения) определяли общепринятыми методами (Алекин и др., 1973; Богословский и др., 1984). Количество фитопланктона оценивали по содержанию хлорофилла, которое определяли стандартным спектрофотометрическим методом (Jeffrey, Humphrey, 1975; SCOR-UNESCO, 1966) в пробе воды, отобранной 1-метровым пластмассовым батометром типа Элгморка totallyно изо всей водной толщи от поверхности до дна.

Тотальные от дна до поверхности воды пробы зоопланктона (Rotifera, Cladocera, Copepoda) собирали с борта экспедиционного судна малой сетью Джеди (диаметр входа 12 см, сито с диагональю ячеек 120 мкм). На участках с сильным

течением фильтровали через сеть 100 л воды. Сборы фиксировали 4%-ным формалином и анализировали в лаборатории по стандартной методике в модификации одного из авторов (Лазарева, 2010). Индивидуальную плодовитость и количество мертвых особей ракообразных учитывали методом просмотра дополнительных сборов живого зоопланктона. Гидробионтов обездвигивали с применением наркоза 10%-ным этанолом, пробы просматривали в судовой лаборатории в течение 20 – 30 мин после отбора.

Таблица 1

Обилие зоопланктона и содержание хлорофилла на станциях Рыбинского водохранилища в июле – августе 2008 – 2010 гг.

Станция	Координаты		Хлорофилл, мкг/л		B_{300} , г/м ³		N_{300} , тыс. экз./м ³	
	с.ш.	в.д.	2008	2010	2008	2010	2008	2010
1. Коприно	58° 04'	38° 18'	37.3	7.4	0.88	1.38	52.3	55.2
2. Волково	58° 09'	38° 47'	16.3	9.3	0.34	1.08	30.2	59.1
3. Каменики	58° 10'	38° 38'	2.7	30.2	0.16	0.27	24.5	56.5
4. Молога	58° 13'	38° 27'	25.0	7.0	0.52	1.78	65.9	74.5
5. Брейтово	58° 19'	37° 57'	10.0	7.8	0.45	1.07	62.9	83.8
6. Наволок	58° 22'	38° 23'	9.7	8.0	0.23	1.46	52.1	127.0
7. Всехсвятское	58° 22'	38° 38'	6.2	17.4	0.28	0.86	23.4	88.6
8. Устье р. Ухра	58° 22'	38° 52'	3.8	–	0.13	–	8.3	–
9. Первомайка	58° 24'	37° 44'	8.6	6.0	0.52	1.11	134.9	60.7
10. Устье р. Себла	58° 27'	37° 37'	5.9	11.0	0.31	1.68	154.3	51.1
11. Измайлово	58° 27'	38° 30'	9.7	11.0	0.23	1.51	21.0	142.1
12. Средний Двор	58° 31'	38° 19'	8.9	6.9	0.40	0.61	58.7	112.8
13. Противье	58° 31'	37° 32'	–	15.4	–	1.28	–	34.0
14. Гаютино	58° 43'	38° 16'	23.8	13.1	0.48	0.67	34.3	109.1
15. Мякса	58° 51'	38° 06'	6.8	25.2	0.11	0.67	169.8	124.2
16. Любец	59° 01'	37° 51'	8.9	18.4	0.67	4.60	49.6	88.7
17. Кабачино	59° 05'	38° 01'	4.1	28.9	2.29	9.62	47.4	197.3
18. Устье р. Кошта	59° 06'	37° 46'	1.7	34.7	–	6.41	–	122.4
19. Торово	59° 07'	37° 42'	17.3	19.7	0.13	10.07	11.4	124.2

Примечание. B_{300} и N_{300} – биомасса и численность зоопланктона, прочерк – отсутствие данных.

Математическую обработку данных проводили с использованием пакета статистических программ STATISTICA Microsoft. Значимость факторов среды для характеристик планктона определяли по критерию Фишера (F) и частному коэффициенту детерминации (R^2). Кластерный анализ выполняли с использованием эвклидова расстояния в качестве меры различия между сообществами. Различия между кластерами зоопланктона рассматривали в пространстве первых двух дискриминантных функций (канонических корней), объясняющих ~90% дисперсии численности видов. Вклады отдельных видов в дифференциацию кластеров оценивали по критерию F и частному коэффициенту Уилкса (L).

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

Таблица 2

Обилие зоопланктона и содержание хлорофилла на станциях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ в июле – августе 2008 – 2010 гг.

Станция	Координаты		Хлорофилл, мкг/л		B_{300} , г/м ³		N_{300} , тыс. экз./м ³	
	с.ш.	в.д.	2008	2010	2008	2010	2008	2010
Горьковское водохранилище								
20. Ниже г. Рыбинска	58° 02'	38° 57'	11.3	11.3	0.12	2.22	10.5	118.5
21. Выше г. Ярославля	57° 42'	39° 49'	10.0	9.5	0.07	0.51	5.7	24.1
22. Ниже г. Ярославля	57° 33'	40° 07'	19.0	7.5	0.05	0.65	2.9	15.0
23. Против пос. Красный Профинтерн	57° 45'	40° 28'	15.5	17.0	0.45	0.87	12.3	30.6
24. Устье р. Сизема	57° 47'	40° 42'	3.5	13.5	–	0.25	–	14.3
25. Костромское расширение	57° 48'	40° 41'	4.4	84.3	0.21	1.20	17.9	81.1
26. Ниже г. Кострома	57° 41'	40° 59'	11.3	15.7	0.57	0.13	15.2	13.0
27. Ниже г. Плес	57° 27'	41° 34'	11.0	16.5	0.15	1.40	20.4	56.4
28. Ниже г. Кинешма	57° 26'	42° 14'	6.8	10.0	0.46	2.10	10.4	105.4
29. Устье р. Унжа	57° 22'	43° 13'	7.3	14.3	0.45	3.94	11.9	132.2
30. Против г. Юрьевец	57° 21'	43° 12'	8.2	32.0	–	1.81	–	86.8
31. Против г. Пучеж	56° 59'	43° 12'	11.8	28.1	0.42	1.92	33.1	61.5
32. Ниже г. Чкаловска	57° 41'	43° 20'	<u>10.8</u> 9.8	7.4	1.10	4.08	29.9	182.7
Чебоксарское водохранилище								
33. Ниже г. Городца	56° 36'	43° 29'	11.2	14.1	0.11	4.23	10.6	159.6
34. Выше устья р. Ока	56° 21'	43° 56'	9.5	47.3	0.18	0.97	8.7	65.4
35. Устье р. Ока			7.6	101.4	0.004	0.04	0.9	17.5
36. Ниже г. Н-Новгорода	56° 17'	44° 09'	<u>10.0</u> 9.6	<u>67.3</u> 27.2	0.05	<u>0.67</u> 0.22	3.4	<u>43.4</u> 31.9
37. Ниже г. Кстово	56° 10'	44° 14'	<u>7.2</u> 7.9	<u>65.9</u> 66.5	0.14	<u>0.44</u> 1.27	7.5	<u>27.5</u> 62.7
38. Ниже с. Безводное	56° 09'	44° 23'	<u>7.2</u> 6.1	<u>69.7</u> 48.9	0.07	<u>0.52</u> 1.60	8.4	<u>32.0</u> 67.0
39. Протока р. Керженец	56° 04'	45° 00'	–	44.9	–	0.73	–	43.4
40. Ниже с. Лысково	56° 05'	45° 05'	<u>10.3</u> 10.1	<u>32.7</u> 38.6	<u>0.005</u> 0.12	<u>0.52</u> 1.89	<u>2.5</u> 12.1	<u>53.2</u> 164.0
41. Устье р. Сура	56° 07'	45° 59'	21.5	44.7	0.54	3.20	66.2	334.8
42. Ниже пос. Васильсурск	56° 08'	46° 00'	8.7 5.7	20.1 36.7	0.18 0.23	4.24 2.87	16.3 12.1	236.3 140.7
43. Устье р. Ветлуга	56° 19'	46° 22'	12.2	33.2	0.98	10.64	25.6	181.2
44. Ниже г. Козьмодемьянск	56° 21'	46° 35'	<u>12.1</u> 16.7	6.8	0.27 0.09	2.89	8.2 4.9	131.5
45. Ниже пос. Ильинка	56° 11'	46° 50'	11.5	16.9	0.21	1.90	9.8	81.8
46. Ниже г. Чебоксары	56° 08'	47° 24'	10.4	7.5	0.30	0.85	12.2	46.4

Примечание. На отдельных станциях: числитель – русло Волги у правого берега, знаменатель – то же у левого берега. Условные обозначения см. табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Абиотические характеристики. Гидрофизические характеристики водохранилищ существенно различались в периоды исследования (табл. 3). Летом 2010 г. в Рыбинском и Горьковском водохранилищах цветность воды была достоверно выше, а в Чебоксарском – ниже, чем в 2008 г. Наиболее окрашенные воды отмече-

ны в Рыбинском водохранилище, особенно в северных плесах (> 100 град. Pt-Ско шкалы). Прозрачность повсеместно была ниже, чем в предыдущие годы вследствие высокого количества сестона в толще воды. Минимальные ее значения наблюдали в устьевых участках притоков. Самая низкая скорость течения отмечена в Рыбинском водохранилище. В Горьковском она была в среднем в 1.7 раза ниже, а в Чебоксарском – вдвое ниже по сравнению с таковой в 2008 г. Максимальную скорость течения (> 0.5 м/с) регистрировали на речных участках Горьковского и Чебоксарского водохранилищ, что наблюдалось и ранее (Минеева и др., 2008).

Таблица 3

Гидрофизические характеристики водохранилищ в июле – августе 2008 и 2010 гг.

Показатель	Водохранилище					
	Рыбинское		Горьковское		Чебоксарское	
	2008	2010	2008	2010	2008	2010
$T_{\text{воды}}$ на поверхности, °С	<u>19.5±0.1</u> 18.7–20.3	<u>27.2±0.2</u> 25.0–29.3	<u>19.1±0.2</u> 17.8–20.3	<u>27.6±0.6</u> 25.5–33.0	<u>18.8±0.3</u> 17.4–21.3	<u>27.5±0.2</u> 25.0–29.0
$T_{\text{воды}}$ у дна, °С	18.0–20.0	17.3–26.5	17.8–20.0	23.0–27.0	17.4–19.3	25.0–28.0
Глубина, м	<u>12.2±0.7</u> 7–17	<u>11.1±1.0</u> 3–22	<u>9.5±1.0</u> 3–15	<u>8.9±1.3</u> 2.5–16	<u>7.7±0.9</u> 3–16	<u>7.4±0.9</u> 3–17
Прозрачность, см	<u>143±6</u> 100–180	<u>126±7</u> 80–190	<u>126±7</u> 90–175	<u>97±6</u> 60–120	<u>130±8</u> 65–200	<u>97±8</u> 40–190
Цветность, град. Pt-Со	<u>57±5</u> 45–130	<u>74±5</u> 40–120	<u>53±1</u> 50–60	<u>57±1</u> 50–65	<u>53±1</u> 45–60	<u>41±1</u> 30–55
Скорость течения, м/с	<0.1	<0.1	0.29±0.10	0.17±0.09	0.42±0.08	0.20±0.04
Число станций	17	21	15	13	20	21

Примечание. Числитель – среднее с ошибкой, знаменатель – минимум – максимум.

Температура воды водохранилищ в пределах одной экспедиционной съемки различалась незначительно (см. табл. 3), коэффициент вариации (CV) составлял 4 – 7%. Однако степень прогрева водной толщи в разные годы была не одинакова. Летом 2010 г. средняя температура поверхности воды на 8 – 8.5°С, а максимальная – на 8 – 13°С превышала таковую в 2008 г. Отмечена обратная корреляция температуры поверхности воды со скоростью течения ($r = -0.28$, $p = 0.004$). На проточных участках вода прогревалась слабее, но здесь ее температура фактически была одинаковой от поверхности до дна, тогда как на непроточных участках в Рыбинском водохранилище регистрировали заметную термическую стратификацию. Придонный слой воды нагревался выше 25°С в Рыбинском водохранилище и выше 27°С – в Горьковском и Чебоксарском (см. табл. 3). Это вызвало интенсивное выделение газов из донных отложений и дефицит растворенного кислорода в слое воды глубже 5 м.

В целом в июле 2010 г. водоёмы характеризовались аномально высоким прогревом воды, а также пониженной проточностью и прозрачностью, особенно Чебоксарское водохранилище. В июле – августе 2008 г. условия среды были близки к типичным для периода летней межени, сравнимые показатели наблюдали в августе 2001 г. (Минеева и др., 2008). Для сравнения: в 1980 – 1990-х гг. среднего-

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

летняя температура поверхности воды в Рыбинском водохранилище составляла $20.2 \pm 1.6^\circ\text{C}$ в июле и $19.0 \pm 1.2^\circ\text{C}$ в августе, максимальный прогрев не превышал $23 - 24^\circ\text{C}$ (данные Гидрометеослужбы). В Горьковском водохранилище нормы летней температуры воды близки к таковой в Рыбинском, в других водохранилищах Средней Волги – на $\sim 1^\circ\text{C}$ выше (Литвинов, Рошупко, 1993).

Хлорофилл. В оба года концентрация хлорофилла в Рыбинском (13.8 ± 1.5 мкг/л) и Горьковском водохранилищах (14.9 ± 2.9 мкг/л) была близка к таковой в предыдущие годы (Минеева, 2006; Минеева и др., 2008). Повышенные значения отмечены в 2010 г. в Волжском и Шекснинском плёсах Рыбинского водохранилища (табл. 4), а также локально на мелководьях Горьковского (см. табл. 2). В июле 2010 г. содержание пигмента было высоким (> 30 мкг/л) по всей акватории Чебоксарского водохранилища, что в 3 – 4.5 раза превышало показатели 2008 г. (см. табл. 4). Летнее содержание хлорофилла в этом водоёме в предыдущие годы составляло 14.6 – 18.8 мкг/л (Минеева, 2007; Минеева и др., 2008).

Таблица 4

Характеристики планктона различных участков Рыбинского, Горьковского и Чебоксарского водохранилищ летом 2008 и 2010 гг.

Участок	Показатель									
	Хл <i>a</i> , мкг/л	B_{300} , г/м ³	N_{300} , тыс. экз./м ³	N_{rot} , %	N_{cls} , %	N_{cop} , %	N_{cr}/N_{rot}	$N_{vel}/(N_{vel}+N_{\phi})$, %	S_{Br} , %	Е/О
Рыбинское водохранилище										
Главный плёс	10.4±1.8	0.4±0.1	60±15	45±7	5±1	50±7	0.7	52±6	0	0.7
	11.2±1.9	1.1±0.1	98±9	39±5	9±2	52±4	1.4	5±2	0	0.8
Волжский плёс	21.7±10.1	0.5±0.3	38±14	25±3	17±9	58±12	3.2	69±4	50	1.0
	18.8±11.4	1.0±0.4	80±24	8±2	28±13	64±14	9.1	6±3	67	1.1
Моложский плёс	5.9	0.3	154	81	1	19	0.2	46	0	0.7
	13.2±2.2	1.4±0.1	97±35	5±1	17±5	77±5	18.4	20±13	25	1.1
Шекснинский плёс	7.2±2.5	1.0±0.6	36±12	19±8	17±6	65±9	6.0	32±21	33	1.0
	25.4±3.9	7.7±1.3	133±23	3±1	33±4	63±4	25.8	9±3	60	1.0
Горьковское водохранилище										
Речной	10.8±1.5	0.2±0.1	13±3	12±5	16±3	71±5	11.0	55±9	0	0.9
	20.6±8.0	1.0±0.3	51±14	4±1	17±2	79±2	24.0	15±3	22	1.3
Озерный	8.7±2.0	0.6±0.2	28±10	43±12	14±4	43±10	0.8	41±9	0	0.5
	20.5±5.8	2.9±0.6	116±27	4±1	22±5	74±5	27.8	5±4	100	1.0
Чебоксарское водохранилище										
Речной, окская водная масса	12.0±3.2	0.15±0.10	17.8±12.4	24±11	13±3	63±8	9.5	5±3	100	2.0
	56.1±10.2	1.37±0.62	106.4±47.7	21±10	13±3	65±8	10.9	4±2	100	1.9
Речной, волжская водная масса	8.6±0.8	0.11±0.02	8.2±1.1	28±6	11±3	60±4	2.9	17±4	67	1.8
	40.5±5.5	1.72±0.46	91.8±19.0	9±2	15±2	75±3	9.2	3±1	100	2.6
Озерный	12.6±1.1	0.3±0.1	12±3	1±0.3	38±1	61±1	125.0	1±0.5	50	1.7
	34.5±19.0	5.4±1.9	121±24	4±1	28±3	68±3	23.2	32±9	75	1.3

Примечание. В числителе – 2008 г., в знаменателе – 2010 г.; N_{rot} , N_{cls} , N_{cop} – доля коловраток, кладоцер и копепоид в N_{300} ; N_{cr}/N_{rot} – отношение численности ракообразных к таковой коловраток; $N_{vel}/(N_{vel}+N_{\phi})$ – доля велигеров дрейссен в общей численности фильтраторов; S_{Br} , % – встречаемость видов рода *Brachionus*; Е/О – индекс трофности: отношение количества видов-индикаторов эвтрофных вод к таковому олиготрофных.

Наблюдали заметные различия концентрации пигмента по станциям (см. табл. 1, 2). Наиболее высокие значения *CV* хлорофилла отмечали в 2008 г. в Рыбинском водохранилище (77%), а в 2010 г. – в Горьковском (100%) и Чебоксарском (63%). Пошаговый регрессионный анализ свидетельствовал о том, что межгодовые изменения содержания хлорофилла были положительно связаны с температурой воды ($r = 0.49$, $F = 23.0$, $R^2 = 19\%$). По акватории водохранилищ содержание хлорофилла снижалось на глубоководных участках ($r = -0.32$, $F = 18.2$, $R^2 = 27\%$) и слабо возрастало с увеличением температуры ($F = 7.8$, $R^2 = 10\%$).

В целом концентрация хлорофилла во всех водоёмах соответствовала их эвтрофному статусу. Распределение пигмента по станциям отражало пространственные вариации развития водорослей и указывало на высокую обеспеченность пищей мирного зоопланктона.

Зоопланктон. Общее количество зоопланктона летом 2008 г. было близко к типичному для исследованных водохранилищ. В июле 2010 г. численность (N_{300}) и биомасса (B_{300}) сообщества превышали обычные значения в 1.5 – 4.5 раза в Рыбинском и Горьковском водохранилищах и в 8 – 14 раз – в Чебоксарском, что связано с преобладанием ракообразных. Их численность на большинстве участков водохранилищ (индекс N_{cr}/N_{rot}) была более чем на порядок выше таковой коловраток (см. табл. 4). В озёрной части Чебоксарского водохранилища B_{300} достигала 3 – 12 г/м³ (см. табл. 2). Это много выше ее пиковых (0.1 – 0.3 г/м³) июньских значений (Шурганова, Ахметов, 2001). В Рыбинском водохранилище B_{300} почти не отличалась от отмеченной летом 2003 и 2005 гг. (1.6 – 3.9 г/м³), указанные годы тоже были теплыми (Лазарева, 2010).

В оба года в зоопланктоне всех трех водохранилищ преобладали копеподы (> 50% N_{300} и 33 – 39% B_{300}). Второй по численности группой были кладоцеры, составлявшие до 38% N_{300} и >50% B_{300} . Их вклад в формирование B_{300} достигал максимума (> 80%) в планктоне Шекснинского плёса Рыбинского водохранилища, а также в озёрных участках Горьковского и Чебоксарского водохранилищ. Наибольшее количество коловраток наблюдали в Рыбинском водохранилище (27±5 тыс. экз./м³). В 2008 г. коловратки формировали в среднем 7±2% B_{300} , максимально в Рыбинском водохранилище – до 40%, а в Чебоксарском – до 35% B_{300} . В 2010 г. вклад коловраток в B_{300} был заметен лишь в Главном плёсе Рыбинского водохранилища (10±2%, максимум до 20% B_{300}) и в устье р. Оки (37% B_{300}), на других участках их доля составила < 1% B_{300} .

Положительная статистическая связь содержания хлорофилла с численностью кладоцер ($r = 0.37$, $p < 0.05$) и B_{300} ($r = 0.39$, $p < 0.05$) зарегистрирована только в Рыбинском водохранилище. В Горьковском и Чебоксарском не выявлено зависимости между характеристиками зоо- и фитопланктона, что указывает на отсутствие лимитирования зоопланктона количеством водорослей. Кроме того, в 2010 г. в Чебоксарском водохранилище отмечено достоверное отрицательное влияние высокой концентрации хлорофилла на численность *Daphnia galeata* Sars, 1864 ($F = 11.5$, $R^2 = 20\%$), обусловленное, вероятно, нарушением нормальной работы фильтрационного аппарата дафний. В скоплениях водорослей (Хл $a > 40$ мкг/л) количество *D. galeata* составляло 4±1 тыс. экз./м³, на других участках водоёма – 11±3 тыс. экз./м³.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

Структурные группировки зоопланктона в водохранилищах Волги не всегда четко локализируются в пространстве (Шурганова и др., 2003, 2005; Лазарева, 2010). В период исследования отмечены различия между сообществами озёрных и речных участков, а в Чебоксарском водохранилище – право- и левобережных биотопов (см. табл. 4, рис. 1). Однако в целом структура летнего зоопланктона трех водохранилищ была сходной (рис. 2, а). Отчетливо обособлялись лишь группировки отдельных участков Рыбинского водохранилища (рис. 2, б).

Высокое сходство структуры сообщества было вызвано преобладанием немногих ракообразных. На большинстве станций доминировал лимнический комплекс, представленный обычными для Волги видами *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *T. crassus* (Fischer, 1853), *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) и *D. galeata* (см. рис. 1, а). Локально высокую численность образовывали *Limnoscia frontosa* Sars, 1862, *Daphnia cucullata* Sars, 1862, *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848), а в Чебоксарском водохранилище – *D. orghidani* Ne-grea, 1982. Развитию лимнофилов способствовала сравнительно низкая скорость течения в речных участках водохранилищ (см. табл. 3). На станциях с сильным течением было заметно ниже количество видов, обнаруживаемых в пробе ($r = -0.37, p < 0.001$), и численность зоопланктона ($r = -0.31, p < 0.01$).

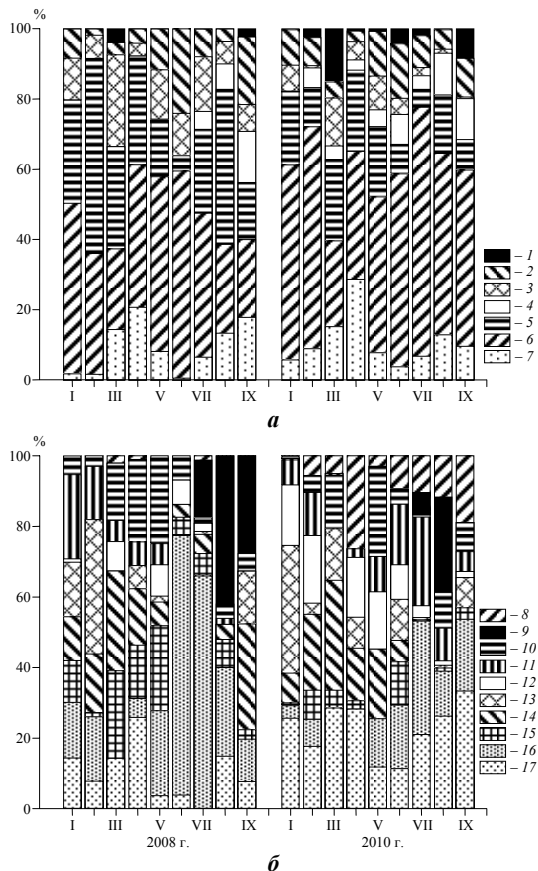


Рис. 1. Относительная численность доминантных видов ракообразных (а) и коловраток (б) различных участков водохранилищ в 2008 и 2010 гг. Участки водохранилищ: I – Главный, II – Моложский, III – Шекснинский и IV – Волжский плесы Рыбинского, V – речной и VI – озерный участки Горьковского, VII – левобережная часть и VIII – правобережная часть речного участка Чебоксарского, IX – озерный участок Чебоксарского. Виды: ракообразные: 1 – *Limnoscia frontosa*, 2 – *Daphnia galeata*, 3 – *Eudiaptomus gracilis*, 4 – *Thermocyclops crassus*, 5 – *T. oithonoides*, 6 – *Mesocyclops leuckarti*, 7 – прочие рачки; коловратки: 8 – *Brachionus angularis*, 9 – *B. calyciflorus*, 10 – *Keratella quadrata*, 11 – *K. cochlearis*, 12 – *Conochilus unicornis*, 13 – *C. hippocrepis*, 14 – *Polyarthra major*, 15 – *Synchaeta pectinata*, 16 – *Euchlanis lucksiana*, 17 – прочие коловратки

Различия между кластерами зоопланктона связаны преимущественно с вариациями состава и численности коловраток. Основными дискриминантными видами, разделяющими кластеры 1, 2, 3 и 5 (см. рис. 2), были *Polyarthra luminosa* Kutikova, 1962 ($F = 27.3$, $L = 0.39$), *Keratella cochlearis* Gosse, 1851 ($F = 13.9$, $L = 0.55$), *Trichocerca similis* Wierzeski, 1893 ($F = 13.9$, $L = 0.55$). Особенно сильно выделялось сообщество коловраток Чебоксарского водохранилища ниже устья р. Оки (см.

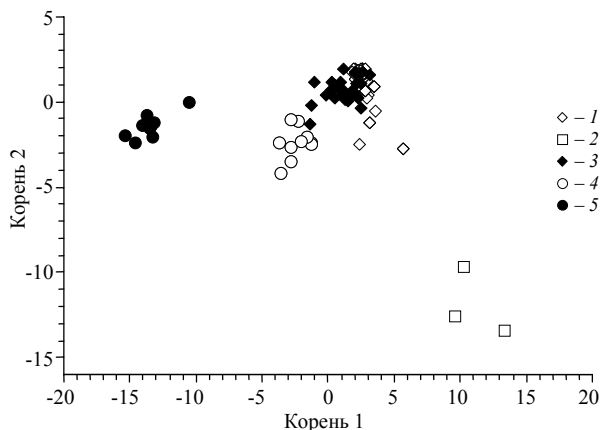


Рис. 2. Дискриминантный анализ различий между группировками зоопланктона в 2008 и 2010 гг. (результаты представлены в координатах первых двух канонических переменных (корней), формирующих 89% дисперсии численности доминантных видов): 1 – Горьковское и Чебоксарское 2008 г., 2 – центр Рыбинского 2008 г., 3 – Горьковское и Чебоксарское 2010 г., 4 – приустьевые участки рек Рени, Унжи, Керженца, Ветлуги и центр Рыбинского в 2010 г., 5 – Шекснинский плёс и восточная часть Главного плёса Рыбинского 2010 г.

наиболее четко прослеживались смены доминантных видов в широтном направлении: *Polyarthra major* Bruckhardt, 1900 доминировала в Рыбинском и Горьковском водохранилищах, *Euchlanis lucksiana* (Hauer, 1930) и *Keratella quadrata* Müller, 1786 – в Горьковском и Чебоксарском, а *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832 вообще была малочисленна. В 2008 г. все они были сравнительно многочисленны (5 – 74% N_{tot}) на большинстве участков исследованных водоёмов.

В целом в 2010 г. в Рыбинском водохранилище состав и соотношение численности доминантов было сходным с таковым позднелетнего зоопланктона в три предшествовавших года (Лазарева, 2010). Для Горьковского и Чебоксарского водохранилищ обнаружены значительные отличия с полученными ранее данными. Так, в оба года среди доминантов зоопланктона в этих водоёмах отсутствовали *Chydorus sphaericus* Müller, 1785, *Bosmina longirostris* Müller, 1785, *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834). Ранее эти виды относили к многочисленным (Шурганова и др., 2003, 2005).

рис. 1, б). Здесь высокой численности достигали представители рода *Brachionus* (*B. calyciflorus* Pallas, 1766, *B. angularis* Gosse, 1851). Сообщество с доминированием этих коловраток на данном участке отмечали и в предыдущие годы (Шурганова и др., 2003). С 2000 г. зарегистрировано уменьшение различий между лево- и правобережным зоопланктоном, а также рост значения копепод (Шурганова, Ахметов, 2001). Наши данные подтверждают эту тенденцию.

Соотношение численности массовых видов коловраток сильно варьировало на разных участках водохранилищ и год от года (см. рис. 1, б). В жарком 2010 г.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

Жарким летом 2010 г. наблюдали изменение соотношения обилия крупных таксономических групп зоопланктона. Так, соотношение биомассы циклопов и калянид (индекс B_{cyc}/B_{cal}) увеличилось повсеместно в 3 – 9 раз, доля кладоцер в планктоне Рыбинского и Горьковского водохранилищ – в 1.4 – 2 раза (см. табл. 4). Увеличилась также встречаемость коловраток рода *Brachionus* – термофилов и индикаторов эвтрофирования, на большинстве участков возросли значения индекса трофности Е/О (см. табл. 4). Рост B_{300} , индекса B_{cyc}/B_{cal} и доли в сообществе кладоцер происходят при эвтрофировании водоёмов (Тимохина, 2000; Лазарева, 2010). Таким образом, изменения характеристик зоопланктона летом 2010 г. указывали на усиление процесса эвтрофирования водохранилищ. Признаки эвтрофирования по зоопланктону были более четко выражены в северных водохранилищах – Горьковском и, особенно, Рыбинском.

Летний прогрев воды водохранилищ до 24 – 25°C оказывает на зоопланктон преимущественно стимулирующее влияние через усиление процессов обмена и темпа воспроизводства популяций, а также посредством увеличения концентрации пищевых объектов (бактерий и водорослей). Возможны отрицательные эффекты, связанные с формированием дефицита кислорода на участках без течения в штилевую погоду. Однако в 2010 г. температура воды водохранилищ в течение как минимум двух недель достигала значений ($> 27^\circ\text{C}$), при которых вероятно прямое угнетение жизнедеятельности обычных для Волги ракообразных северного происхождения и вытеснение их более теплоустойчивыми видами, выходцами из южных регионов. Подобный прогрев воды обычен для водоёмов-охладителей тепловых и атомных электростанций. Его воздействие на гидробионтов хорошо изучено (Елагина, 1974; Экологические проблемы..., 2001 и др.). В том числе замечено, что дополнительное поступление тепла в течение года стимулирует процессы эвтрофирования водоёмов умеренной зоны (Мордухай-Болтовской, 1974).

Летом 2010 г. во всех трех водохранилищах возросла численность теплолюбивых видов рода *Diaphanosoma* (рис. 3, а), для них температура воды (в среднем $\sim 27^\circ\text{C}$) находилась в пределах экологического оптимума. Для *D. brachyurum* указывают предельную температуру воды 29°C (Коровчинский, 2004), этот вид становится массовым на участках, прилегающим к выпуску подогретых вод ГРЭС (Елагина, 1974). Кроме того, многократно (в 3 – 9 раз) увеличилось количество copepod родов *Mesocyclops* и *Thermocyclops* (рис. 3, б), в том числе выросла численность индикатора эвтрофирования *T. crassus*. Циклопы этих двух родов южного происхождения в природных водоёмах *M. leuckarti* обитают при температуре до $31 - 37.7^\circ\text{C}$, *T. crassus* и *T. oithonoides* – до $33 - 34^\circ\text{C}$ (Монченко, 1974; Елагина, 1974). В Рыбинском и Чебоксарском водохранилищах *T. crassus* ранее среди массовых видов не отмечен (Шурганова и др., 2001, 2003; Лазарева, 2010), в Горьковском он многочислен в зоне сброса подогретых вод Костромской ГРЭС (Елагина, 1974).

Термический режим водоёмов для кладоцер *D. galeata* и *L. frontosa* был критическим, однако их численность оставалась высокой (см. рис. 3, а). Для северной *L. frontosa* предельная температура, при которой вид обнаруживают в водоёмах, составляет 24°C (Коровчинский, 2004). *Daphnia longispina* (Müller, 1785, sin. *D. ga-*

leata) обычно исчезает из планктона водоёмов при температуре воды выше 25°C (Елагина, 1974; Вербицкий, Вербицкая, 2000; Экологические проблемы..., 2001).

Показателями физиологического состояния гидробионтов служит их способность потреблять пищу, расти и размножаться. Наш анализ живого планктона по-

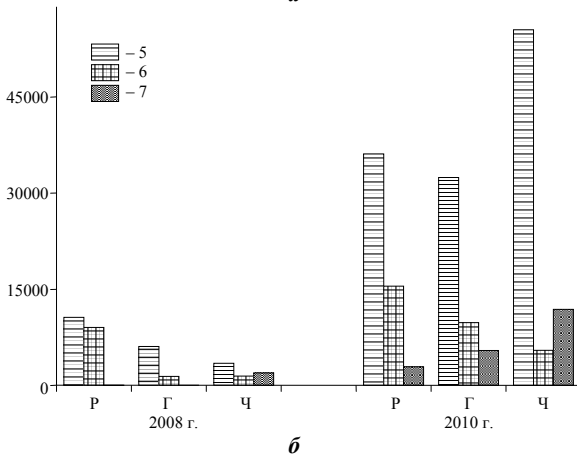
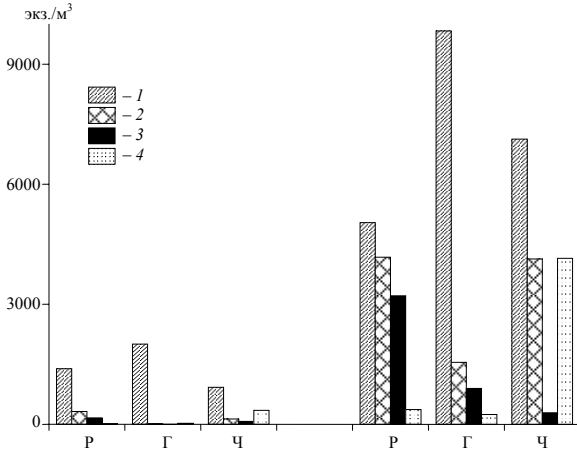


Рис. 3. Средняя численность массовых видов кладоцер (а) и копепод (б) в Рыбинском (Р), Горьковском (Г) и Чебоксарском (Ч) водохранилищах в 2008 и 2010 гг.: 1 – *Daphnia galeata*, 2 – *Limnospira frontosa*, 3 – *Diaphanosoma brachyurum*, 4 – *D. orghidani*, 5 – *Mesocyclops leuckarti*, 6 – *Thermocyclops oithonoides*, 7 – *T. crassus*

казал, что, несмотря на высокую температуру воды, большинство кладоцер активно питались, об этом свидетельствовали высокая наполненность кишечника и интенсивная флюоресценция хлорофилла в них. Обычно скорость фильтрации кладоцер резко снижается при температуре воды > 25°C (Крючкова, 1989).

Количество мёртвых особей на большинстве станций составляло < 1% и лишь в речном участке Чебоксарского водохранилища достигало 3-4% численности популяций. Для сравнения: в зоне влияния подогретых вод ГРЭС доля мёртвых дафний достигала 25% (Экологические проблемы..., 2001). Однако элиминация кладоцер в сбросных водах тепловых электростанций вызвана преимущественно высокой скоростью течения, турбулентностью и содержанием минеральной взвеси в воде, которые травмируют животных физически.

В Горьковском и Рыбинском водохранилищах зарегистрировано пониженное число яиц в кладке *D. galeata*, тогда как в Чебоксарском оно было

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

2010). Этот показатель возрастает при неблагоприятных условиях, например, при голодании животных, за счет увеличения продолжительности созревания яиц в яичниках и, как следствие, периода между кладками. Чем выше доля взрослых особей без яиц, тем ниже плодовитость популяции и ее численность в будущем. Вероятно, снижение численности доминантных кладоцер как реакция на тепловой шок последует позднее, возможно, даже в следующем году.

Бентосные формы ракообразных и моллюски рода *Dreissena* более других пострадали от перегрева в сочетании с дефицитом растворенного кислорода. Придонные кладоцеры (сем. Chydoridae, Pycnocryptidae и Macrotrichidae) всегда обнаруживаются в сборах планктона. В 2010 г. они встречались в 2 – 5 раз реже по сравнению с 2008 г. Представители сем. Sidae (*Sida crystallina* Müller, 1776 и *Latona setifera* Müller, 1776) в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах вообще не были найдены, тогда как в 2008 г. сида встречалась в 11 – 50% проб, редкую латону единично регистрировали вблизи пос. Васильсурск. Оба вида сравнительно теплоустойчивы: латона выдерживает 25°C, сида – 28°C (Коровчинский, 2004). Их исчезновение, по-видимому, в большей мере вызвано дефицитом кислорода у дна.

Высокая температура воды отрицательно влияла на количество личинок (велигеров) дрейссены, максимум численности которых приходится на июль-август. В 2010 г. в Рыбинском и Горьковском водохранилищах численность велигеров снизилась в 3 – 10 раз и составила всего 5 ± 1 тыс. экз./м³. Их доля среди пелагических фильтраторов на большинстве участков не превышала 10% (см. табл. 4). В Рыбинском водохранилище на поверхности воды наблюдали мёртвых взрослых

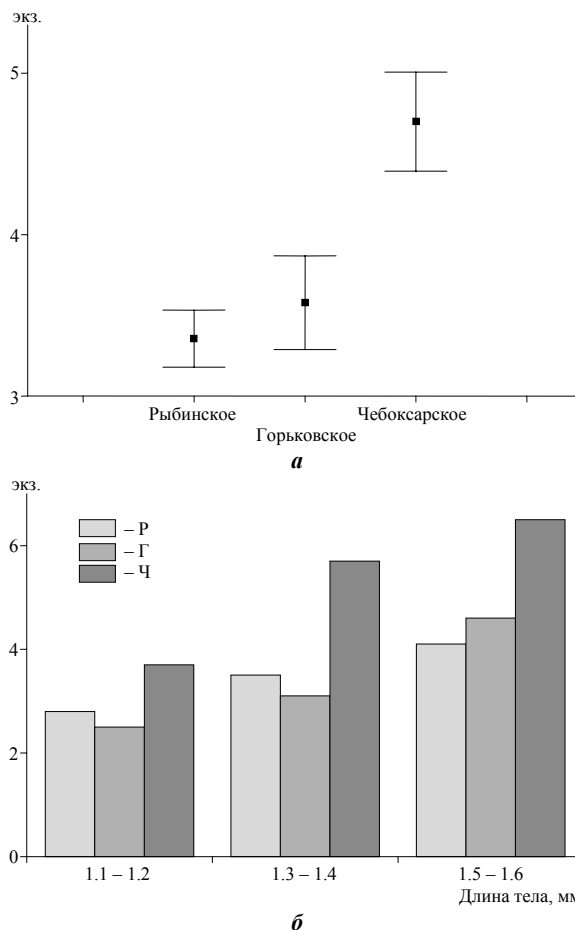


Рис. 4. Среднее количество яиц в кладке *Daphnia galeata* из разных водохранилищ (а) и в различных размерных группах рачков (б). Условные обозначения см. рис. 3

моллюсков. В зоне влияния вод ГРЭС гибель велигеров обычно отмечают при $> 27^{\circ}\text{C}$ (Экологические проблемы..., 2001).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В оба года наблюдений в зоопланктоне всех исследованных водохранилищ по численности и биомассе доминировали ракообразные. Состав доминантов был сходным. Зарегистрировано снижение видового богатства зоопланктона и его численности на проточных участках с высокой скоростью течения воды.

Содержание хлорофилла было типичным для исследованных водохранилищ в 2008 г., но существенно превышало таковое в аномально жарком 2010 г. Отмечено двойное влияние хлорофилла и, следовательно, количественного развития фитопланктона на численность фильтраторов. В Рыбинском водохранилище рост содержания хлорофилла стимулировал численность кладоцер, в Чебоксарском – наблюдалось снижение численности дафний при высокой (> 40 мкг/л) концентрации пигмента.

Аномально высокая ($> 27^{\circ}\text{C}$) температура воды в 2010 г. способствовала увеличению количества зоопланктона. Изменения структуры сообщества указывали на усиление темпа эвтрофирования экосистем водоёмов. Численность и встречаемость массовых видов изменялись близко к наблюдаемому в условиях высокого прогрева воды в водоёмах-охладителях тепловых и атомных электростанций. Зарегистрировано снижение индивидуальной и популяционной плодовитости кладоцер, хотя их смертность была невысокой ($< 4\%$).

Сочетание прогрева придонных слоев воды с дефицитом кислорода служило основной причиной уменьшения встречаемости бентосных видов ракообразных и низкой численности велигеров дрейссены.

Авторы признательны дирекции и сотрудникам А. С. Литвинову, Ю. В. Герасимову и Г. М. Чуйко Института биологии внутренних вод РАН за организацию комплексных работ и помощь в сборе материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шаранов В. А. Водоохранилища. М. : Мысль, 1987. 325 с.
- Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 270 с.
- Богословский Б. Б., Самохин А. А., Иванов К. Е., Соколов Д. П. Общая гидрология. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 422 с.
- Буторин Н. В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах волжского каскада. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 319 с.
- Вербицкий В. Б., Вербицкая Т. И. Теплоустойчивость *Daphnia longispina* (Müller, 1785) (Crustacea, Cladocera) и ее зависимость от температуры среды обитания // Биология внутр. вод. 2000. № 3. С. 62 – 67.
- Елагина Т. С. Влияние сброса подогретых вод Костромской ГРЭС на зоопланктон Горьковского водохранилища // Влияние тепловых электростанций на гидрологию и биоло-

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОНА

гию водоемов : материалы второго симп. / Ин-т биологии внутренних вод АН СССР. Борок, 1974. С. 49 – 50.

Коровчинский Н. М. Ветвистоусые ракообразные отряда Stenopoda мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2004. 410 с.

Крючкова Н. М. Трофические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. М. : Наука, 1989. 124 с.

Лазарева В. И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища / ред. А. И. Копылов. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 183 с.

Литвинов А. С., Роуцунко В. Ф. Термическая характеристика водохранилищ волжского каскада // Формирование и динамика полей гидрологических и гидрохимических характеристик во внутренних водоемах и их моделирование. СПб. : Гидрометеоздат, 1993. С. 3 – 24.

Литвинов А. С., Роуцунко В. Ф. Региональные изменения климата и колебания элементов экосистемы Рыбинского водохранилища // Актуальные проблемы экологии Ярославской области / Верх.-Волж. отд-ния Российской экологической академии. Ярославль, 2005. С. 55 – 60.

Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М. : Наука, 2004. 158 с.

Минеева Н. М. Содержание фотосинтетических пигментов в водохранилищах Верхней Волги // Биология внутр. вод. 2006. № 1. С. 31 – 40.

Минеева Н. М. Итоги исследования продукции планктона волжских водохранилищ // Биология внутр. вод. 2007. № 2. С. 42 – 49.

Минеева Н. М., Литвинов А. С., Степанова И. Э., Кочеткова М. Ю. Содержание хлорофилла и факторы пространственного распределения в водохранилищах Средней Волги // Биология внутр. вод. 2008. № 1. С. 68 – 77.

Монченко В. И. Челюстноротые циклопообразные. Циклопы. Киев : Наук. думка, 1974. 450 с.

Мордухай-Болтовской Ф. Д. Формы воздействия тепловых и атомных электростанций на жизнь водоемов // Влияние тепловых электростанций на гидрологию и биологию водоемов : материалы второго симп. / Ин-т биологии внутренних вод АН СССР. Борок, 1974. С. 107 – 109.

Тимохина А.Ф. Зоопланктон как компонент экосистемы Куйбышевского водохранилища / Ин-т экологии Волжского бассейна РАН. Тольятти, 2000. 193 с.

Шурганова Г. В., Черепенников В. В., Артельный Е. В. Динамика пространственного распределения основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища // Поволж. экол. журн. 2003. №3. С. 297 – 304.

Шурганова Г. В., Ахметов Л. И. Изменение некоторых характеристик видовой структуры зоопланктоценозов речного участка Чебоксарского водохранилища в ходе экзогенной сукцессии // Вестн. Нижегород. ун-та. 2001. № 1(2). С. 103 – 108.

Шурганова Г. В., Черепенников В. В., Крылов А. В., Артельный Е. В. Пространственное размещение и особенности основных зоопланктоценозов Горьковского водохранилища // Биологические ресурсы пресных вод : беспозвоночные. Рыбинск : Рыбинский дом печати, 2005. С. 384 – 396.

Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2001. 427 с.

Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanz. 1975. Bd. 167. S. 191 – 194.

SCOR-UNESCO Working Group 17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris : UNESCO, 1966. P. 9 – 18.

УДК 574.24:581.131:630.161.32*164.4:631.847.3

**ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СПОРАМИ *AMANITA MUSCARIA*
НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ, ФОТОСИНТЕЗ
И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЯНЦЕВ
LARIX SIBIRICA И *PINUS SYLVESTRIS***

Е. В. Лебедев

*Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
Россия, 603107, Н. Новгород, просп. Гагарина, 97
E-mail: proximus77@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.12.10 г.

Влияние инокуляции спорами *Amanita muscaria* на минеральное питание, фотосинтез и биологическую продуктивность сеянцев *Larix sibirica* и *Pinus sylvestris*. – Лебедев Е. В. – Исследование реакции сеянцев лиственницы сибирской и сосны обыкновенной на различные концентрации спор мухомора красного, проведённое на уровне целого организма в микрополевым опыте на дерново-подзолистой почве подзоны южной тайги, показало, что инокуляция растений спорами гриба повышала биологическую продуктивность растений и депонирование углерода.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лиственница сибирская, дерново-подзолистые почвы, микориза, мухомор красный, фотосинтез, минеральное питание, биологическая продуктивность, депонирование углерода.

Influence of *Amanita muscaria* spore inoculation on the mineral nutrition, photosynthesis and biological productivity of *Larix sibirica* and *Pinus sylvestris* seedlings. – Lebedev E. V. – Our study of the reaction of Siberian larch and Scots pine seedlings to various concentrations of red fly-agaric spores, carried out at the level of the whole organism in a microfield experiment on sod-podzolic soils of the southern taiga subzone, showed that inoculation of plants with red fly-agaric spores increased the biological productivity of the plants and carbon deposition.

Key words: scots pine, siberian larch, sod-podzolic soils, mycorrhiza, red fly-agaric, photosynthesis, mineral nutrition, biological productivity, carbon deposition.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей повышения продуктивности древесных растений является коррекция их минерального питания. Однако внесение минеральных удобрений, несмотря на рост продуктивности растений, имеет ряд ограничений (Судачкова, 2001). Так, избыток азотного питания угнетает ростовые процессы (Papp et al., 1980), избыток фосфора снижает доступность железа, цинка и меди (Ben Brahim et al., 1996), а избыток калия ингибирует поглощение ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (Van Petersen, 1980). Также вымывание азота может привести к его миграции, загрязнению воды, почв и к опасному его накоплению в пищевых культурах (Salonen, 1980).

В связи с ограничениями техногенного улучшения факторов внешней среды и невозможностью регулирования ряда климатических факторов всё большее значение в культивировании растений, в том числе и в лесном хозяйстве, приобретают биологизация и экологизация этих отраслей (Жученко, 2001). Огромное значение

в минеральном питании древесных пород, которые на больших площадях удобряются крайне редко, имеет микориза, которая в естественных условиях прекрасно развивается вокруг корня и, охватывая большой объём почвы, делает доступными для растений элементы, далеко отстоящие от ризосферы (Tammi et al., 2001). Показано, что микоризация положительно влияет на рост большинства древесных пород (Garbaye, Le Tacon, 1986), улучшая условия не только их минерального питания, но и водный режим (Meuser, 1991). При этом микоризация проводится один раз, и количество гиф гриба только растёт с возрастом растений (Gardner, Malajczuk, 1988). В отличие от минеральных удобрений, микориза не стимулирует рост сорняков в питомниках и культурах (Walker et al., 1989), однако может применяться и совместно с азотными удобрениями (Kainulainen et al., 1996).

Одной из важных задач при практическом использовании микоризы является выделение наиболее эффективных грибов-симбионтов (Taylor, Alexander, 2005). Ведутся также работы по инокуляции грибом контейнерного посадочного материала (Repáč, 2006).

В настоящее время имеется довольно обширный материал по особенностям строения микориз, их видам и влиянию симбиоза на архитектуру корневых систем (Бойко, 2006). О реакции сеянцев лесных пород на симбиоз с грибом судили, как правило, по высоте, а реже – по массе растения (Весёлкин, 2006; Кгура, 2003). Количественные же данные по влиянию микоризации растений на физиологическую активность корневой системы и её связь с работой листового аппарата на уровне организма в литературе практически отсутствуют (Aleksandrowicz-Trzcinska, 1999).

Целью данной работы было изучение на уровне организма реакции сеянцев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledebour, 1833) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*, Linnaeus, 1753) на инокуляцию различными дозировками спор мухомора красного (*Amanita muscaria* Fries, 1821). Задачи нашего исследования – получить количественные характеристики влияния дозы внесения спор *A. muscaria* на морфологию, поглотительную и функциональную активность корневой системы, фотосинтетическую деятельность листового аппарата и депонирование углерода у сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris*, а также определить дозу спор, при которой эти породы характеризуются максимальной продуктивностью.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили однолетние сеянцы лиственницы сибирской (*L. sibirica*) и сосны обыкновенной (*P. sylvestris*). Растения выращивали в условиях микрополевого опыта в 2008 г. на дерново-подзолистой почве на северо-западе Нижегородской области в Сокольском районе в зоне хвойных лесов.

Эксперимент по каждой породе состоял из шести вариантов. В контрольных вариантах споры *A. muscaria* не вносились. В остальные варианты их вносили по 5.8, 11.6, 23.2, 46.4 и 92.8 млн м⁻². Растения высаживались по 8 штук в заглубленные полиэтиленовые пакеты без дна (вмещавшие 40 кг почвы) с соблюдением пространственной изоляции. Площадь питания каждого растения составила 100 см², что соответствует 1 млн штук га⁻¹. Поскольку в опыте моделировалось

воздействие спор гриба-микоризообразователя на сеянцы изучаемых пород в естественных условиях питомника, то почва на опытном участке, которой заполняли пакеты, не подвергалась стерилизации и содержала естественный фоновый состав грибов и микроорганизмов.

В опыте использовались споры гриба *A. muscaria*, полученные в предыдущем году. Подсчёт количества спор в единице объёма суспензии осуществляли под микроскопом МБИ-6. Инокуляция растений проводилась путем нормированного впрыскивания шприцем водной суспензии спор в корнеобитаемый слой. Вывод растений на заданные режимы проведён через 10 дней после появления на растениях первичных корешков. Опыт продолжался 120 суток. В конце эксперимента растения осторожно извлекались из почвы без нарушения корневых окончаний и поступали в лабораторию на детальный анализ. В каждом варианте проанализировали по 14 растений *Larix sibirica* и *Pinus sylvestris*. Поверхность хвои пород определялась по приведённым нами формулам (Бессчётнов, Лебедев, 2002). Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по А. А. Ничипоровичу (1955), энергетическую эффективность фотосинтеза (КПД ФАР) – по Х. Г. Тоомингу и Б. И. Гуляеву (1967), а долю содержания углерода в биомассе – по данным К. С. Бобковой и В. В. Тужилкиной (2000). Детальный анализ активной части корневой системы и минеральной продуктивности корней (МП) проведён по В.М. Лебедеву (1998). Об интенсивности микоризации судили по проценту микоризных корневых окончаний от общего количества активных корней (Весёлкин, 2006). Содержание азота, фосфора и калия в биомассе определяли по А. В. Петербургскому (1968). Биологическую продуктивность пород (БП) находили по относительному увеличению первоначальной массы растения. Биометрическая обработка экспериментального материала проведена по Б. А. Доспехову (1985) на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ MS Excel. Разницу между сравниваемыми вариантами считали статистически достоверной при значениях её, больших или равных $НСР_{0,05}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внесение спор *A. muscaria* не оказало влияния на длину и диаметр активных корней сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris* (табл. 1). Исключение составил вариант с внесением спор 11.6 млн м⁻², где длина активного корня у *L. sibirica* была выше, чем в контроле. Степень ветвления корневой системы *P. sylvestris* не изменялась достоверно при микоризации, но у *L. sibirica* этот показатель достоверно снижался относительно контроля при внесении 11.6 и 23.2 млн м⁻². Показатель удельной активной поверхности корневой системы у обеих пород достоверно не различался. В пределах опыта показатели длины активного корня и удельной активной поверхности корневой системы у *L. sibirica* были выше, чем у *P. sylvestris* в 1.14 – 1.90 и в 1.56 – 2.02 раза соответственно.

Определение интенсивности микоризации показало, что у *L. sibirica* и *P. sylvestris* в контроле были микоризными только 34 и 27% активных корней соответственно. При внесении спор во всех применяющихся в опыте концентрациях наблюдалось достоверное увеличение показателя в 2.03 – 2.44 раза у *L. sibirica* и в

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СПОРАМИ *AMANITA MUSCARIA*

2.37 – 2.93 раза у *P. sylvestris*. Достоверных различий между вариантами с микоризацией у обеих пород не было. Активная корневая система *L. sibirica* в пределах опыта была заселена микоризой больше, чем у *P. sylvestris* в 1.01 – 1.26 раза.

Таблица 1
Влияние инокуляции спорами *A. muscaria* на активную часть корневой системы *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С)

Внесено спор, млн м ⁻²	Длина акт. корня, мм		Диаметр акт. корня, мкм		Точек роста, шт. м ⁻¹		Удельная активная поверхность корневой системы, см ² м ⁻¹		Интенсивность микоризации, %	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	2.22	1.49	401	389	179	138	4.84	2.47	34	27
5.8	2.49	1.31	414	364	130	178	4.10	2.61	69	64
11.6	3.02	1.67	431	336	116	159	4.40	2.76	72	68
23.2	2.67	1.58	421	377	118	145	4.08	2.62	75	71
46.4	2.16	1.89	387	426	166	94	4.24	2.31	79	78
92.8	2.08	1.77	394	495	200	90	5.08	2.52	83	79
НСР _{0.05}	0.69	0.45	54	119	55	58	0.93	1.00	10	20

Целостность растения как системы обеспечивается функциональной связью листового и корневого питания, находящихся (применительно к условиям произрастания) в динамическом равновесии. Листовой аппарат и корневая система - две стороны единого процесса питания. О влиянии микоризы на функциональную активность листового аппарата и корневой системы судили по отношениям площади листового аппарата и активной части корневой системы к единице сухой массы растения (табл. 2).

Таблица 2
Функциональная и поглотительная активность корневой системы *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С) при инокуляции спорами *A. muscaria*

Внесено спор, млн м ⁻²	Поверхность хвои		Поверхность активных корней		КП ФП ⁻¹		Поглощено элементов, мг м ⁻² сутки ⁻¹					
	приходящаяся на единицу сухой массы растения, см ² г ⁻¹						N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	67.16	120.23	38.28	26.45	0.57	0.22	71	45	18	14	28	32
5.8	56.58	101.11	18.67	18.20	0.33	0.18	157	97	40	34	63	61
11.6	66.61	101.30	20.65	20.26	0.31	0.20	147	108	38	38	59	68
23.2	58.67	102.68	17.60	19.51	0.30	0.19	143	102	36	36	57	64
46.4	61.28	106.65	21.56	19.83	0.35	0.18	156	92	46	32	70	58
92.8	72.42	89.74	22.45	17.05	0.31	0.19	147	102	38	36	59	64
НСР _{0.05}	9.26	6.14	5.34	2.94	0.11	0.03	34	22	9	7	14	14

Внесение спор *A. muscaria* не повлияло на поверхность хвои, приходящуюся на единицу сухой массы растения у *L. sibirica*, кроме варианта с минимальной дозой спор, где показатель снижался относительно контроля. Данное отношение у *P. sylvestris* было максимальным в контроле и падало при внесении спор в 1.19 – 1.34 раза. Минимальное значение наблюдалось при максимальной дозе спор. В

пределах опыта это показатель у *P. sylvestris* был выше, чем у *L. sibirica* в 1.24 – 1.79 раза. Отношение же поверхности активных корней к единице сухой массы растения у обеих пород было максимальным в контроле и достоверно падало при внесении спор *A. muscaria* у *L. sibirica* в 1.71 – 2.18, а у *P. sylvestris* в 1.31 – 1.55 раза.

Функциональная связь корневой системы с фотосинтетическим аппаратом характеризуется отношением корневого потенциала (КП) к фотосинтетическому (ФП). Минимальная функциональная связь была в контрольных вариантах, где показатели КП ФП¹ у пород были максимальными. Следовательно, у *L. sibirica* 1 м² активной поверхности корневой системы обслуживал 1.75 м², а у *P. sylvestris* – 4.55 м² поверхности хвои соответственно. Внесение спор привело к смещению динамического равновесия между поверхностями питания в сторону относительного роста фотосинтетического потенциала. Так, единица активной поверхности корней *L. sibirica* могла обслужить 2.85 – 3.33 м², а у растений *P. sylvestris* – 5.00 – 5.56 м² поверхности хвои. Растения *P. sylvestris* в пределах опыта имели относительно большую величину поверхности хвои, приходящейся на единицу сухой массы растения, чем *L. sibirica* при близких значениях активной поверхности корней, отнесённых к единице сухой массы растения, а следовательно, и более высокий (в 1.55 – 2.59 раза) показатель КП ФП¹.

Изменения интенсивности микоризации, а также показателей функциональной активности корней при внесении спор *A. muscaria* отразились на минеральной продуктивности (МП) корневой системы изучаемых пород. Минимальное количество азота, фосфора и калия в расчёте на единицу активной поверхности корней в сутки поглощалось растениями в контроле. Микоризация увеличивала МП *L. sibirica* и *P. sylvestris* по азоту в 2.01 – 2.21 и в 2.04 – 2.40 раза, по фосфору – в 2.00 – 2.56 и в 2.29 – 2.71 раза, а по калию – в 2.04 – 2.50 и в 1.81 – 2.13 раза соответственно. Показатели МП каждой породы по конкретному элементу питания в вариантах с внесением спор достоверно между собой не различались. Сеянцы *L. sibirica* поглощали азот активнее в 1.36 – 1.70 раза, чем *P. sylvestris*. При этом обе породы поглощали близкие количества фосфора и калия.

Минимальная чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) у обеих пород была в контроле (табл. 3). Внесение спор приводило к росту ЧПФ в 1.14 – 1.44 раза у *L. sibirica* и в 1.23 – 1.63 раза у *P. sylvestris*. В условиях опыта *L. sibirica* характеризовалась в 1.64 – 2.45 раза большей фотосинтетической активностью, чем *P. sylvestris*. Энергетическая эффективность фотосинтеза и количество биомассы, накопленной единицей поверхности хвои за вегетацию, изменялись в пределах опыта у обеих пород аналогично ЧПФ.

Биологическая продуктивность сеянцев обеих пород достоверно повышалась по сравнению с контролем уже при минимальной дозе спор (5.8 млн м⁻²). Дальнейшее увеличение концентрации спор не приводило к статистически значимому росту показателя. Следовательно, внесение дозировок, больших, чем минимальная, нецелесообразно. В пределах опыта показатель различался в 1.57 – 1.77 раза у *L. sibirica*, а у *P. sylvestris* – в 1.34 – 1.50 раза. Сеянцы *L. sibirica* имели в пределах опыта большую биологическую продуктивность в 1.68 – 2.20, чем *P. sylvestris*. Количество депонированного углерода в расчёте на единицу ассимилирующей поверхности в день и за вегетацию изменялось аналогично ЧПФ. Сток углерода в

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СПОРАМИ *AMANTIA MUSCARIA*

расчёте на гектар был минимальным у обеих пород в контроле, а при инокуляции спорами *A. muscaria* увеличивался в 1.73 – 2.36 у *L. sibirica* и в 1.46 – 1.75 раза у *P. sylvestris*. Все варианты с внесением спор по каждой породе не имели между собой достоверных различий. Сеянцы *L. sibirica* в пределах опыта депонировали больше углерода, чем *P. sylvestris*, в 1.59 – 2.57 раза.

Таблица 3

Фотосинтез, энергетика, биологическая продуктивность (БП) и сток углерода у *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С) при инокуляции спорами *A. muscaria*

Внесено спор, млн м ⁻²	ЧПФ, г м ⁻² день ⁻¹		КПД ФАР, %		Биомасса за вегетацию, г м ⁻²		БП, раз		Депонировано углерода					
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	г м ⁻² день		за вегетацию			
									Лц	С	г м ⁻²		т га ⁻¹	
Контроль – 0	1.82	0.87	0.46	0.21	218	104	4.88	2.91	0.91	0.44	109	52	0.97	0.61
5.8	2.37	1.23	0.60	0.30	285	147	7.65	4.37	1.19	0.62	143	74	1.77	0.98
11.6	2.11	1.29	0.53	0.32	253	155	7.90	4.13	1.01	0.65	127	78	2.29	0.89
23.2	2.41	1.20	0.61	0.29	289	144	8.31	3.96	1.21	0.60	145	72	2.25	1.01
46.4	2.62	1.07	0.66	0.26	315	129	7.95	3.89	1.31	0.54	158	65	2.28	0.91
92.8	2.07	1.42	0.52	0.35	249	170	8.64	3.92	1.04	0.71	125	85	1.75	1.07
НСР _{0.05}	0.24	0.12	0.06	0.03	29	14	1.92	0.49	0.12	0.06	15	7	0.58	0.23

У сеянцев *L. sibirica* связь между ЧПФ и приростом абсолютно сухой массы сеянца была низкой положительной, а у *P. sylvestris* имела средние и высокие значения (табл. 4). Однако связь прироста сухой массы с фотосинтетическим потенциалом была прямой и высокой у обеих пород. Таким образом, в пределах каждого варианта *L. sibirica* увеличивала прирост сухой массы растений в большей степени за счёт роста фотосинтетического потенциала, чем за счёт повышения ЧПФ, т.е. экстенсивным путём, а *P. sylvestris* – за счёт и интенсификации фотосинтеза, и наращивания поверхности хвои. Именно ростом ЧПФ можно объяснить то, что, несмотря на снижение величины поверхности хвои, приходящейся на единицу сухой массы растения, у *P. sylvestris* в вариантах с внесением спор (а также у *L. sibirica* в варианте с минимальной микоризацией) наблюдался рост биологической продуктивности и стока углерода.

Таблица 4

Связи прироста сухой массы (ΔР) с ЧПФ и фотосинтетическим потенциалом (ФП), а также связь минеральной продуктивности (МП) с отношением КП ФП⁻¹ и активной поверхностью корней, приходящейся на единицу массы растения (Ск Р⁻¹) у сеянцев *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С) при инокуляции спорами *A. muscaria*

Внесено спор, млн м ⁻²	ЧПФ-ΔР		ФП-ΔР		КП ФП ⁻¹ - МП		Ск Р ⁻¹ - МП	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	0.220	0.767	0.910	0.993	-0.906	-0.682	-0.937	-0.752
5.8	0.173	0.714	0.907	0.984	-0.897	-0.737	-0.950	-0.860
11.6	0.351	0.871	0.933	0.985	-0.937	-0.558	-0.967	-0.831
23.2	0.148	0.786	0.907	0.932	-0.825	-0.905	-0.939	-0.945
46.4	0.210	0.670	0.953	0.991	-0.927	-0.938	-0.987	-0.955
92.8	0.312	0.801	0.963	0.928	-0.783	-0.892	-0.912	-0.988

Определение корреляций минеральной продуктивности с отношением корневого потенциала к фотосинтетическому и с отношением активной поверхности корней к единице сухой массы растения показало во всех вариантах опыта у обеих пород высокую отрицательную связь (см. табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение спор *A. muscaria* и образование микоризы приводило к смещению динамического равновесия между поверхностями питания сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris* в сторону относительного снижения активной части корневой системы. В результате единица более компактной корневой системы стала способна активнее поглощать элементы питания. Повышение минеральной продуктивности способствовало росту фотосинтетической активности хвои. Общее улучшение характеристик листо-корневого питания дало возможность повысить темп накопления биомассы и сток углерода.

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. При микоризации спорами *A. muscaria* у *L. sibirica* и *P. sylvestris* отмечен рост поглотительной и фотосинтетической активности, биологической продуктивности и стока углерода.

2. Растения *L. sibirica* увеличивали биомассу за счёт размера фотосинтетического потенциала, а *P. sylvestris* – также и за счёт роста чистой продуктивности фотосинтеза.

Инокуляция сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris* на дерново-подзолистых почвах в зоне хвойных лесов Нижегородской области спорами гриба в количестве 5.8 млн на м² почвы повышала биологическую продуктивность растений и сток углерода. Дальнейшее повышение концентрации спор не вызывало статистически достоверного роста этих показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бессчётнов В. П., Лебедев Е. В. Влияние экологического потенциала Волго-Вятского региона на фотосинтез и биологическую продуктивность лесных пород // Проблемы регионального экологического мониторинга : материалы первой науч.-практ. конф. Н. Новгород : Изд-во Нижегород. с.-хоз. акад., 2002. С. 17 – 19.

Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2000. № 1. С. 69 – 71.

Бойко Т. А. Особенности микоризообразования и роста сеянцев хвойных пород в лесных питомниках пермского края : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2006. 19 с.

Весёлкин Д. В. Функциональное значение микоризообразования у однолетних сеянцев сосны и ели в лесных питомниках // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2006. № 4. С. 12 – 18.

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы) : в 2 т. М. : Изд-во РУДН, 2001. Т. II. 708 с.

Лебедев В. М. Определение активной поверхности и минеральной продуктивности корневой системы плодовых и ягодных культур // Методика исследования и вариационная статистика в научном плодоводстве : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Мичуринск : Изд-во МГСХА, 1998. Т. 2. С. 39 – 42.

- Ничипорович А. А.* О методах учёта и изучения фотосинтеза как фактора урожайности // Тр. ИФР АН СССР. 1955. Т. 10. С. 210 – 249.
- Петербургский А. В.* Практикум по агрономической химии. М. : Колос, 1968. 336 с.
- Судаchkova Н. Е.* Физиолого-биохимические аспекты регуляции продуктивности лесов // Лесоведение. 2001. № 4. С. 32 – 37.
- Тооминг Х. Г., Гуляев Б. И.* Методика измерения фотосинтетически активной радиации. М. : Наука, 1967. 144 с.
- Aleksandrowicz-Trzcinska M.* The effect of fungicides on mycorrhized and non-mycorrhized seedlings of Scots pine. Pt. 1. Growth performance of seedlings // Folia Forest. Pol. Ser. A. 1999. № 41. P. 105 – 114.
- Ben Brahim M., Loustau D., Gaudillere J. P., Saur E.* Effects of phosphate deficiency on photosynthesis and accumulation of starch and soluble sugars in 1-year-old seedlings of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) // Ann. Sc. Forest. 1996. Vol. 53, № 4. P. 801 – 810.
- Garbaye J., Le Tacon F.* Effets de la mycorrhization controlee apres transplantation // Rev. Forest. Fran. 1986. Т. 38, № 3. P. 258 – 263.
- Gardner J. H., Malajczuk N.* Recolonisation of rehabilitated bauxite mine sites in Western Australia by mycorrhizal fungi // Forest Ecol. Manag. 1988. Vol. 24, № 1. P. 27 – 42.
- Kainulainen P., Holopainen J., Palomäki V., Holopainen T.* Effects of nitrogen fertilization on secondary chemistry and ectomycorrhizal state of Scots pine seedlings and on growth of grey pine aphid // J. Chemical Ecology. 1996. Vol. 22, № 4. P. 617 – 636.
- Krupa P.* The Role of Ectomycorrhizal Fungi in Heavy Metal Polluted Areas // Pol. J. of Natural Sciences / Univ. Warminsko-Mazurskiego. Olsztyn, 2003. № 15. P. 629 – 636.
- Meyer U.* Feinwurzelsysteme und Mykorrhizotypen als Anpassungsmechanismen in zentralamazonischen Überschwemmungswaldern – Igapo und Varzea : Dissertation // Hohenheim. 1991. Vol. IV. 230 p.
- Papp J., Hargitai L., Gyuro F., Hamori J., Papai I.* Distribution of nitrogen forms pending on fertilization in soil plant relationships by Jonathan apple // Proc. 5th Intern. Coll. on the control of plant nutrition. Castelfranco Veneto-Treviso, 1980. Vol. 1. P. 203 – 211.
- Repáč I.* Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates // Forestry. 2006. Vol. 80, № 5. P. 517 – 530.
- Salonen K.* Skogsgödsling i Findland. Biologiska resultat av gödstingsfösök pa fastmark i medelärika och alder skogar // Tidsskr. skogbr. 1972. Bd. 80, № 2. P. 175 – 181.
- Taylor A. F., Alexander I.* The ectomycorrhizal symbiosis : life in the real world // Mycologist. 2005. Vol. 19, № 3. P. 102 – 112.
- Tammi H., Timonen S., Sen R.* Spatiotemporal colonization of Scots pine roots by introduced and indigenous ectomycorrhizal fungi in forest humus and nursery Sphagnum peat microcosms // Canad. J. Forest Res. 2001. Vol. 31, № 5. P. 746 – 756.
- Van Petersen O.* Calcium, potassium and magnesium nutrition and their interactions in Cox's Orange apple trees // Sci. Hort. 1980. Vol. 12, № 2. P. 153 – 161.
- Walker R. F., West D. C., McLaughlin S. B., Amundsen C.C.* Growth xylem pressure potential, and nutrient absorption of loblolly pine on a reclaimed surface mine as affected by an induced *Picolithus tinctorius* infection // Forest Sc. 1989. Vol. 35, № 2. P. 569 – 580.

УДК 556.555.6:581.132

**СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ
В ОТЛОЖЕНИЯХ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
В ГОД С ЭКСТРЕМАЛЬНО ЖАРКИМ ЛЕТОМ (2010 год)**

Л. Е. Сигарева, Н. А. Тимофеева

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок
E-mail: sigareva@ibiw.yaroslavl.ru*

Поступила в редакцию 08.02.11 г.

Содержание растительных пигментов в отложениях Рыбинского водохранилища в год с экстремально жарким летом (2010 год). – Сигарева Л. Е., Тимофеева Н. А. – Изучали фонд растительных пигментов в отложениях водохранилища с мозаичной структурой грунтов в различные по температурному режиму годы: 2009 – обычный, 2010 – экстремальный. Результаты анализировали, учитывая многолетнюю динамику хлорофилла в планктоне и донных отложениях. Установили, что в аномально жаркий год возрастают абсолютные концентрации хлорофилла с феопигментами и уменьшается относительное содержание каротиноидов. Соотношение между концентрациями осадочных пигментов (хлорофилл+феопигменты) в слоях 0 – 2.5 и 2.5 – 5 см в экстремальном году больше, чем в обычном. Результаты позволили предположить, что в 2010 г. были созданы предпосылки для увеличения продуктивности фитопланктона в будущем.

Ключевые слова: растительные пигменты, донные отложения, Рыбинское водохранилище, экстремальная жара, 2010 год.

Plant pigment content in the Rybinsk reservoir deposits in a year with an extremely hot summer (2010). – Sigareva L. Ye. and Timofeeva N. A. – The stock of plant pigments in the bottom sediments of a reservoir with their mosaic structure in several years with various temperature conditions (2009 was normal and 2010 was extreme) was studied. The results were analyzed by considering the long-term chlorophyll dynamics in the plankton and bottom sediments. It was found that the absolute concentrations of chlorophyll with pheopigments increased and the relative content of carotenoids decreased in an abnormally hot year. The ratio between the sedimentary pigment (chlorophyll + pheopigments) concentrations in the 0 – 2.5 and 2.5 – 5 cm sediment layers in the extreme year was higher than that in the normal year. Preconditions for an future increase in the phytoplankton productivity were assumed to appear in 2010.

Key words: plant pigments, bottom sediments, Rybinsk reservoir, extreme heat, 2010.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе эволюции биосферы климат характеризуется чрезвычайно высокой изменчивостью, и единого мнения о направленности его флуктуаций (к потеплению или похолоданию) не существует. Все чаще отмечаемые экстремальные отклонения количественных показателей погоды от среднесезонных значений свидетельствуют об экологическом кризисе, и далеко не все ясно о влиянии таких аномалий на экосистемы. Критическая для человека, аномальная за последние 130 лет метеонаблюдений, жара летом 2010 г. (до 35 – 40°C) на территории европейской части России стала причиной повсеместных пожаров. Реакция

СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

водных экосистем проявлялась интенсивным «цветением» воды синезелёными водорослями, гибелью рыбы и других гидробионтов. Изучение влияния аномально высокой температуры на продукционные характеристики дна водоёмов представляет особый интерес, поскольку именно донные отложения служат «летописью» изменений в экосистеме в историческом и геологическом масштабах времени. Для воссоздания информации, зашифрованной в природных записях, необходимо знать закономерности связей между биотическими и абиотическими условиями. В этом аспекте интенсивно исследуется пространственно-временное распределение растительных пигментов в различных компонентах водных экосистем (Пырина и др., 2006; Сигарева, 2006; Минеева, 2009; Leavitt, 1993; Kowalewska, 2001; Reuss et al., 2005 и др.), но наименее изученным остается фонд седиментационных пигментов водохранилищ.

Цель работы – оценить влияние экстремально высокой температуры на формирование фонда осадочных пигментов в крупном неглубоком водохранилище, характеризующемся сложным грунтовым комплексом (на примере Рыбинского).

Рыбинское водохранилище – одно из крупнейших (площадь при НПУ – 4550 км², объём – 25.4 км³, средняя глубина – 5.6 м) на Волге, на котором проводится экологический мониторинг практически с начала наполнения (Экологические проблемы..., 2001). Первичная продукция водохранилища создается в основном за счет фитопланктона. По содержанию хлорофилла *a* водорослей водохранилище характеризуется как мезотрофно-эвтрофное. В настоящее время для Рыбинского водохранилища характерно уменьшение продуктивности (Девяткин, 2003; Минеева, 2009; Лазарева, 2010; Сигарева, Тимофеева, 2011). С 1976 г. прослеживается повышение средней за вегетационный период температуры воды (Литвинов, Рошупко, 2002). Выявлена сопряженность многолетней динамики содержания хлорофилла и первичной продукции фитопланктона с изменениями приходящей солнечной радиации (Пырина и др., 2006). Получены данные о межгодовой изменчивости содержания растительных пигментов в донных отложениях водохранилища (Сигарева, Тимофеева, 2011). Выявлена тенденция снижения скорости осадконакопления и увеличения относительной площади песчаных грунтов (Законнов, 1995, 2007). Показана положительная зависимость от температуры показателей первичной продукции, а также деструкции органического вещества планктона и донных отложений (Романенко, 1985; Девяткин, 2003; Минеева, 2009; Дзюбан, 2010).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

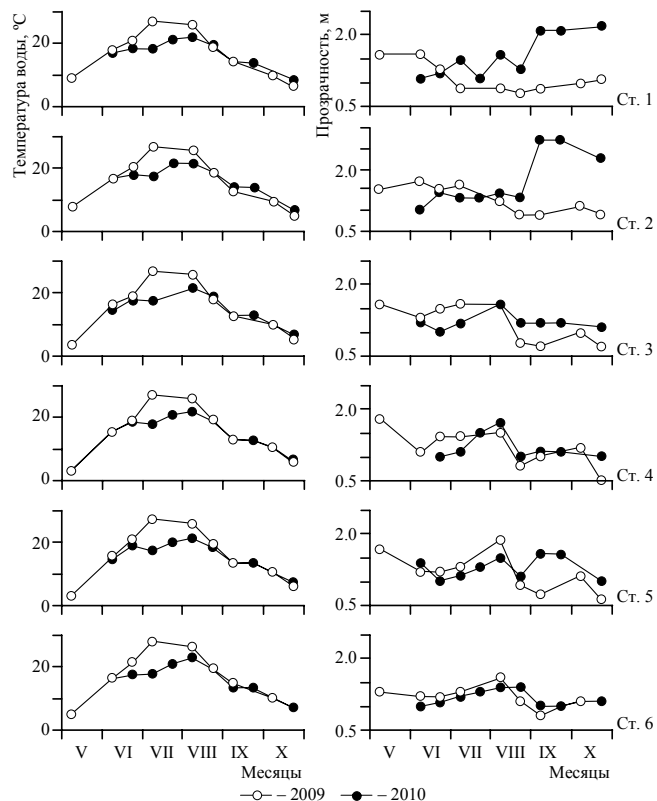
Пробы донных отложений собирали в комплексных экспедициях ИБВВ РАН на постоянных станциях в речном Волжском (ст. 1 – Коприно, ст. 2 – Молога) и озеровидном Главном (ст. 3, 4, 5, 6 – Наволок, Измайлово, Средний Двор, Брейтово соответственно) плёсах Рыбинского водохранилища с июня по октябрь 2009 г. и с мая по октябрь 2010 г. Описание этих станций приведено в работе (Сигарева, 2010). Расширенные съемки во всех плесах (Волжский, Моложский, Шекснинский, Главный) охватывали дополнительно 20 станций в 2009 г. (9 – 11 июля, 4 – 9 августа, 2 – 5 сентября, 19 – 22 октября) и 22 станции в 2010 г. (4 – 7 мая, 28 – 30

июня, 6 – 9 июля, 24 – 27 августа, 5 – 8 октября). Глубины на большинстве станций превышали толщину фотосинтезирующей зоны и составляли 9.4 ± 0.4 и 9.7 ± 0.4 м в 2009 и 2010 г. соответственно. Средние глубины на постоянных станциях 1 – 6 составляли соответственно 11.5, 12.8, 6.8, 6.4, 10.6 и 12.2 м.

Донные отложения отбирали стратометром. Анализировали верхние слои – 0 – 2.5 см и 2.5 – 5 см. Определяли характеристики пигментного фонда спектрофотометрическим методом, влажность, воздушно-сухую объёмную массу отложений и показатели водной среды (температуру, прозрачность), как и в других работах (Сигарева, 2006, 2010; Законнов, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура. В 2010 г. (с экстремально жарким летом) тенденции пространственных и сезонных изменений температуры верхнего слоя воды были типичными для Рыбинского водохранилища (рис. 1). Наибольшие различия этого показателя по акватории наблюдались в мае ($C_v = 50\%$) и октябре ($C_v = 11\%$), наименьшие – в летний период ($C_v = 1 - 5\%$), когда более равномерно прогревы водные массы.



Летом 2010 г. температура воды достигала 27.9°C , в 2009 г. вода прогревалась меньше – до 22.8°C .

Прозрачность воды в 2010 г. (пределы $0.5 - 1.9$ м, среднее 1.1 ± 0.0 м) была ниже, чем в 2009 г. (пределы $0.7 - 2.7$ м, среднее 1.3 ± 0.0 м), и в целом похожа на наиболее часто отмечаемые значения (Экологические проблемы..., 2001). Характер сезонной динамики прозрачности наиболее четко различался между речными и озёровидными станциями (см. рис. 1). Согласно обратной зависимости прозрачности от количе-

Рис. 1. Сезонная динамика температуры верхнего слоя и прозрачности воды на постоянных станциях Рыбинского водохранилища в 2009 и 2010 гг.

СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

ства планктонной взвеси, можно полагать, что в экстремальном году концентрация хлорофилла превышала таковую в обычном году, причем наиболее сильно в Волжском плёсе. Уровень концентраций при прозрачности 1.1 – 1.3 м в 1978 – 1995 гг. изменялся от 8 до 19 мкг/л, т.е. в пределах мезотрофно-эвтрофных величин (Пырина и др., 2006).

Характеристика пигментного фонда. В условиях сильного прогрева воды можно было ожидать существенное повышение продукционных показателей. В 2010 г. характеристики фонда пигментов в донных отложениях отличались от таковых в другие годы. Так, максимальная концентрация осадочного хлорофилла (хлорофилл+феопигменты, Хл+Ф) в верхнем слое отложений (0 – 2.5 см) в 2010 г. (297.5 мкг/г сухого грунта) не достигала абсолютного максимума, отмеченного для всего предшествующего периода наблюдений (593.6 мкг/г сухого осадка в 1993 – 2009 гг.) (Сигарева, Тимофеева, 2001, 2011; Sigareva, Sharapova, 2000). Наиболее часто встречаемые концентрации пигментов в 2010 г. смещены по сравнению с таковыми в предыдущем году в область значений, относящихся к категории эвтрофных и высокотрофных величин, согласно градации (Möller, Scharf, 1986) (рис. 2).

Сезонная динамика осадочных пигментов на станциях водоёмов обычно характеризуется подъёмами (весенний, или раннелетний, и осенний), следующими за вспышками развития фитопланктона (Экология фитопланктона..., 1989; Hilton et al., 1991). В первых исследованиях седиментационного фонда растительных пигментов Рыбинского водохранилища было выявлено, что сезонная изменчивость концентрации осадочного хлорофилла сопряжена с неоднородностью распределения типов отложений (Сигарева, 2010). В настоящей работе подтверждается, что основной причиной наиболее

сильной сезонной вариативности концентраций осадочного хлорофилла на ряде участков является мозаичность грунтов (ст. 3 и 4 в Главном плёсе) (рис. 3). В однотипных отложениях сезонная динамика пигментов характеризуется появлением пиков в типичные периоды – ранним летом и осенью. Отличия сезонных изменений в 2010 г. – смещение осеннего подъёма на более поздние сроки, а также превышение осеннего максимума над весенним подъёмом. Кроме того, значения абсолютных максимумов

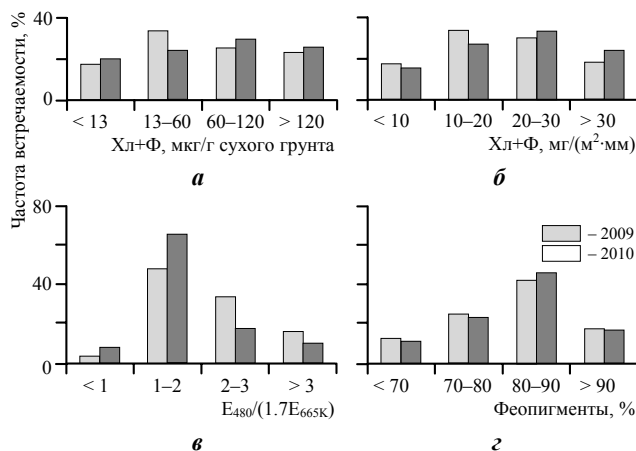


Рис. 2. Гистограммы распределения характеристик содержания (а, б) и деградации (в, г) растительных пигментов в донных отложениях на станциях Рыбинского водохранилища в 2009 и 2010 гг. Хл+Ф – хлорофилл + феопигменты

мов концентраций пигментов в 2010 г. на большинстве станций были больше, чем в предыдущий год. Наиболее значительные коэффициенты вариации для

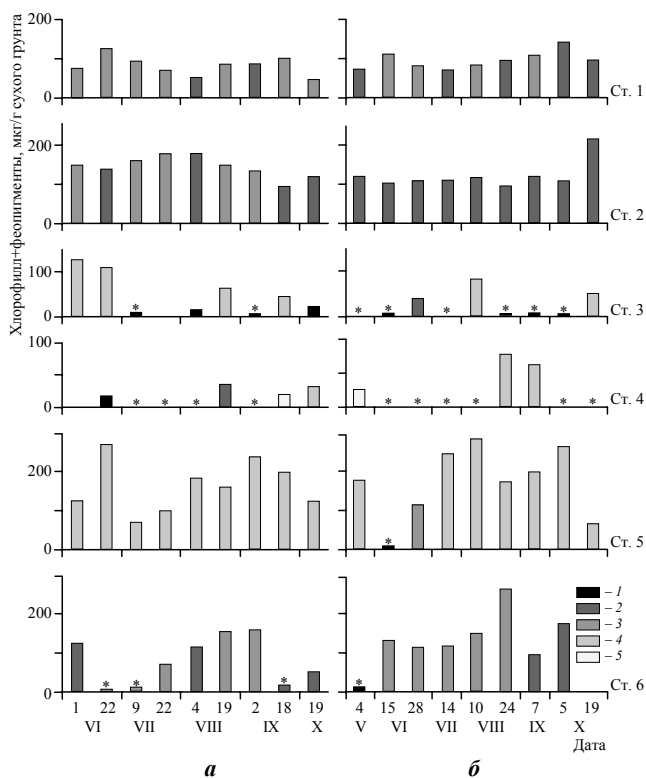


Рис. 3. Сезонная динамика суммарной концентрации хлорофилла с феопигментами в донных отложениях на постоянных станциях Рыбинского водохранилища в 2009 (а) и 2010 (б) гг.: 1 – песок или илистый песок, 2 – песчанистый, 3 – глинистый, 4 – торфогенный, 5 – торфянистый илы; * – низкие или следовые концентрации

станций были отмечены в экстремальном году (на ст. 3 и 4 C_v достигал 144 и 161%) (табл. 1, см. рис. 2, 3).

Пространственная изменчивость. Пределы коэффициента вариации (C_v), характеризующего изменения концентраций пигментов в пространстве, варьируют меньше (до 106%), чем в сезонном аспекте на отдельных станциях (до 161%) (см. табл. 1, табл. 2). Среднее значение C_v в 2009 г. составляет 75%, в 2010 – 86%. Следовательно, в экстремальном году изменчивость по станциям (пространственная) больше, чем в обычный год. Причиной может быть уменьшение гидродинамической активности в штилевую погоду, усиливающее неоднородное распределение и седиментацию фитопланктона.

Таблица 1

Оценка временной вариабельности содержания растительных пигментов в отложениях, температуры и прозрачности воды на постоянных станциях Рыбинского водохранилища в 2009 и 2010 гг.

Станция	Год	$t, ^\circ\text{C}$	Прозрачность, м	Хл+Ф, мкг/г сухого грунта	E_{480}/E_{665}	$E_{480}/(1.7E_{665x})$
		3	4	5	6	7
1	2009	16.9±1.5 (25)	1.6±0.2 (28)	81.3±8.9 (31)	2.97±0.19 (18)	1.86±0.11 (16)
	2010	16.6±2.6 (44)	1.1±0.1 (27)	95.2±7.8 (23)	2.45±0.15 (17)	1.57±0.09 (16)
2	2009	16.6±1.6 (28)	1.7±0.2 (39)	138.8±9.3 (19)	2.68±0.14 (15)	1.85±0.07 (11)
	2010	16.0±2.7 (49)	1.3±0.1 (26)	122.9±12.8 (29)	2.66±0.14 (14)	1.84±0.07 (10)

СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
3	2009	15.4±1.8 (31)	1.2±0.1 (14)	49.1±18.3 (99)	2.94±0.34 (30)	1.91±0.21 (29)
	2010	15.3±2.9 (54)	1.2±0.1 (33)	19.5±9.9 (144)	1.89±0.36 (54)	1.23±0.23 (52)
4	2009	16.3±2.0 (32)	1.2±0.1 (22)	13.7±5.8 (113)	4.37±1.67 (101)	2.90±1.17 (107)
	2010	15.5±3.0 (55)	1.2±0.1 (33)	18.9±10.8 (161)	4.69±1.70 (102)	3.06±1.11 (102)
5	2009	16.4±1.6 (28)	1.3±0.1 (19)	161.1±23.7 (42)	3.66±0.44 (34)	2.43±0.29 (34)
	2010	16.0±3.1 (54)	1.2±0.2 (36)	172.4±33.3 (55)	3.04±0.16 (15)	1.95±0.10 (15)
6	2009	16.3±1.7 (29)	1.2±0.1 (14)	82.8±23.1 (79)	2.94±0.53 (51)	1.99±0.38 (54)
	2010	17.5±2.9 (44)	1.2±0.1 (19)	138.8±28.9 (55)	2.39±0.11 (12)	1.60±0.08 (13)

Примечание. Приведены средние с ошибкой, в скобках – коэффициент вариации во времени, %.

Многолетняя динамика концентрации Хл+Ф на постоянных станциях водохранилища неодинакова. Так, средние арифметические концентрации за период наблюдений 2010 г. на всех станциях достоверно не отличались от таковых в 2009 г., несмотря на различия в сезонной динамике (см. табл. 1 и рис. 2). Значения средних были существенно меньше, чем в 1993 г. (Сигарева, 2010). Однако, по сравнению со среднемноголетними (1993 – 2009 гг.) концентрациями, в 2010 г. содержание пигментов увеличилось только на станциях (ст. 5, 6 в Главном плёсе), испытывающих влияние водных масс р. Шексны и Мологи, и уменьшилось на остальных. Наибольшая вариабельность средних концентраций в многолетнем, как и в сезонном, аспектах характерна для станций с мозаичным типом отложений.

Таблица 2

Оценка пространственной изменчивости содержания растительных пигментов в отложениях, температуры и прозрачности воды на постоянных станциях Рыбинского водохранилища в разные сроки 2009 и 2010 гг.

Сроки	t , °C	Прозрачность, м	Хл+Ф, мкг/г сухого грунта	E_{480}/E_{665}	$E_{480}/(1.7E_{665к})$
1	2	3	4	5	6
2009 г.					
1.06	15.9±0.5 (6)	1.1±0.1 (15)	119.9±13.6 (23)	2.49±0.14 (11)	1.70±0.08 (9)
22.06	18.3±0.3 (4)	1.1±0.1 (14)	110.3±42.4 (86)	2.26±0.20 (20)	1.51±0.14 (21)
9.07	17.8±0.1 (1)	1.2±0.1 (12)	55.1±26.9 (109)	2.58±0.37 (32)	1.66±0.26 (36)
22.07	21.0±0.2 (2)	1.3±0.1 (11)	80.7±30.7 (76)	3.55±0.68 (38)	2.32±0.47 (41)
4.08	21.9±0.2 (2)	1.5±0.1 (8)	91.2±35.7 (88)	3.15±0.34 (24)	2.08±0.21 (23)
19.08	19.0±0.0 (1)	1.2±0.1 (12)	108.0±24.1 (50)	3.01±0.18 (13)	1.95±0.10 (11)
2.09	17.6±0.1 (1)	1.4±0.1 (9)	104.4±41.5 (89)	2.16±0.24 (25)	1.40±0.18 (29)
28.09	13.4±0.2 (4)	1.6±0.3 (41)	79.2±31.2 (88)	3.72±0.66 (40)	2.49±0.52 (47)
19.10	7.0±0.4 (12)	1.5±0.3 (43)	64.4±19.3 (67)	6.21±1.91 (69)	4.16±1.33 (71)
2010 г.					
4.05	5.3±1.2 (50)	1.6±0.1 (11)	87.2±31.0 (103)	3.67±1.65 (101)	2.58±1.29 (112)
15.06	16.5±0.4 (5)	1.4±0.1 (18)	60.1±28.4 (106)	2.24±0.32 (32)	1.42±0.21 (33)
28.06	20.04±0.4 (5)	1.4±0.1 (10)	76.9±21.9 (64)	2.70±0.26 (21)	1.78±0.17 (21)
14.07	27.2±0.2 (2)	1.4±0.1 (19)	92.6±41.9 (101)	4.48±2.28 (114)	2.80±1.30 (104)
10.08	26.0±0.1 (1)	1.5±0.2 (24)	121.0±42.9 (79)	2.37±0.12 (11)	1.49±0.10 (15)
24.08	18.9±0.3 (3)	0.9±0.1 (13)	90.8±24.5 (60)	2.61±0.40 (34)	1.70±0.27 (36)

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
7.09	13.5±0.5 (5)	0.8±0.1 (15)	130.7±44.1 (76)	2.78±0.23 (19)	1.44±0.19 (30)
5.10	10.0±0.1 (3)	1.1±0.0 (7)	117.0±46.6 (89)	2.11±0.27 (29)	1.44±0.19 (30)
19.10	5.6±0.3 (11)	0.8±0.1 (32)	86.5±40.6 (94)	2.79±0.39 (28)	1.83±0.20 (22)

Примечание. Приведены средние с ошибкой, в скобках – коэффициент вариации в пространстве, %.

Связь концентраций растительных пигментов с типом грунта была установлена ранее (Сигарева, Тимофеева, 2001; Sigareva, Shararova, 2000). Во все годы наблюдений, включая 2010 с аномальной жарой, концентрации Хл+Ф в расчете на сухой грунт увеличивались в ряду: песок, илистый песок, торфянистый ил, песчаный ил, серый глинистый ил, торфогенный ил. При этом среднее содержание пигментов в отдельных грунтах изменялось во времени. В 2010 г. содержание пигментов в илах стало немного выше, чем в предыдущий год, но оно не достигло уровня величин, характерных для соответствующих типов отложений в другие годы (1996 – 1998) (табл. 3) (Sigareva, Shararova, 2000). Неравномерность пространственного распределения концентраций пигментов в связи с мозаичностью грунтового комплекса необходимо учитывать при оценке средних для водоёма.

Средняя для водохранилища концентрация Хл+Ф, рассчитанная с учетом площадей разнотипных отложений (Законнов, 1995) в слое 0 – 2.5 см составила в 2009 г. 26.6±7.6, в 2010 г. – 29.8±8.3 мкг/г сухого грунта или 10.8±2.7 и 10.4±3.8 мг/(м²мм) сырого осадка соответственно. Среднее для этих лет – 28.1±7.5 мкг/г сухого грунта или 10.4±3.2 мг/м²мм сырого осадка, что заметно меньше, чем в 1996 – 1998 гг.

Таблица 3
Содержание растительных пигментов
в донных отложениях разного типа
в Рыбинском водохранилище в 2009 и 2010 гг.

Тип грунта	Хлорофилл+феопигменты			
	мкг/г сухого грунта		мг/(м ² ·мм)	
	2009	2010	2009	2010
Песок	3.7±3.5	1.3±0.3	4.9±4.6	1.6±0.3
Илистый песок	9.3±1.3	8.6±1.0	9.2±1.1	9.2±1.5
Торфянистый ил	20.5±0.0	24.3±0.0	1.8±0.0	3.7±0.0
Песчаный ил	60.5±6.9	75.7±6.8	23.1±1.5	26.3±1.4
Глинистый ил	105.8±12.3	123.8±18.3	27.0±2.1	28.8±2.7
Торфогенный ил	115.3±14.3	136.7±15.8	20.0±1.7	21.4±1.6

(37.0 мкг/г сухого грунта и 15.3 мг/(м²мм) сырого осадка) (Sigareva, Shararova, 2000). Во все годы наблюдений средние величины содержания Хл+Ф в донных отложениях Рыбинского водохранилища относятся к категории мезотрофных, согласно (Möller, Scharf, 1986).

Показатели деградации пигментов соответствовали характеру биотопа – донным отложениям, в которых растительные пигменты представлены в основном продуктами разрушения (Сигарева, 2006, 2010; Leavitt, 1993). В год с аномальной жарой фонд зелёных пигментов в отложениях представлен, как и в предыдущем, преимущественно продуктами деградации хлорофилла – феопигментами (82±1%). Не выявлено принципиальных отличий в степени деградации хлорофилла по сравнению с аналогичным показателем в другие годы (см. рис. 2). Однако соотношение жёлтых и зелёных пигментов уменьшилось: индексы E_{480}/E_{665} и $E_{480}/(1.7E_{665к})$ в 2010 г. стали меньше, чем в 2009 г. (см. рис. 2 и табл. 1, 2),

СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

и оказались ближе к типичным значениям волжского фитопланктона (в мезотрофных и эвтрофных водах – 1.2 и 1.1 соответственно, см. по : Минеева, 2009). Согласно исследованиям (Даченко, 2007; Мартынова, 2010), можно полагать, что в 2010 г. в верхних слоях донных отложений сложились более благоприятные условия для сохранения органического вещества и пигментов из-за обеднения придонных слоев воды кислородом вследствие продолжительной штилевой погоды и стратификации.

Между содержанием осадочного хлорофилла в слоях (0 – 2.5 и 2.5 – 5 см), считающихся наиболее метаболически активными, существует положительная зависимость (в 2009 г. $r = 0.73$, в 2010 г. $r = 0.85$), отражающая в большинстве случаев уменьшение скорости деструкционных процессов и концентрации растительных пигментов в нижних слоях. В 2010 г. соотношение между концентрациями пигментов в сравниваемых слоях стало больше, чем в 2009 г., что тоже свидетельствует об увеличении накопления и уменьшении скорости деградации пигментов в верхнем слое (0 – 2.5 см) (табл. 4).

Условия аномального года практически не повлияли на характер связей концентрации осадочного хлорофилла с абиотическими факторами. Однако коэффициент корреляции между содержанием пигментов и глубиной в 2010 г. увеличился и составил 0.56, тогда как в 2009 и 1996 – 1998 гг. $r = 0.45$ (Sigareva, Sharapova, 2000), что может отражать ослабление влияния

гидродинамики вод на распределение планктона в штилевых условиях. Более тесной остается связь осадочного хлорофилла с влажностью – одного из типологических показателей отложений (в 2009 г. $r = 0.74$, в 2010 г. $r = 0.78$).

Таким образом, сравнение пигментных характеристик в аномальный и обычные годы позволило оценить влияние экстремальной жары на продукционные свойства донных отложений водохранилища. При сходной динамике температуры по акватории водохранилища выявлена неодинаковая изменчивость продукционных показателей. Повышение температуры несущественно повлияло на среднее содержание седиментационных пигментов. В 2009 – 2010 гг. отмечалось уменьшение его уровня по сравнению с таковым в 1993 – 1998 гг., что согласуется с представлениями о деэвтрофировании его экосистемы, хотя при этом продукционный статус водоёма сохранился на уровне мезотрофии. Кроме того, повышение температуры изменило динамику и соотношение концентрации зелёных и жёлтых растительных пигментов в донных отложениях. Есть основания полагать, что в 2010 г.

Таблица 4

Соотношение между концентрациями пигментов (мкг/г сухого осадка) в верхних слоях донных отложений на постоянных станциях в Рыбинском водохранилище в 2009 и 2010 гг.

Станция	$(Xл+Ф)_1/(Xл+Ф)_2$		$(Xл+Ф)_1/(Xл+Ф)_3$	
	2009	2010	2009	2010
1	1.20±0.07	1.78±0.33	1.08±0.03	1.22±0.07
2	1.28±0.09	1.34±0.19	1.11±0.03	1.12±0.05
3	2.44±0.92	1.88±0.34	1.24±0.14	1.23±0.10
4	0.63±0.24	1.28±0.26	0.71±0.21	1.01±0.15
5	1.66±0.44	1.75±0.44	1.12±0.11	1.18±0.09
6	1.17±0.22	1.94±0.59	1.01±0.14	1.20±0.11
Среднее*	1.45±0.17	1.67±0.15	1.08±0.04	1.17±0.03

Примечание. $(Xл+Ф)_1$ – хлорофилл+феопигменты в слое 0 – 2.5, $(Xл+Ф)_2$ – в слое 2.5 – 5, $(Xл+Ф)_3$ – в слое 0 – 5 см; * в 2009 г. $n = 45$, в 2010 г. $n = 49$.

сложилась более благоприятная условия для сохранения растительных пигментов и, естественно, органического вещества. В будущем можно ожидать увеличение интенсивности деструкции органического вещества, высвобождение биогенных элементов в воду и увеличение продуктивности планктона, поскольку концентрации пигментов в отложениях связаны прямой положительной зависимостью с концентрациями биогенных элементов (Тимофеева, Сигарева, 2004). Следовательно, после продолжительного периода деэвтрофирования водохранилища, отмечаемого по различным гидробиологическим и гидрологическим показателям (Девяткин, 2003; Законнов, 2007; Минеева, 2009; Лазарева, 2010), возможна активизация эвтрофирования экосистемы этого водоёма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты продемонстрировали единство биотических и абиотических факторов, обуславливающих продуктивность экосистемы водохранилища. «Отклик» пигментного фонда донных отложений на аномально высокую температуру зависит от особенностей биотопов и динамики абиотических условий, а в целом для водоёма наиболее четко выражен в уменьшении содержания жёлтых пигментов относительно зелёных, увеличении отношения концентрации Хл+Ф в верхнем слое отложений к таковой в нижерасположенном, но при сохранении прежнего трофического статуса водохранилища.

Применённые авторами способы анализа и интерпретации полевого материала подтвердили уникальные возможности растительных пигментов как показателей пространственно-временной изменчивости продукционных свойств водных экосистем. Используемые в работе методические и методологические подходы можно рекомендовать для изучения механизма взаимодействия эвтрофирования и деэвтрофирования, а также для мониторинга продуктивности водохранилищ с сильно выраженной неоднородностью донных отложений.

Авторы выражают благодарность Т. П. Зайкиной за помощь при сборе и обработке проб.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-00384).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Даценко Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М. : ГЕОС. 2007. 252 с.
- Девяткин В. Г. Структура и продуктивность литоральных альгоценозов водохранилищ Верхней Волги : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2003. 43 с.
- Дзюбан А.Н. Деструкция органического вещества и цикл метана в донных отложениях внутренних водоемов. Ярославль : Принтхаус, 2010. 192 с.
- Законнов В. В. Пространственно-временная неоднородность распределения и накопления донных отложений верхневолжских водохранилищ // Водные ресурсы. 1995. Т. 22, № 3. С. 362 – 371.
- Законнов В. В. Осадкообразование в водохранилищах волжского каскада : автореф. дис. ... д-ра географ. наук. М., 2007. 42 с.

СОДЕРЖАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

Лазарева В. И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 183 с.

Литвинов А. С., Роцупко В. Ф. Многолетние изменения элементов гидрометеорологического режима Рыбинского водохранилища // Актуальные проблемы экологии Ярославской области : материалы Второй науч.-практ. конф. / Верхневолж. отд-ние РЭА. Ярославль, 2002. С. 33 – 39.

Мартынова М.В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М. : Наука, 2010. 234 с.

Минеева Н. М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль : Принтхаус, 2009. 279 с.

Пырина И.Л., Литвинов А. С., Кучай Л. А., Роцупко В. Ф., Соколова Е. Н. Многолетние изменения первичной продукции фитопланктона Рыбинского водохранилища в связи с действием климатических факторов // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. С. 36 – 46.

Романенко В. И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 295 с.

Сigareва Л. Е. Формирование и трансформация фонда растительных пигментов в водоемах верхневолжского бассейна : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2006. 47 с.

Сigareва Л. Е. Содержание хлорофилла в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2010. № 3. С. 38 – 46.

Сigareва Л. Е., Тимофеева Н. А. Растительные пигменты в донных отложениях как показатели трофического состояния водохранилищ Верхней Волги // Проблемы региональной экологии. 2001. № 2. С. 23 – 35.

Сigareва Л. Е., Тимофеева Н. А. Межгодовая динамика хлорофилла в донных отложениях Рыбинского водохранилища (Россия) // Альгология. 2011. № 2. С. 190 – 201.

Тимофеева Н. А., Сigareва Л. Е. Взаимосвязи концентраций растительных пигментов с азотом и фосфором в донных отложениях водохранилищ // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 3. С. 332 – 336.

Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2001. 427с.

Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. 304 с.

Hilton J., Lishman J. P., Carrick T. R., Allen P. V. An assessment of the sources of error in estimations of bulk sedimentary pigment concentrations and its implications for trophic status assessment // Hydrobiologia. 1991. Vol. 218, № 3. P. 247 – 254.

Kowalewska G. Algal pigments in Baltic sediments as markers of ecosystem and climate changes // Climate Research. 2001. Vol. 18. P. 89 – 96.

Leavitt P. R. A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance // J. Paleolimnol. 1993. № 9. P. 109 – 127.

Möller W. A. A., Scharf B. W. The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication // Hydrobiologia. 1986. Vol. 143. P. 327 – 329.

Reuss N., Conley D. J., Bianchi T.S. Preservation conditions and the use of sediment pigments as a tool for recent ecological reconstruction in four Northern European estuaries // Marine Chemistry. 2005. Vol. 95. P. 283 – 302.

Sigareva L. E., Sharapova N. A. Estimation of bulk sedimentary pigment concentrations in Rybinsk reservoir, Upper Volga, Russia // Озера холодных регионов. Ч. III. Гидрогеохимические вопросы : материалы Междунар. конф. Якутск : Изд-во Якутского гос. ун-та, 2000. С. 5 – 15.

УДК 574.34:595.713:630*263(1-924.82)

ДИНАМИКА СООБЩЕСТВ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA) В СРЕДНЕТАЁЖНЫХ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСАХ

А. А. Таскаева, Е. М. Лаптева

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
Россия, 167982, Сыктывкар, Коммунистическая, 28
E-mail: taskaeva@ib.komisc.ru*

Поступила в редакцию 08.02.11 г.

Динамика сообществ коллембол (Collembola) в среднетаёжных пойменных лесах. – Таскаева А. А., Лаптева Е. М. – Показано, что в пойменном берёзово-осиновом лесу формируются умеренно флуктуирующие сообщества коллембол, отличающиеся от стабильных по амплитуде варьирования, прежде всего, спектров доминантов и жизненных форм. Колебания плотности населения высоки. Вариабельность численности поверхностно-обитающих видов выражена сильнее по сравнению с геми- и эуэдафическими видами.

Ключевые слова: поймы, берёзово-осиновый лес, коллемболы, динамика.

Collembola community dynamics in inundated forests in the middle taiga. – Taskaeva A. A. and Lapteva E. M. – Fluctuating collembolan communities are shown to form in an inundated birch-aspen forest, which distinguish from stable ones by the variation amplitude of, first of all, the dominant and vital form spectra. Their population density fluctuations are high. The abundance variability of epigeic species is expressed more strongly in comparison with hemi- and euedaphic forms.

Key words: floodplains, birch-aspen forest, collembolan, dynamics.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение многолетней динамики дает возможность получить ответ на ряд вопросов, касающихся природы и границ устойчивости надорганизменных систем. Объектом таких работ служат различные организмы, в том числе и коллемболы (Кузнецова, 2007; Takeda, 1987). Практически все исследования, направленные на выявление закономерностей динамики ногохвосток, выполнены в мезофитных экосистемах с относительно мягким климатом, для которых характерны многочисленные и структурно стабильные сообщества (Chernova, Kuznetsova, 2000). Такие сообщества отличаются устойчивым ядром доминантов (2-3 вида) и достаточно определенным набором субдоминантов (Кузнецова, Бабенко, 1984; Takeda, 1987; Kaczmarek, 1995). Структурная стабильность населения коллембол в разногодичной динамике обусловлена синхронным изменением численности доминирующих видов и регулярностью сезонных колебаний плотности популяций. Основными факторами, влияющими на динамику численности и видового разнообразия микроартропод, принято считать влажность и температуру почвы (Hopkin, 1997). Определенную роль могут играть хищнические взаимоотношения (Hägvar, 1995; Schaefer, 1995). Однако полевые учеты показали, что хищники хоть и питаются коллемболами, не оказывают существенного влияния на регуляцию их численности (Ferguson, Joly, 2002). Показано, что динамика населения ногохвосток в мезо-

фитных лесах обычно тесно связана с температурным режимом почв (Кузнецова, 2007), в то время как роль осадков прослеживается лишь при резком и продолжительном отклонении их количества от нормы (Кузнецова, 2007; Wolters, 1998). Прогнозировать динамические аспекты формирования сообществ почвенных беспозвоночных в лесах умеренного пояса достаточно сложно, поскольку в условиях переувлажнения и (или) дефицита влаги представлены, как правило, флуктуирующие сообщества коллембол (Кузнецова, Крестьянинова, 1998). Остается неясным, насколько широко может быть диапазон варьирования типов организации у сообщества коллембол пойменных лесов, почвы которых характеризуются «молодостью», динамизмом и высокой плотностью жизни (Добровольский, 1991). В период весеннего половодья и осенних паводков почвы пойменных лесов в течение определенного времени находятся под водой. Длительность и режим паводка обуславливают существенное отличие пойменных почв от почв водоразделов, что не может не сказаться на специфике в них динамики сообществ коллембол.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собран в ходе трехлетних исследований (2003 – 2005 гг.), проведенных в пойменном берёзово-осиновом лесу (Республика Коми, средняя тайга). В центральной части левобережной пойменной террасы долины р. Сысола (приток р. Вычегда) выбраны три ключевых участка, занимающих различные элементы рельефа центральной поймы и отличающихся типом формирующихся аллювиальных почв, уровнем залегания почвенно-грунтовых вод и длительностью затопления в период весеннего половодья. Выделенные участки образуют естественный экологический ряд по степени нарастания увлажненности аллювиальных почв: P_1 – аллювиальная дерновая (лесная) почва, вершина гривы, P_2 – аллювиальная луговая (лесная) почва, выровненный участок поймы, P_3 – аллювиальная лугово-болотная (лесная) почва, межгривное понижение. Детальная характеристика участков и физико-химических свойств почв представлена в работе (Разнообразии..., 2005). Специфической особенностью аллювиальных почв пойменных лесов таёжной зоны является наличие хорошо выраженной маломощной (3 – 5 см) грубогумусной лесной подстилки (гор. A_0), представленной опадом берёзы и осины, под которой залегает гумусоаккумулятивный горизонт A_1 мощностью 15 – 20 см. Почвы кислые, ненасыщены основаниями, с резко убывающим профильным распределением органического углерода: ниже 25 см содержание $C_{орг}$ составляет меньше 1%. В направлении от вершины гривы (P_1) к межгривному понижению (P_3) наблюдается снижение степени прогреваемости верхних горизонтов почвы, возрастание влажности, повышение кислотности лесных подстилок и содержания органического вещества в гумусоаккумулятивном горизонте (Разнообразии..., 2005). Классификация и диагностика почв проведена по «Классификация и диагностика почв СССР» (1977).

На каждом участке ежемесячно (с мая по сентябрь) отбирали пробы почв в 8 – 10-кратной повторности, площадью 25 и 100 см² каждая, с разделением на лесную подстилку (горизонт A_0 , глубина 0 – 3 см) и залегающего под ней гумусоаккумулятивного горизонта (горизонт A_1 , глубина 3 – 7 см). Для выгонки коллембол использовали воронки Туллыгрена.

Жизненные формы определяли по системе С. К. Стебаевой (1970). Видовое разнообразие (H') и выравненность (J') оценивали по индексу Шеннона – Уивера. Для характеристики вариабельности определяемых параметров использовали (i) кратность варьирования показателей (как отношение максимального значения параметра к минимальному); (ii) коэффициент вариации (V , %); (iii) индекс стабильности (I_S). Индекс I_S , предложенный для анализа стабильности плотности популяций (Connell, Sousa, 1983), рассчитывается как стандартное отклонение логарифмически трансформированных (по \log_{10}) данных. В соответствии с разбросом значений принято выделять 7 классов вариабельности: I – 0.00 – 0.20; II – 0.21 – 0.40; III – 0.41 – 0.60; IV – 0.61 – 0.80; V – 0.81 – 1.00; VI – 1.01 – 1.20; VII \geq 1.21. На основании расчетов коэффициента вариации Н. А. Кузнецовой (2005) предложено выделять группы коллембол с относительно сильными ($V > 200$ %), умеренными ($V = 100 - 200\%$) и слабыми ($V < 100\%$) флуктуациями. Равномерность пространственного распределения описывали на основании расчета индекса агрегированности Лексиса. При проведении статистической обработки полученных данных использовали программы Excel и STATISTICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность. Плотность населения коллембол, населяющих верхние горизонты пойменных лесных почв, существенно варьирует как по срокам отбора (в течение вегетационного периода), так и по годам наблюдений (табл. 1). Минимальная плотность с варьированием в пределах 29 – 58% была отмечена на всех участках в 2003 г. Последующие годы наблюдений характеризовались практически 3 – 9-кратным подъемом на всех участках плотности коллембол в послепаводковый период. В дальнейшем происходило ее снижение, однако не достигающее до уровня минимальных значений, зарегистрированных в 2003 г. 2004 и 2005 годы отличались более выраженной флуктуацией в плотности населения коллембол во всех биотопах, о чем свидетельствует расчет коэффициентов вариации (от 31 на вершине гривы до 118% в межгривном понижении).

В среднем за три года наблюдений минимальной плотностью населения и более высокой амплитудой варьирования данного показателя отличались сообщества ногохвосток межгривного понижения (уч. П₃). Для этого биотопа отмечено стабильное ее снижение к концу вегетационного периода. На остальных участках наблюдались всплески плотности коллембол в отдельные сроки летнего периода (см. табл. 1).

Количество видов. Ежемесячные выборки регистрируют в течение одного года на разных участках от 9 – 15 до 13 – 25 видов (см. табл. 1). Максимальное количество видов (26) выявлено в почве вершины гривы, на двух других участках оно составило порядка 21 – 22 вида. Видовая структура четкая: виды *Folsomia quadrioculata* (Tullberg, 1871), *Folsomia fimetarioides* (Axelson, 1903), *Folsomia kuznetsovae* (Potapov, 2009), *Isotomiella minor* (Schäffer, 1896) с очень высокой численностью, характеризующиеся устойчивыми позициями в многолетней динамике на участках, и группа (8 – 10) из среднечисленных видов. Не менее характерна для группировок коллембол высокая доля (около 50 – 60%) редких и малочисленных

ДИНАМИКА СООБЩЕСТВ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA)

форм, вероятность массового размножения которых в данных биотопах очень низка. Показано, что во всех биотопах видовое богатство, как правило, снижается к концу вегетационного периода. Но возможны исключения. Например, в 2005 г. отмечено возрастание видового богатства сообщества коллембол в почве межгрядного понижения. Максимальной амплитудой в варьировании данного признака отличается сообщество ногохвосток, населяющее почву вершины гривы (9 – 26 видов). Два других участка характеризуются относительно близкими показателями (12 – 21 и 11 – 22 вида соответственно).

Таблица 1

Плотность населения, индексы разнообразия и агрегированности коллембол в почвах пойменного осиново-берёзового леса

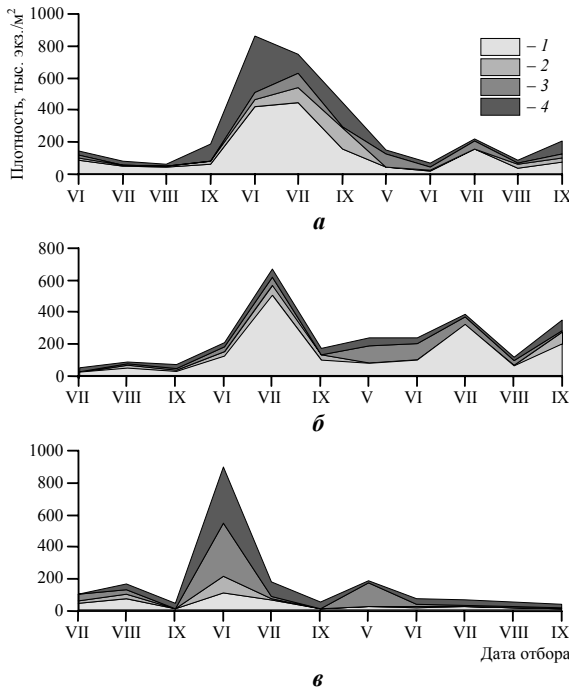
Вид	2003 год				2004 год			2005 год				
	июнь	июль	август	сентябрь	июнь	июль	сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь
Вершина гривы (участок П ₁)												
Плотность, тыс. экз./м ²	14.3± 4.4	8.2± 3.8	6.2± 1.5	18.9± 3.1	86.2± 14.4	74.7± 18.5	44.4± 19.0	73.0± 17.1	22.9± 5.3	21.9± 8.3	34.2± 7.2	20.1± 4.8
Видовое богатство (S)	26	16	16	15	25	18	14	19	16	9	11	13
Индекс Шеннона (H')	2.14	1.47	1.65	2.38	2.55	1.92	2.27	1.83	2.77	1.22	2.23	2.2
Выравненность (J')	0.46	0.49	0.41	0.61	0.54	0.45	0.58	0.43	0.69	0.38	0.64	0.61
Индекс Лексиса	3.7	4.0	1.4	1.6	3.5	4.8	6.4	4.5	2.2	4.0	2.7	2.4
Выровненная пойма (участок П ₂)												
Плотность, тыс. экз./м ²	–	4.9± 1.2	8.9± 1.6	7.2± 1.7	21.5± 8.9	67.5± 22.8	17.5± 5.6	66.9± 5.9	96.7± 27.9	38.8± 13.3	47.5± 16.9	35.5± 6.4
Видовое богатство (S)	–	18	12	12	13	21	14	21	17	15	13	12
Индекс Шеннона (H')	–	2.73	2.04	2.52	1.97	1.38	1.84	2.54	1.96	0.9	1.89	1.95
Индекс выравненности (J')	–	0.65	0.57	0.70	0.55	0.32	0.48	0.58	0.48	0.23	0.51	0.54
Индекс Лексиса	–	1.7	1.2	1.4	4.3	6.2	3.0	1.7	6.3	4.8	5.5	2.4
Межгрядное понижение (участок П ₃)												
Плотность, тыс. экз./м ²	–	10.2± 3.6	16.3± 4.0	4.4± 1.9	64.0± 22.1	12.5± 2.8	4.9± 0.1	76.2± 22.1	27.2± 5.2	18.0± 6.4	20.6± 2.7	14.4± 2.8
Видовое богатство (S)	–	16	14	14	20	22	18	11	17	13	18	18
Индекс Шеннона (H')	–	1.86	2.48	2.17	2.15	2.26	2.75	1.3	2.88	2.64	2.85	3.26
Индекс выравненности (J')	–	0.46	0.67	0.57	0.51	0.54	0.69	0.38	0.70	0.71	0.68	0.78
Индекс Лексиса	–	5.9	5.0	3.1	10.1	4.0	2.3	9.6	6.2	6.0	4.9	4.1

Примечание. Прочерк означает, что пробы не отбирались.

Структура доминирования и численность доминирующих видов. Как правило, динамику общей численности коллембол определяют изменения плотности доминирующих видов (Кузнецова, 2005). В почвах пойменного леса наиболее выра-

женными доминантами (вне зависимости от биотопа) являются *Folsomia quadrioculata*, *Folsomia fimetarioides*, *Isotomiella minor*.

Основной вклад в динамику плотности населения коллембол в почве вершины гривы вносят *F. quadrioculata*, *F. fimetarioides* и *I. minor*. Коэффициент корреляции между общим обилием коллембол и плотностью этих видов составляет 0.91, 0.45 и 0.55 соответственно. Следует отметить, что, как правило, всплески в численности *F. quadrioculata* сопровождаются возрастанием численности *I. minor*, в то время как *F. fimetarioides* достигает своего наибольшего обилия в осенний период, когда снижается численность первых двух видов. На этом участке немаловажную роль в поддержании численности сообщества ногохвосток играют и другие виды, выходящие на позиции доминантов и субдоминантов в отдельные сроки вегетационного периода (рисунок). Например, *Xenyllodes armatus* (Axelson, 1903) достигает



Динамика численности доминирующих видов коллембол на вершине гривы (а), на выровненном участке поймы (б) и в межгивном понижении (в): 1 – *Folsomia quadrioculata*, 2 – *Folsomia fimetarioides*, 3 – *Isotomiella minor*, 4 – остальные

плотности всех трех доминирующих видов проходит синхронно (2003 – 2004 гг.). Их пик приходится на август (2003) и июль (2004). В 2005 г. для *I. minor* отмечено постепенное сокращение численности к осеннему периоду, в то время как для *F. fimetarioides* выявлена прямо противоположная картина. Постоянным субдоми-

уровня доминантности в сентябре 2003 и 2004 гг., *Shoetella ununguiculata* Tullberg, 1869 – в июле, сентябре 2003 г. Субдоминантами являются виды *Protaphorura boedvarssoni* Pomorski, 1993, *Ceratophysella denticulata* (Bagnall, 1941), *Folsomia manolachei* Deharveng, 1982, *Tomocerus minutus* Tullberg, 1876, *Parisotoma notabilis* (Schäffer, 1896).

На выровненном участке поймы (уч. П₂) также основную роль в поддержании численности комплекса ногохвосток играет *F. quadrioculata* (см. рисунок). Наряду с ним высока значимость *I. minor*. Коэффициент корреляции между общим обилием и численностью этих двух доминантов составил 0.85 соответственно. По сравнению с вершиной гривы (уч. П₁), вклад *F. fimetarioides*, а также временных доминантов и субдоминантов менее выражен. Как правило, динамика

нантом (кроме июльских сроков отбора) был только один вид – *P. boedvarssoni*. Однако в 2003 г. в эту категорию вошел также вид *Supraphorura furcifera* (Börner, 1901), который в 2004 г. был немногочисленен, а в 2005 г. вообще не был зарегистрирован ни в один из сроков отбора. В определенные периоды уровня доминантности или субдоминантности достигали *C. denticulata*, *F. manolachei*, *T. minutus*, *P. notabilis*, *Desoria hiemalis* (Schött, 1893), *Isotoma viridis* Bourlet, 1839. Остальные виды отнесены к малочисленным, так как их доля не превышала 3.9%.

В межгридном понижении ситуация существенно отличается по сравнению с участками П₁ и П₂. Вид *F. quadrioculata* уходит с ведущих позиций, уступая место виду *I. minor*. Коэффициент корреляции между общим обилием и этими двумя видами составил соответственно 0.79 и 0.86. В отдельные сроки существенно возрастает вклад остальных выделенных доминантов и субдоминантов (см. рисунок). Для вида *I. minor* сохраняется выявленная для двух других участков тенденция постепенного снижения относительного обилия к началу осени. В этот период данный вид встречается в единичных пробах, либо вообще отсутствует. *F. quadrioculata*, как правило, достигает максимального обилия в июле – августе с последующим сокращением численности к сентябрю. К временным доминантам можно отнести виды *F. fimetarioides*, *Anurida ellipsoids* Stach, 1949, *Folsomia kuznetsovae* Potapov, 2009. В качестве постоянных субдоминантов выступали *Friezea mirabilis*, *C. denticulate*, *P. boedvarssoni*. В определенные периоды уровня субдоминантности достигали виды *F. manolachei*, *X. armatus*, *I. viridis*.

Спектр жизненных форм. Оценка сообществ коллембол по соотношению жизненных форм показала, что на вершине гривы (П₁) и на выровненном участке поймы (П₂) на протяжении всего периода наблюдений наиболее велика и постоянна роль гемиздафических видов. Численность эуздафической и поверхностно-обитающей групп варьирует в широких пределах, изменяясь до 4 – 6 крат. При переходе от вершины гривы к выровненному участку поймы возрастает амплитуда колебаний численности всех групп коллембол (по жизненным формам). Причем на уч. П₂ явно снижается обилие поверхностных и верхнеподстилочных видов, по сравнению с вершиной гривы (уч. П₁). В межгридном понижении (уч. П₃) доминируют во все сроки отбора эуздафические формы коллембол. В течение всех трех лет исследований наблюдалось возрастание здесь доли поверхностно-обитающих видов и снижение почвенных и гемиздафических форм к концу вегетационного периода.

В целом таксономический состав ногохвосток довольно стабилен по годам наблюдений (Таскаева, 2009). Максимальным количеством видов представлены дерновые (лесные) почвы вершины гривы, относительно меньшим – почвы полу- и гидроморфного типа, занимающие выровненный участок поймы и межгривное понижение. На вершине гривы (уч. П₁) и выровненном участке поймы (уч. П₂) показатели индекса Шеннона, как правило, характеризуются низкими значениями (см. табл. 1). Следует отметить неравномерность распределения общей численности по видам, о чем свидетельствуют низкие показатели индекса выравненности (*J'*). Большое видовое богатство сообществ коллембол вершин грив связано со спецификой их гидротермического режима (Разнообразие..., 2005). Данные почвы

лучше прогреваются в летний период, по сравнению с двумя другими участками, лучше дренируются, в связи с чем лесные подстилки характеризуются здесь влагообеспеченностью в пределах 20 – 40% полной влагоёмкости. Иссущение почвы на уч. П₁, периодически возникающее в наиболее теплообеспеченные месяцы, способствует заселению данного биотопа видами, адаптированными к недостатку влаги (кортицикольные: *Anurophorus palaearticus*, *Desoria blekeni*, верхнеподстилочные: *Pseudochorutes dubius*, *Xenylla mucronata*) и не встречающимися по этой причине на других участках поймы. Почва межгрядного понижения, наоборот, сильно увлажнена и поэтому здесь отсутствуют многие виды коллембол, неприспособленные к условиям повышенной влажности и уступающие соответственно место немногочисленному количеству специализированных видов, способных существовать в жестких экологических условиях.

Согласно данным литературы, основными факторами, определяющими характер сезонных изменений в численности и структуре микроартропод, являются температура, динамика лесной подстилки, гидротермический режим почвы, численность микрофлоры и мезофауны. Однако, как отмечает Н. А. Кузнецова (2007), у большинства видов в течение года наблюдается несколько периодов подъёма и спада численности, что связано с массовым размножением (Чернова, 1991). Выдвинуто предположение о важной роли конкурентных отношений (Второв, Мартынова, 1974). Однако процессы динамики численности коллембол на популяционном уровне требуют дальнейших исследований и обоснований. Высокие летние температуры на фоне недостатка влаги, как правило, ведут к снижению численности ногохвосток в таёжных экосистемах (Кузнецова, Бабенко, 1984), поступление свежего листового опада коррелирует с повышением плотности населения микроартропод в осенний период (Регуляторная роль..., 2002), а численность бактерий, микромицетов и мезофауны является зеркальным отражением общего количества коллембол (Евдокимова и др., 2002). Наши исследования свидетельствуют о том, что в пойменных ландшафтах средней тайги эти зависимости носят более сложный характер. В пойменных лесных экосистемах численность коллембол в большей степени определяется генезисом почвы и характером паводкового режима. Например, в 2003 г. с холодным, избыточно влажным раннелетним периодом и поздним паводком плотность населения ногохвосток на всех участках была невысока и характеризовалась соответствующей динамикой (см. табл. 1). В частности, в дерновой (лесной) почве (уч. П₁) наблюдалось снижение плотности населения коллембол в июле – августе (по сравнению с раннелетним и осенним периодами), а в полу- (уч. П₂) и гидроморфных (уч. П₃) почвах отмечался пик численности ногохвосток в августе со снижением ее в июле и сентябре. В 2004 – 2005 гг., характеризовавшимся, по сравнению с 2003 г., теплой умеренно-влажной первой половиной лета и ранним паводком, наблюдался всплеск плотности населения ногохвосток на вершине гривы и межгрядном понижении во все сроки отбора с пиком численности в июне (2004 г.), в мае (2005 г.). Исключением явилась луговая (лесная) почва, где наибольшая плотность ногохвосток отмечена в июле (2004 г.), в июне (2005 г.).

ДИНАМИКА СООБЩЕСТВ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA)

Известно, что сообщества коллембол и гамазовых клещей хорошо адаптированы к периодическим паводкам (Russell et al., 2002; Griegel, 2005). Несмотря даже на сильное наводнение, они быстро восстанавливают свою плотность, особенно такой эврибионтный вид, как *F. quadrioculata*. Из рисунка, именно этот вид обуславливает высокую численность сообществ микроартропод на уч. П₁ и П₂ в послепаводковый период 2004 – 2005 гг. Для участков П₁ и П₂ характерны, как правило, два подъёма численности коллембол: весной и осенью, при большей выраженности первого, что согласуется с данными литературы (Стебаева, 1991). Постоянная обводнённость почвы глубокого межгрядного понижения (П₃) обусловила резкое отличие данного участка от первых двух по характеру динамических процессов, определяющих изменения плотности доминирующих видов в сообществе микроартропод (см. рисунок). Таким образом, сезонная динамика коллембол в различных типах аллювиальных почв пойменных лесов находится в прямой зависимости от режима обводнения поймы и уровня залегания почвенно-грунтовых вод.

В почвах пойменных лесов, существенно отличающихся по экологическим условиям от подзолистых почв, формирующихся на водоразделах, складываются несколько иные комплексы коллембол. В условиях изученных ключевых участков большинство показателей, характеризующих сообщества коллембол в пойменных лесах, оказались весьма нестабильными (вариативными). Они изменялись по годам наблюдений более, чем в 2 раза (табл. 2). На вершине гривы (уч. П₁) такие показатели, как доля доминантов, общая численность, индексы Шеннона и выравненность варьировали в меньшей степени по сравнению с другими участками (П₂ и П₃). В межгрядном понижении (уч. П₃) население коллембол характеризовалось незначительной амплитудой изменения спектра жизненных форм.

Таблица 2

Кратность варьирования некоторых статистических и экологических показателей, характеризующих сообщества почвообитающих коллембол в пойменных лесах

Показатель	Ключевой участок		
	П ₁	П ₂	П ₃
Доля основных доминантов по численности	3–298	3–27	7–193
Доля основных жизненных форм по численности	2–20	2–23	3–7
поверхностно-обитающей	20	23	7
гемиздафической	2	2	4
эуздафической	5	5	3
Общая численность	13.9	19.7	17.1
Индекс Шеннона	2.3	3.0	2.5
Выравненность	1.8	3.0	2.0
Количество видов в серии	2.9	1.7	2.0

Примечание. Для основных доминантов и жизненных форм указан диапазон признаков колебаний.

Проведенные исследования показали, что в пойменных ландшафтах поверхностно-обитающие виды (*I. viridis*, *D. hiemalis* и другие) являются наиболее лабильной частью комплекса коллембол, чутко реагирующей на изменения внешних

условий биотопов. Гемии- и эуэдафические виды (*F. quadrioculata*, *I. minor*, *F. fimetarioides*), как правило, составляют устойчивое по годам ядро группировок, что позволяет отнести их к стабильной части комплекса коллембол в пойменных лесах таёжной зоны. Кратность варьирования данного показателя для этих групп составляет 2 – 5 раз, для поверхностно-обитающей – 7 – 23 раза (см. табл. 2). Для лесных экосистем в условиях субконтинентального климата отмечена аналогичная картина (Кузнецова, 2005).

На всех исследованных участках плотность популяций доминирующих видов, усредненная по данным за три года наблюдений, отличается незначительно, хотя варьирует в десятки, а некоторых – в сотни раз (табл. 3). Тем не менее, популяции доминирующих видов относятся ко второму классу с умеренной вариабельностью. Исключение составили виды *F. quadrioculata*, для которого характерны слабые флуктуации, и *F. kuznetsovae*, зарегистрированный в межгивном понижении (уч. П₃), для которого, наоборот, отмечена сильная флуктуация ($V > 200\%$). В целом этот участок отличается максимальным размахом варьирования доминирующих видов и сильно агрегированным пространственным распределением ногохвосток (индекс Лексиса варьирует от 2 до 10). На вершине гряды и выровненном участке поймы распределение коллембол в различные сроки отбора умеренно агрегированное (индекс Лексиса варьирует от 1.4 до 6.4), а флуктуации численности близки к слабым. Однако оценка вариабельности по индексу стабильности дает иные результаты. Наиболее стабильной по этому показателю является динамика численности *F. fimetarioides*, наименее – двух других доминантов (см. табл. 3). Этот результат объясняется тем, что данный индекс оценивает колебания абсолютных значений численности. Так, плотность колебаний популяций *F. quadrioculata* и *I. minor* колеблется сильнее, чем у *F. fimetarioides*, что и отразилось на более низких значениях индекса стабильности. Аналогичная картина отмечена и для показателей общей численности.

Таблица 3

Статистические параметры динамики плотности доминирующих видов коллембол в почвах пойменных лесов

Вид	Параметр			
	$N \pm 2m$	$min - max$	I_s	V
1	2	3	4	5
Вершина гряды (участок П ₁)				
<i>Folsomia quadrioculata</i>	16.4±1.6	4.6–45.0	1.13	83
<i>Isotomiella minor</i>	6.2±1.3	0.2–40.0	1.04	177
<i>Folsomia fimetarioides</i>	3.8±0.5	< 0.1–13.3	0.64	115
Плотность, тыс. экз./м ²	36.0±6.6	6.2–86.2	1.44	77
Выровненный участок поймы (участок П ₂)				
<i>Folsomia quadrioculata</i>	19.9±2.0	2.1–50.7	1.22	83
<i>Isotomiella minor</i>	7.4±1.5	0.3–40.6	1.07	159
<i>Folsomia fimetarioides</i>	2.5±0.3	0–8.0	0.43	109
Плотность, тыс. экз./м ²	37.5±7.7	4.9–96.7	1.47	79

1	2	3	4	5
Межгивное понижение (участок П ₃)				
<i>Folsomia quadrioculata</i>	4.4±0.5	0–10.7	0.57	84
<i>Isotomiella minor</i>	9.1±2.2	< 0.1–58.7	1.23	187
<i>Folsomia kuznetsovae</i>	3.8±1.0	0–26.9	0.89	205
Плотность, тыс. экз./м ²	24.3±6.0	4.4–75.5	1.37	96

Примечание. N – средняя плотность популяции, тыс. экз./м²; $2m$ – двойная ошибка средней; $min - max$ – диапазон варьирования среднегодовой плотности популяций, тыс. экз./м²; I_S – индекс стабильности, V – коэффициент вариации, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в пойменном берёзово-осиновом лесу, расположенном в центральной части пойменной террасы р. Сысола, формируются умеренно флуктуирующие сообщества коллембол, отличающиеся от стабильных по амплитуде варьирования, прежде всего, спектров доминантов и жизненных форм. Структуру такого населения, с одной стороны, отличает расширенный набор потенциальных доминантов, с другой – более высокая доля редких и малочисленных видов. Колебания плотности населения высоки. Вариабельность численности поверхностно-обитающих видов выражена сильнее по сравнению с геми- и эуэдафическими видами. В целом флуктуирующий тип сообщества коллембол хорошо отражает естественную циклику экологических параметров среды.

Авторы благодарны М. Б. Потапову за помощь в определении коллембол, С. В. Дегтевой, А. А. Колесниковой, Г. Л. Накул, Ю. А. Виноградовой за всестороннюю поддержку.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 23 «Биологическое разнообразие» в рамках темы «Выявление закономерностей формирования биоразнообразия, взаимосвязей макро- и микроорганизмов и их роли в трансформации органического вещества в почвах пойменных лесов Европейско-го северо-востока».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Второв П. П., Мартынова Е. Ф. Динамика сообщества коллембол. (Биомасса и численность под тьян-шанской елью). Фрунзе : Илим, 1974. 92 с.
- Добровольский Г. В. Генезис, эволюция и охрана почвенного покрова пойм Нечерноземной зоны РСФСР // Научные основы оптимизации и воспроизводства плодородия аллювиальных почв Нечерноземной зоны РСФСР / Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева. М., 1991. С. 3 – 14.
- Евдокимова Г. А., Зенкова И. В., Переверзев В. Н. Биодинамика процессов трансформации органического вещества в почвах Северной Фенноскандии. Апатиты : Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 2002. 154 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 224 с.
- Кузнецова Н. А. Организация сообществ почвообитающих коллембол. М. : Изд-во «Прометей» Моск. пед. гос. ун-та, 2005. 244 с.
- Кузнецова Н. А. Многолетняя динамика популяций коллембол в лесной и производной экосистемах // Зоол. журн. 2007. Т. 86, № 1. С. 30 – 43.

- Кузнецова Н. А., Бабенко А. Б.* Многолетняя динамика численности коллембол в ельнико-зеленомошнике // Фауна и экология ногохвосток. М. : Наука, 1984. С. 57 – 67.
- Кузнецова Н. А., Крестянинова А. И.* Динамика сообществ ногохвосток (Collembola) в гидрологическом ряду южно-таежных сосняков // Зоол. журн. 1998. Т. 77, № 9. С. 1009 – 1020.
- Разнообразие микро- и мезофауны в аллювиальных лесных почвах средней тайги (на примере долины р. Сысола) / Коми науч. центр УрО РАН. Сыктывкар, 2005. Вып. 479. 40 с.
- Регуляторная роль почвы в функционировании таежных экосистем / отв. ред. Г. В. Добровольский. М. : Наука, 2002. 364 с.
- Стебаева С. К.* Жизненные формы ногохвосток (Collembola) // Зоол. журн. 1970. Т. 49, № 10. С. 1437 – 1455.
- Стебаева С. К.* Структура и динамика сообществ коллембол // Микроартроподы, почвы, растительность в условиях пульсирующего увлажнения (на примере Карасукской равнины). Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. С. 104 – 153.
- Таскаева А. А.* Коллемболы (Collembola) пойменных сообществ таежной зоны Республики Коми // Зоол. журн. 2009. Т. 88, № 9. С. 1055 – 1063.
- Чернова Н. М.* Основные особенности структуры и динамики популяций почвенных ногохвосток (Collembola) // Экология популяций. М. : Наука, 1991. С. 22 – 35.
- Chernova N. M., Kuznetsova N. A.* Collembola community organization and its temporal predictability // Pedobiologia. 2000. Bd. 44. S. 451 – 466.
- Connell J. H., Sousa W. P.* On the evidence needed to judge ecological stability or persistence // American Naturalist. 1983. Vol. 121. P. 789 – 824.
- Ferguson S., Joly D.* Dynamics of springtails and mite populations: the role of density dependence, predation, and weather // Ecological Entomology. 2002. Vol. 27. P. 565 – 573.
- Griegel A.* Effects of the summer flood from 1997 of the Collembolan and Gamasida fauna in floodplains of the Lower Oder Valley // Floodplains : hydrology, soils, fauna and their interactions / Staatliches Museum für Naturkunde. Görlitz, 2005. P. 28.
- Hägvar S.* Instability in small, isolated microarthropod communities // Bul. Entomol. Pologne. 1995. Vol. 64. P. 123 – 133.
- Hopkin S.* Biology of the Springtails (Insecta : Collembola). Oxford : Oxford Univ. Press, 1997. 330 p.
- Kaczmarek M.* Long-term changes of the Collembola community at the Kampinos Forest // Polskie Pismo Entomologiczne. 1995. Vol. 64. P. 341 – 356.
- Russell D., Schick H., Nahrig D.* Reactions of soil Collembola communities to inundation in floodplain ecosystems of the Upper Rhine Valley // Wetlands in Central Europe: soil organisms, soil ecological processes and trace gas emissions / eds. G. Broll, W. Merbach, E.-M. Pfeiffer. Görlitz : Springer, 2002. P. 35 – 70.
- Schaefer M.* Interspecific interactions in the soil community // Acta Zool. Fennica. 1995. Vol. 196. P. 101 – 106.
- Takeda H.* Dynamics and maintenance of Collembolan community structure in a forest soil system // Res. Popul. Ecol. 1987. Vol. 29. P. 291-346.
- Wolters V.* Long-term dynamics of a collembolan community // Applied Soil Ecology. 1998. Vol. 9. P. 221 – 227.

УДК 599.32:502.172:470.44

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ В ПОЙМЕННЫХ ЛЕСАХ И СТЕПЯХ ПРИХОПЁРЬЯ

А. А. Цветкова

Саратовский филиал Института проблем экологии и эволюции им А. Н. Северцова РАН
Россия, 410028, Саратов, Рабочая, 24
E-mail: aatsv@mail.ru

Поступила в редакцию 24.12.11 г.

Динамика численности и структура населения мышевидных грызунов в пойменных лесах и степях Прихопёрья. – Цветкова А. А. – Сообщества мелких млекопитающих лесных и антропогенных местообитаний в Правобережье западной части Саратовской области в пойме р. Хопёр по видовому составу сходны, в основном формируются представителями лесного фаунистического комплекса – лесной, полевой, желтогорлой мышью, рыжей полёвкой, характеризуются полидоминантностью, высокой суммарной численностью. Характер динамики численности популяций изменчив, имеет свою видовую специфику. У рыжей полёвки и желтогорлой мыши имеется тенденция к циклическим колебаниям численности. Пойменные дубравы играют значительную роль в формировании и поддержании биоразнообразия сообществ мелких млекопитающих трансформированных степных ландшафтов.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, пойменные дубравы, антропогенные местообитания, степь, динамика численности, саратовское Правобережье.

Abundance dynamics and population structure of mouse-like rodents in the inundated woods and steppes of the Khopyor river area. – Tsvetkova A. A. – The communities of small mammals in the wood and anthropogenous habitats in the Right bank of the western Saratov region in the Koper River flood plain are similar by their specific structure and generally formed by representatives of the wood faunistic complex (*Sylvaemus uralensis*, *Apodemus agrarius*, *S. flavicollis*, *Myodes (Clethrionomys) glareolus*), they are characterized by polydominant nature and high total numbers. The abundance dynamics character of these populations is variable and has specific features. *M. (Cl.) glareolus* and *S. flavicollis* show a trend of cyclic abundance fluctuations. Inundated oak groves play a significant role in the formation and maintenance of the mammal community biodiversity in transformed steppe landscapes.

Keywords: small mammals, inundated oak groves, anthropogenous habitats, steppe, abundance dynamics, Saratov Right-Volga-bank region.

ВВЕДЕНИЕ

Начальные исследования грызунов и насекомоядных Поволжья следует отнести ко второй половине XIX в., когда появились работы М. Н. Богданова (1871) и А. А. Силантьева (1894), проводивших исследования на правом берегу Волги. В этих изданиях приведены списки всех известных на то время млекопитающих и сведения по их распространению, произведено зоогеографическое деление региона Поволжья и дан анализ истории его фауны.

Во второй половине прошлого столетия появился ряд публикаций (принадлежащих в основном ученым саратовской научной школы), в которых имеются дан-

ные о численности и распространении мелких млекопитающих в Правобережье (Елпатьевский и др., 1950; Ларина, Голикова, 1958; Гурьлева, 1968; Давидович, 1964; Щепотьев, 1957; Шляхтин и др., 2001; Цветкова и др., 2008 и др.).

Анализ литературных и собственных данных показывает, что население мелких млекопитающих степных экосистем претерпело с тех пор некоторые изменения в своем количественном и качественном составе. Главным фактором подобных изменений является сельскохозяйственная деятельность человека, которая за этот чуть более 100-летний период существенно изменила природу Балашовского района Саратовской области. В настоящее время Балашовский район – типичный современный природный комплекс, территория которого почти сплошь распахана и занята антропогенными ценозами на месте богаторазнотравно-ковыльных степей. Степные экосистемы представлены мелкими разрозненными участками, вкрапленными в аграрный ландшафт, которые используются в качестве пастбищ, большинство из них находятся в угнетенном состоянии от перевыпаса и рекреационной деятельности. Изменение облика степей связано также с динамикой климата. Начиная с 70-х гг. XX в. во всей степной зоне Саратовской области наступило потепление и увлажнение – такие климатические явления приводят к мезофитизации степной растительности (Сажин, 1993; Левицкая и др., 2005; Опарин, 2005). Естественно, что подобные процессы отразились на современной структуре населения мелких млекопитающих степных экосистем Прихопёрья, и в первую очередь изменения коснулись степных видов. В долине р. Хопёр сохранились естественные пойменные леса с характерными для них сообществами грызунов лесного фаунистического комплекса, которые играют значительную роль в формировании и поддержании биоразнообразия сообществ степных ландшафтов.

В настоящей работе представлены материалы по современной структуре населения и популяционной динамике мелких млекопитающих в природных пойменных и антропогенных биотопах на участке, расположенном в степной зоне в пределах Окско-Донской равнины в Правобережье Саратовской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для данного сообщения послужили результаты полевых работ, проведенных весной и осенью в 2007 – 2011 гг. в Балашовском районе Саратовской области, в окрестности с. Тростянка. Отлов животных и камеральную обработку проводили по стандартным методикам (Новиков, 1953; Карасева и др., 2008). Отработано 6550 ловушко-суток (л-с) и отловлено 1335 экз. мелких млекопитающих. Сравнительный анализ видового состава и организации сообществ определяли с помощью информационных индексов разнообразия (Мэгарран, 1992; Уиттекер, 1980). Учёты численности проводили в различных типах пойменных дубрав: ландышевой дубраве, в дубово-липово-крапивной с зарослями хмеля и существенной деградацией древостоя, в прибрежном кленово-осиновом лесу вдоль старого русла р. Хопёр, по опушке смешанного леса с богатой луговой растительностью, в осоково-кустарниковых зарослях по берегу заболоченного озера. На степных, измененных антропогенной деятельностью участках обследовали защитные лесополосы с разным составом древостоя, тростниково-кустарниковые

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ

заросли по берегу р. Тростянка, осушенные и заросшие кустарником и травянистой растительностью оросительные каналы, бурьянные заросли, сельскохозяйственные поля, степные участки, находящиеся под разной степенью выпаса. Научные таксономические названия представителей отряда Rodentia приводятся согласно систематической сводке И. Я. Павлинова (2003). Известно, что в данном районе возможно симпатрическое обитание видов-двойников обыкновенной полёвки *Microtus arvalis* и *Microtus rossiaemeridionalis* (Богомолов и др., 2005). В связи с тем, что видовая диагностика полёвок не проводилась, серые полёвки объединены в группу *Microtus* sp.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В населении пойменных и трансформированных степных местообитаний в долине р. Хопёр в целом преобладают виды лесного фаунистического комплекса – лесная (*Sylvaemus uralensis* Pall., 1811), желтогорлая (*Sylvaemus flavicollis* Melch., 1834), полевая (*Apodemus agrarius* Pall., 1771) мышь и рыжая полёвка (*Myodes Clethrionomys glareolus* Schreb., 1780). Фоновые доминирующие виды занимают достойное место в сообществе мелких млекопитающих, суммарная доля в лесных и степных биотопах составляет 92.3%. Среди них лесная мышь по обилию практически ежегодно занимает лидирующее место, уступая в пойменных биотопах рыжей полёвке и желтогорлой мыши только в годы их высокой плотности (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав и соотношение видов мелких млекопитающих
в природных и антропогенных ландшафтах

Вид	Доля вида в общем улове мелких млекопитающих, %						
	2007 г. весна	2008 г. весна	2008 г. осень	2009 г. осень	2010 г. осень	2011 г. весна	2011 г. осень
<i>Sylvaemus uralensis</i>	57.0	23.5	23.5	58.0	71.4	63.8	33.5
<i>Apodemus agrarius</i>	10.3	19.5	11.8	4.8	2.7	2.0	14.3
<i>Sylvaemus flavicollis</i>	4.2	4.8	15.3	13.3	12.5	20.8	38.0
<i>Mus musculus</i>	0.9	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Myodes glareolus</i>	22.5	22.3	45.8	14.8	2.7	8.7	4.5
<i>Microtus</i> sp.	2.8	6.7	1.7	0.7	5.3	3.4	1.1
<i>Cricetulus migratorius</i>	0.0	4.7	0.0	2.0	0.9	0.0	1.1
<i>Micromys minutus</i>	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0
<i>Sorex araneus</i>	0.9	0.6	1.0	3.3	4.5	0.0	6.8
<i>Sorex minutus</i>	1.4	2.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.7
<i>Crocidura suaveolens</i>	0.0	1.4	0.0	1.1	0.0	1.3	0.0

Основные виды определяют общий уровень численности, роль главного доминирующего вида в полидоминантной группе грызунов меняется по годам и сезонам. Характер динамики численности фоновых популяций изменчив и имеет свою видовую специфику (рис. 1).

Многочисленные в начале столетия типичные степные виды – степная мышовка (*Sicista subtilis* Pall., 1773) и степная пеструшка (*Lagurus lagurus* Pall., 1773), при-

сутствующие в фаунистическом списке видов, представленном в работе А. А. Си-лантьева (1894), исследующего фауну с. Падов в имении В. Л. Нарышкина, ныне в уловах отсутствуют, так как нетронутых степных участков, которые этим видам

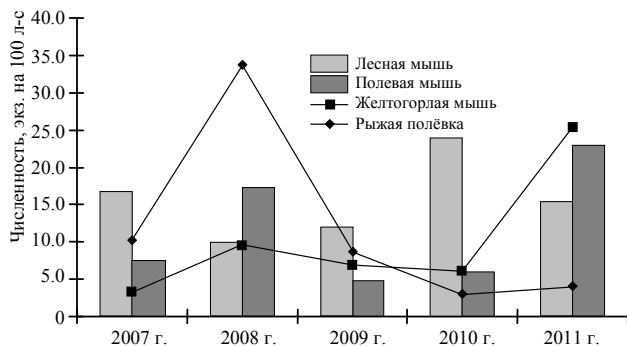


Рис. 1. Динамика численности мелких млекопитающих в пойменных и антропогенных местообитаниях

необходимы для обитания, под воздействием антропогенного пресса в районе почти не осталось. По данным В. Ф. Давидович (1964), в Юго-Западном Правобережье в 1959 г. отмечен высокий подъём численности этого вида, имеющего склонность к резким колебаниям численности. Группа полёвок рода *Microtus* sp. малочисленна, на ее долю в общем улове приходится 2.2%. Полёвки отдают предпочтение антропогенным местообитаниям, в основном встречаются в бурьянистых зарослях, отмечены единичные встречи в лесополосах и на нераспаханных степных участках, подвергнутых сильному выпасу. В пойменных биотопах представители группы отловлены только в 2008 г. на лесной опушке – 3.3 экз. / 100 л-с. Тем не менее осенью 2010 г. в бурьянистых зарослях высокой полыни вдоль заброшенных оросительных каналов серые полёвки достигали высокой численности – 24.0 экз. / 100 л-с. В число видов антропогенных местообитаний входит серый хомячок (*Cricetulus migratorius* Pall., 1773), в уловах встречается нерегулярно, весной в полезащитных лесополосах численность не превышает 2.0 экз. / 100 л-с, летом на полях численность составляет 4.0 экз. на 100 л-с, периодических изменений численности не отмечено. За пределами пойменных биотопов отловлены единичные экземпляры домового мыши (*Mus musculus* L., 1758). К редким видам относится мышь-малютка (*Microtus minutus* Pall, 1841), обитающая в кустарниковых зарослях по краю опушки пойменного леса, показатель обилия составляет 1.4 экз. / 100 л-с, доля в уловах низкая (табл. 2). Из насекомоядных достаточно обычна обыкновенная бурозубка – от 1.4 до 8.0 экз. / 100 л-с.

Популяция лесной мыши практически постоянно имеет высокий уровень численности с незначительными годовыми колебаниями, которые проходят без глубоких депрессий. Максимальная плотность лесной мыши отмечена в 2007 г., когда в полезащитных лесополосах на 100 л-с ловилось 39.0 экз., доля в общих сборах была значительная. Численность вида существенно возросла и в 2010 г., лесная мышь во всех местообитаниях достигала высокого обилия, доля в уловах (см. табл. 1) и показатели численности превысили среднееголетние значения (рис. 2, 3).

В пойменном кленовом лесу по берегу р. Старый Хопёр, в лесополосах численность была по 30 экз. / 100 л-с. При увеличении численности экологически

необходимы для обитания, под воздействием антропогенного пресса в районе почти не осталось. По данным В. Ф. Давидович (1964), в Юго-Западном Правобережье в 1959 г. отмечен высокий подъём численности этого вида, имеющего склонность к резким колебаниям численности.

Группа полёвок рода *Microtus* sp. малочисленна, на ее долю в общем

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ

близких видов, обитающих совместно с лесной мышью и являющихся ее содоминантами, в популяции лесной мыши меняется пространственная организация, которая определяет характер связи мелких млекопитающих со средой обитания и другими видами, зверьки концентрируются в наиболее характерных для них биотопах и сохраняют свое высокое обилие.

Таблица 2

Структура населения мышевидных грызунов в пойменных и антропогенных местообитаниях в 2007 – 2011 гг. (средняя численность зверьков на 100 л-с)

Виды	Пойменные местообитания					Антропогенные местообитания					
	СТХ	ДЛА	ДЛК	БО	ОП	ЛП	СХ	ТР	ОЛ	СТ	БУР
<i>Sylvaemus uralensis</i>	19.9	6.7	8.3	6.6	13.4	20.5	4.0	13.0	0.5	2.0	9.3
<i>Apodemus agrarius</i>	0.0	0.0	0.4	10.6	8.8	1.5	6.0	2.6	13.0	0.0	10.8
<i>Sylvaemus flavicollis</i>	2.8	14.8	4.6	13.3	1.2	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Mus musculus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3	0.0	0.0	1.4
<i>Myodes glareolus</i>	4.0	14.7	34.0	8.0	7.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Microtus sp.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	2.3	0.0	0.7	3.0	2.0	7.0
<i>Micromys minutus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cricetulus migratorius</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Показатели разнообразия в различных местообитаниях

Индекс Шеннона	0.720	1.051	0.972	1.365	1.529	1.413	1.079	0.804	0.482	0.930	1.237
Индекс Симпсона	0.328	0.585	0.509	0.710	0.699	0.587	0.653	0.304	0.304	0.500	0.651
Индекс Маргалефа	0.621	0.577	0.865	0.830	1.430	1.700	0.757	1.082	0.360	0.721	0.910

Примечание. СТХ – старица р. Хопёр, ДЛА – дубрава ландышевая, ДЛК – дубрава липово-крапивная, БО – берег озера, ОЛ – опушка лесная, ЛП – лесополосы, СХ – поля, ТР – берег р. Тростянка, ОП – опушка у лесополосы, СТ – степь, БУР – бурьянники (попынь высокая).

В середине прошлого столетия численность полевой мыши на степных участках, примыкающих к пойменным лесам р. Хопёр, достигала 14.0 экз. / 100 л-с. (Гурьева, 1968). Современные данные, полученные в ходе наших исследований, показывают тенденцию к общему увеличению численности вида (см. рис. 3). Полевая мышь тяготеет к трансформированным степным ландшафтам (см. табл. 2).

У полевой мыши отмечена пространственная неравномерность распределения вида и наличие определенных локальных стадий переживания, характеризующихся повышенной численностью полевой мыши. К таким местообитаниям относятся участки межи вдоль осушенных ороси-

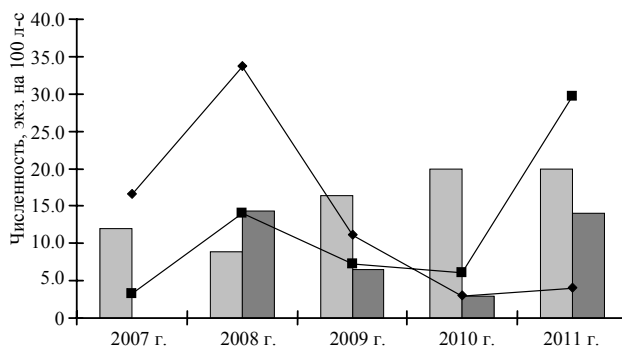


Рис. 2. Динамика численности мелких млекопитающих пойменных местообитаниях. Условные обозначения см. рис. 1

тельных каналов, заросшие полынью высокой и кустарником, заросли бурьяна (22.0 экз. / 100 л-с). На опушках с густой луговой растительностью вдоль полевая защитной лесополосы, вид достигает плотности 26.0 экз., в то же время на полях и в

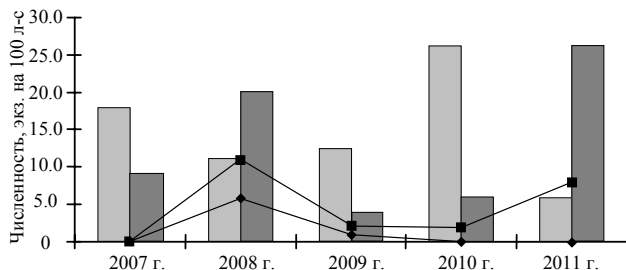


Рис. 3. Динамика численности мелких млекопитающих в антропогенных местообитаниях. Условные обозначения см. рис. 1

лесополосе показатель обилия обычно не превышает 3 – 4 экз. / 100 л-с. В пойме р. Хопёр к оптимальным биотопам относятся влажные участки в смешанном лесу по берегу озера. Периодические сезонные и годовые изменения численности полевой мыши имеют высокую амплитуду колебаний в присущих виду оптимальных местообитаниях. Пик численности полевой мыши отмечен в 2011 г. Вид в антропогенных местообитаниях был абсолютным лидером (см. рис. 3). Наряду с этим полевая мышь успешно содоминировала в смешанном лесу лесной и желтогорлой мыши, их показатели численности составили по 20.0 экз. / 100 л-с. Высокая численность обусловила появление в пойменных биотопах сеголеток – мигрантов полевой мыши, которые поселились в липовой дубраве (см. табл. 2). Подъем численности произошел в течение одного летнего репродуктивного сезона и не был обусловлен высокой весенней численностью. Так, в мае полевые мыши в лесополосе были в минимальном количестве – 2.0 экз. / 100 л-с, численность к осени увеличилась в десятки раз. У полевой мыши отмечена высокая интенсивность размножения с длительным репродуктивным периодом, в октябре в популяции продолжалось активное размножение, все пойманные самки были с плацентарными пятнами, четыре из них беременные.

Плотность населения рыжей полёвки весьма изменчива по годам, наблюдаемые изменения происходят с определенной закономерностью, проявляется тенденция к циклическим колебаниям численности (см. рис. 2). Периодические изменения численности с преобладанием 3-4-летних циклов характерны для большинства видов рыжих лесных полёвок рода *Clethrionomys*, особенно населяющих лесостепь и северную часть лесной зоны Голарктики (Кошкина, 1966; Семенов-Тянь-Шанский, 1970; Окулова, 1986; Бобрецов, Куприянова, 2002 и многие другие). В пойменных дубравах популяция рыжей полёвки пришла к пику численности в 2008 г. (см. рис. 2). В оптимальных биотопах амплитуда годовых колебаний достигла 25-кратного размера. Максимальная численность рыжих полёвок в октябре в захлавленной липовой дубраве была 44.0 экз. / 100 л-с при средней относительной плотности 34.0 экз. / 100 л-с, доля в пойменных уловах составила 60.2%. Особи рыжей полёвки были встречены всюду, в отдельных биотопах индекс доминирования *D* составлял 0.84. В полевой защитной лесополосе, имеющей среди основных составляющих пород (клёна, липы, акации, вяза) дубовые насаждения, имела показатель обилия 6.0 экз. / 100 л-с (Цветкова, Обидина, 2009). Следует заметить, что в

2008 г. в северном районе Правобережья в пойменном лесу р. Чардым плотность популяции рыжей полёвки также была высокой, динамика численности проходила с более глубокой амплитудой годовых колебаний, до 50 крат (Цветкова, 2010). На следующий год произошел плавный спад численности рыжей полёвки, отмечены лишь небольшие группировки зверьков под сваленными старыми деревьями в дубово-липовом захлавленном лесу – 15.3 экз. / 100 л-с. Одновременно в пойменных дубравах осенью этого года наблюдалось значительное увеличение плотности популяции лесной и желтогорлой мыши – 14.6 и 9.3 экз. / 100 л-с соответственно. У всех содоминирующих видов в 2009 г. наблюдалось позднее осеннее размножение. С 2010 г. популяция рыжей полёвки находится в состоянии депрессии. В Прихопёрье для рыжей полёвки особенно благоприятны участки леса с преобладанием липы (липово-крапивная дубрава), в таких местах они отчетливо доминируют среди мелких млекопитающих, успешно конкурируя с желтогорлыми мышами, оптимум существования которых соответствует участкам леса с преобладанием крупноплодных пород, в нашем случае дуба. В преобразованных степных местообитаниях рыжая полёвка встречается только в полезащитных лесополосах и только в годы ее высокой численности в пойме (см. табл. 2).

В пойменных дубравах р. Хопёр желтогорлые мыши наибольшего обилия достигают в светлой, высокоствольной ландышевой дубраве с преобладанием дубовых насаждений, в антропогенных местообитаниях встречаются лишь в полезащитных лесополосах (см. табл. 2). Популяция грызунов очень подвижна и постоянно меняется во времени и пространстве, имеются близкие к циклическим колебания плотности, тенденция к формированию правильных циклов. Годовые колебания численности у желтогорлой мыши и рыжей полёвки в пойменных дубравах происходят в противофазе, у рыжей полёвки годовая амплитуда колебаний и численное обилие зверьков выше (см. рис.2). В 2008 г. при высокой численности других фоновых видов и доминирования рыжей полёвки зверьки желтогорлой мыши в пойме встречались только в ландышевой дубраве – 14 экз. / 100 л-с и плотно заселили лесополосы – 11.0 экз. / 100 л-с. Второй всплеск численности отмечен в 2011 г. Средняя численность весной была относительно высокой – 9.0 экз. / 100 л-с и при интенсивном размножении к осени достигла максимального значения, сезонная амплитуда колебаний составила почти 20 крат. Желтогорлые мыши встречались во всех типах дубрав, при средней численности 29.6 экз. / 100 л-с, в ландышевой дубраве максимальная численность составила 37.0 экз. / 100 л-с, высокое обилие отмечено и в лесополосе – 12 экз. / 100 л-с. Такая серьезная вспышка численности позволила этому виду занять доминирующую роль в пойменных местообитаниях, что произошло при относительно высокой численности в сходных биотопах лесной (28.0 экз. / 100 л-с) и полевой (20.0 экз. / 100 л-с) мыши.

В результате расселения желтогорлой мыши и рыжей полёвки за пределы пойменных дубрав в полезащитных лесополосах формируется смешанная фауна, характерная для пойменных лесов и открытых пространств, что разнообразит видовой состав и общий уровень численности данного местообитания. В табл. 2, где представлены основные показатели разнообразия, индекс Маргалефа, сочетающий видовое богатство и общее число особей, и индекс видового разнообразия Шеннона, в лесополосах выше, чем в других антропогенных местообитаниях.

Считается, что одним из важных факторов формирования разнообразия сообществ животных является пространственная гетерогенность среды (Уиттекер, 1980; Пианка, 1981 и др.). Данному условию вполне соответствует структура пойменных лесов Прихопёрья. По данным ученых Балашовского университета, в пойменных лесах р. Хопёр отмечено богатое разнообразие травянистого покрова, высокая продуктивность буйной растительности, динамичный световой режим, однородный рельеф почвы – наличие данных показателей создает необходимую гетерогенность среды (Вишневская, 2007; Золотухин, Овчаренко, 2007), которая выдерживает совместное обитание лесных видов с высоким уровнем численности. Кормовые и защитные ресурсы позволяют различным по своим биологическим особенностям видам сосуществовать вместе, увеличивая свою численность. Значительную роль играет высокая степень мозаичности местообитаний, отсутствие сплошных вырубок, сильная захламенность пойменных лесов – все это создает благоприятные условия для обитания мышевидных грызунов, предохраняют популяцию одних видов при высокой численности других видов от чрезмерного падения численности. Для высокой численности грызунов в последние годы имеются и другие благоприятные абиотические факторы – высокий урожай липы, средний (по шкале Капера) урожай дуба, отсутствие высокого и продолжительного половодья на р. Хопёр в 2007 – 2009 гг. (Цветкова, Обидина, 2009).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По видовому составу сообщества мелких мышевидных грызунов лесных и антропогенных местообитаний в Правобережье западной части Саратовской области достаточно близки, индекс видового сходства равен 0.82. Видами, формирующими сообщества мелких млекопитающих, являются четыре ярко выраженных доминанта, представители лесного фаунистического комплекса – лесная, полевая, желтогорлая мыши и рыжая полёвка. Некоторые различия придают им такие виды, как мышь-малютка, которая встречается только на лесных полянах, серый хомячок – единственный представитель степного фаунистического комплекса, обитающий в лесополосах и на полях, а также домовая мышь, предпочитающая в антропогенных местообитаниях заросли полыни высокой. Однако доля этих видов в общих уловах минимальна – не более 8%. Отличительные особенности проявляются и в структурных параметрах. Пойменные дубравы характеризуются высоким уровнем численности и доминированием лесной, желтогорлой мыши и рыжей полёвки. В антропогенных местообитаниях доминирующую группировку сменяет группа видов, представленная только лесной и полевой мышью. Видовое разнообразие и обилие грызунов увеличивается в полезащитных лесополосах в годы пиковой численности рыжей полёвки и желтогорлой мыши в пойменных дубравах, т.е. лесные биогеоценозы играют определенную роль в формировании и поддержании биоразнообразия трансформированных степных ландшафтов.

Несмотря на то, что все главные виды имеют высокий уровень численности, характерной особенностью данного сообщества является постоянно высокое обилие и широкое распространение лесной мыши. Периодические колебания численности свойственны всем фоновым грызунам, обитающим в данном районе. Высо-

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ

кая численность мышевидных грызунов наблюдается ежегодно. Характер динамики численности популяций изменчив и имеет свою видовую специфику. У рыжей полёвки и желтогорлой мыши имеется тенденция к циклическим колебаниям численности с преобладанием 2-3 летних циклов, которые у этих видов происходят в противофазе. Основные изменения численности мелких млекопитающих в природных и трансформированных местообитаниях в целом совпадают, что свидетельствует об общности населения.

Разнообразие населения мелких млекопитающих, общие закономерности пространственного распределения отражают современные процессы, связанные с сельскохозяйственной деятельностью человека, высокой продуктивностью пойменных дубрав, мозаичностью природных ландшафтов. Наступившее потепление и увлажнение климата приводит к мезофитизации растительности, что опосредованно способствует увеличению численности мезофильных видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бобрецов А. В., Куприянова И. Ф. Динамика популяций лесных полевок (*Clethrionomys*) на Европейском Севере // Экология. 2002. № 3. С. 220 – 227.

Богданов М. Н. Птицы и звери черноземной полосы Поволжья и долины Средней и Нижней Волги (биогеографические материалы) // Тр. о-ва естествоиспытателей при императорском Казан. ун-те. 1871. Т. 1, № 1. С. 168 – 175.

Богомолов П. Л., Тихонов И. А., Тихонова Г. Н., Ковальская Ю. М., Сузов А. В., Опарин М. Л. Особенности распространения видов-двойников *Microtus arvalis* и *M. rossiaemerdionalis* в степной и полупустынной зонах России // Биоресурсы и биоразнообразие экосистем Поволжья: прошлое, настоящее, будущее : материалы Междунар. совещ. / под ред. акад. Д. С. Павлова. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005. С. 144 – 146.

Вишневская А. А. Биоразнообразие пойменных лесов среднего течения реки Хопер (Саратовская область) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Брянск, 2007. 21 с.

Гурылева Г. М. Экологические зональные комплексы млекопитающих Ульяновской, Пензенской и Правобережья Саратовской области // Вопросы биогеографии Среднего и Нижнего Поволжья. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1968. С. 256 – 267.

Давидович В. Ф. Фауна млекопитающих и динамика численности некоторых грызунов в Саратовской области // Зоол. журн. 1964. Т. 43, вып. 9. С. 1366 – 1372.

Золотухин А. И., Овчаренко А. А. Пойменные леса Прихоперья : состояние, эколого-ценотическая структура, биоразнообразие. Балашов : Николаев, 2007. 152 с.

Елпатьевский В. С., Ларина Н. И., Голикова В. Л. Млекопитающие Саратовской области // Учен. зап. Саратов. ун-та. 1950. Т. XXVI. С. 59 – 63.

Карасева Е. В., Телицына А. Ю., Жигальский О. А. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М. : Лаки, 2008. 416 с.

Кучерук В. В. Степной фаунистический комплекс млекопитающих и его место в фауне Палеарктики // География населения наземных животных и методы его изучения. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1959. С. 45 – 87.

Кошкина Т. В. О периодических изменениях численности полевок на Кольском полуострове // Бюл. МОИП. Отд. биол. Т. 74, вып. 3. С. 14 – 25.

Ларина Н. И., Голикова В. Л. Размножение лесных мышевидных грызунов в Саратовской и Воронежской областях в 1955г // Научный ежегодник Саратов. гос. ун-та за 1955 г. Отд. биол. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1958. С. 105 – 107.

Левицкая Н. Г., Шаталова О. В., Иванова Г. Ф. Оценка современных тенденций изменения климата и их последствий для сельскохозяйственного производства в Нижнем Поволжье // Повышение эффективности использования агроклиматического потенциала юго-восточной зоны России / НИИСХ Юго-Востока. Саратов, 2005. С. 273 – 284.

Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 166 с.

Новиков Г. А. Полевые исследования по экологии наземных позвоночных. М. : Наука. 1953. 502 с.

Окулова Н. М. Биологические взаимосвязи в лесных экосистемах (на примере природных очагов клещевого энцефалита). М. : Наука. 1986. 248 с.

Опарин М. Л. Изменение населения грызунов типичных и сухих степей Заволжья в XX столетии // Тр. Зоол. ин-та РАН. 2005. Т. 306. Систематика, палеонтология и филогения грызунов. С. 82 – 101.

Павлинов И. Я. Систематика современных млекопитающих. М. : Изд-во МГУ, 2003. 297 с.

Пианка Э. Эволюционная экология. М. : Мир, 1981. 400с.

Сажин А. Н. Природно-климатический потенциал Волгоградской области. Научное исследование природно-климатических ресурсов области за 100-летний период. Волгоград : Изд-во Волгогр. с.-х. ин-та, 1993. С. 1 – 28.

Семенов-Тянь-Шанский О. И. Цикличность в популяциях лесных полевок // Бюл. МОИП. Отд. биол. Т. 35, вып. 2. С. 11 – 26.

Силантьев А. А. Фауна Падов // Пады. Имение В. А. Нарышкина : естественно-исторический очерк. СПб. : Типография Е. Евдокимова, 1894. С. 235 – 390.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М. : Прогресс, 1980. 327 с.

Цветкова А. А. Структура населения, численность и популяционные показатели мелких млекопитающих в саратовском Правобережье // Поволж. экол. журн. 2010. № 4. С. 423 – 437.

Цветкова А. А., Обидина В. А. Биотопическое распределение мышевидных грызунов в пойменных лесах и степях Прихоперья // Поволж. экол. журн. 2009. № 4. С. 351 – 356.

Цветкова А. А., Опарин М. Л., Опарина О. С. Роль мелких млекопитающих в природных и антропогенных ландшафтах Саратовского Правобережья // Экология. 2008. № 2. С. 134 – 140.

Щепотьев Н. В. Очерк распространения и стациального размещения некоторых видов мышевидных грызунов в Нижнем Поволжье // Фауна и экология грызунов. М. : Изд-во МГУ, 1975. Вып. 12. С. 62 – 97.

Шляхтин Г. В., Белянин А. Н., Беляченко А. В., Завьялов Е. В., Мосейкин В. Н., Рябкин В. В., Семихатова С. Н., Сонин К. А., Табачишин В. Г., Щербинин И. В. Обзор фауны млекопитающих Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. 2001. Сер. биол. Вып. спец. С. 378 – 481.

УДК 574.5:572.1:581.1

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА *ELODEA DENSA* PLANCH. ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Н. В. Чукина, Г. Г. Борисова

*Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, 620002, Екатеринбург, Мира, 19
E-mail: nady_dicusar@mail.ru*

Поступила в редакцию 07.05.10 г.

Изменение структурно-функциональных характеристик фотосинтетического аппарата *Elodea densa* Planch. под действием тяжёлых металлов. – Чукина Н. В., Борисова Г. Г. – Проведено исследование структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата водных растений при выращивании в среде с повышенным содержанием тяжёлых металлов. Установлено, что характер изменений параметров мезоструктуры листа *Elodea densa* в модельных условиях зависел как от природы металла, так и его концентрации в среде. Показано, что изменение мезоструктурных характеристик в условиях стресса является одной из приспособительных реакций растений, которая отличается медленными темпами по сравнению с другими адаптациями.

Ключевые слова: адаптация, устойчивость, стресс, поллютанты, тяжёлые металлы, водные растения, фотосинтетический аппарат, мезоструктура.

Changes of the structural-functional characteristics of the photosynthetic apparatus of *Elodea densa* Planch. under the influence of heavy metals. – Chukina N. V. and Borisova G. G. – A study was made of the structural-functional organization of the photosynthetic apparatus of some aquatic plants grown in water with raised concentrations of heavy metals. The changes of the *Elodea densa* mesostructural parameters in our modeling conditions depended on both the nature of the metal and its concentration in the water. A change of the mesostructural characteristics of the photosynthetic apparatus in stress conditions is a plant adaptive reaction featuring slow rates in comparison with other adaptations.

Key words: adaptation, stability, stress, pollutants, heavy metals, aquatic plants, photosynthetic apparatus, mesostructure.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях существенного роста антропогенных нагрузок резко возросло загрязнение гидросферы. Нередко среди поллютантов, ухудшающих качество поверхностных вод, доминируют тяжёлые металлы (ТМ). В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на выявление у живых организмов механизмов адаптации к загрязнению водной среды.

Важную роль в обеспечении устойчивости растений к стрессорам различной природы играет структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата. В последние десятилетия в эколого-физиологических исследованиях широко используется мезоструктурный подход, предложенный А. Т. Мокроносным (Мокронос, 1978). Понятие «мезоструктура» включает систему экспериментально определяемых морфологических характеристик листа, клеток мезофилл-

ла и хлоропластов, на основе которых можно получить расчетным путем большое число показателей, важных для понимания организации фотосинтетического аппарата. Изменение данных параметров рассматривается как проявление регуляции фотосинтеза на морфогенетическом уровне, которое обеспечивает адаптацию растительных организмов к разным экологическим условиям (Мокроносов, 1981).

К настоящему времени влияние химического состава среды обитания на мезоструктуру фотосинтетического аппарата растений изучено недостаточно. В литературе встречаются отдельные сведения о действии на формирование анатомо-морфологической структуры растений таких важных элементов минерального питания, как азот, калий и фосфор (Нагалеvский, Николаевский, 1981; Потокин, 1984; Кузнецова и др., 2007).

Показано, что при избыточном азотном питании наблюдалось увеличение числа и размеров клеток, увеличение числа проводящих пучков и ослабление развития механических тканей. При избытке калия в среде обитания происходило утолщение волокон склеренхимы, утолщение оболочек клеток и усиление образования механических тканей (Нагалеvский, Николаевский, 1981).

Литературные данные о влиянии техногенных факторов на мезоструктуру листа растений весьма немногочисленны (Хан, Астафурова, 2001; Кулагин, 2003; Улицкая, 2004; Жиров др., 2006; Зотикова др., 2007).

Изучение влияния загрязнения воздушной среды на фотосинтетический аппарат лиственных древесных растений показало, что средняя толщина палисадного и губчатого мезофилла листа существенно увеличена в точках с неблагоприятными условиями произрастания (Кулагин, 2003).

При изучении фотосинтетического аппарата хвойных растений под воздействием техногенных эмиссий (Хан, Астафурова, 2001) обнаружена склонность к ксероморфизму, отмечено уменьшение размеров хвоинок, утолщение кутикулы. Однако показано (Зотикова др., 2007), что при загрязнении воздушной среды у разных видов хвойных наблюдались разнонаправленные изменения анатомо-морфологической структуры хвои.

Таким образом, влияние различных стрессовых факторов на фотосинтетический аппарат растений приводило к сходным последствиям: уменьшению площади листовой пластинки; появлению ряда ксероморфных черт во внутреннем строении листа. При этом, как правило, показатели пластидного аппарата (число хлоропластов в клетке, площадь поверхности и объем хлоропластов) подвергались изменениям в меньшей степени по сравнению с параметрами клеток (Нагалеvский, Николаевский, 1981; Потокин, 1984).

В отличие от наземных растений, особенности анатомического строения водных и прибрежно-водных растений в условиях антропогенного загрязнения водной среды редко являлись предметом специального изучения. Вместе с тем использование гидрофитов для решения этих задач представляется весьма удачным, так как водные растения в большей степени по сравнению с наземными контактируют со средой обитания, поглощая из воды минеральные и органические вещества всей поверхностью листьев.

К числу исследований, проводимых непосредственно на водных растениях, относятся работы О. А. Капитоновой (Капитонова, 1998, 2002), в которых показа-

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

ны изменения в строении покровных тканей вегетативных органов макрофитов по сравнению с растениями из «условно чистых» водотоков. Отмечено, что в наибольшей степени изменчивость проявляли линейные размеры основных эпидермальных клеток и отношение длины клетки к ширине. В частности, у ряски отмечено наиболее сильное увеличение размеров клеток. По мнению автора, это являлось следствием поступления внутрь клеток листочков избыточного количества поллютантов непосредственно из водной среды, в отличие от воздушно-водных видов гидрофитов, и связано с необходимостью их инактивации внутри растения.

Таким образом, обзор литературы показывает, что изменения параметров фотосинтетического аппарата растений в условиях техногенного воздействия проявляются на разных уровнях его организации, в том числе и на мезоструктурном.

К сожалению, комплексных исследований структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата в связи с адаптацией растений к техногенному воздействию практически не было проведено. Изучение параметров ассимиляционного аппарата растений в условиях стресса, в том числе под воздействием поллютантов различной химической природы, имеет важное значение, поскольку изменение мезоструктуры листа можно рассматривать как одну из защитно-приспособительных реакций растений к неблагоприятным факторам среды обитания.

В исследованиях, проведенных нами ранее (Чукина, Борисова, 2010), изучены структурно-функциональные показатели фотосинтетического аппарата листа гидрофитов из природных местообитаний, различающихся уровнем техногенного воздействия. Показано, что листья большинства водных растений из местообитаний с повышенной нагрузкой отличались большими размерами клеток мезофилла и более высоким содержанием фотосинтетических пигментов по сравнению с растениями из «условно чистых» водных объектов. Однако в местообитаниях, для которых характерны повышенные техногенные нагрузки, загрязнение водной среды является многокомпонентным и поэтому не ясно, какие именно поллютанты оказали такое действие. Полученные нами результаты обусловили необходимость проведения более детального исследования влияния отдельных металлов и их смесей на растение одного и того же вида в условиях эксперимента.

Цель работы – выявление изменений параметров мезоструктуры листа водных растений при выращивании в среде с повышенным содержанием тяжелых металлов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования была выбрана *Elodea densa* Planchon, 1849. Верхушки побегов длиной 6 см помещали в сосуды с 5%-ной средой Хогланда – Арнона. Сосуд № 1 использовали в качестве контроля, а в остальные сосуды были добавлены тяжёлые металлы (ТМ) и их смеси. Все металлы были взяты в виде соответствующих солей сульфатов. При выборе концентраций металлов во внимание принимались их фактические концентрации в водных объектах в условиях техногенного воздействия. Схема опыта и концентрации металлов приведены в таблице.

Растения инкубировали в среде с металлами в течение 68 дней при естественном освещении. Новые побеги, которые сформировались за этот период, были зафиксированы в 70%-ном этаноле для последующего определения количественных показателей мезоструктуры листа.

Особенностью анатомического строения листа элодеи является тонкая листовая пластинка, состоящая всего из двух слоев клеток – верхнего и нижнего эпидермиса, которые выполняют основную фотосинтезирующую функцию (Матвеев и др., 2005).

Схема эксперимента

№ варианта	Варианты	Концентрация металлов, мг/л
1	Контроль	Без добавления металлов
2	Ni ²⁺	0.05
3	Ni ²⁺	0.1
4	Cd ²⁺	0.05
5	Cd ²⁺	0.1
6	Ni ²⁺ + Cd ²⁺	0.05
7	Ni ²⁺ + Cd ²⁺	0.1
8	Fe ²⁺	0.2
9	Mn ²⁺	0.2
10	Смесь солей: Mn ²⁺ +Fe ²⁺ + Zn ²⁺ +Cu ²⁺ +Ni ²⁺	Mn, 0.2; Fe, 0.2; Zn, 0.1; Cu, 0.04; Ni, 0.05

Количественную структуру мезофилла листа изучали в соответствии с методикой, разработанной в Уральском государственном университете (Определение мезоструктурных характеристик..., 2006). Толщину листа измеряли на поперечных срезах листьев, используя световой микроскоп и окулярный микрометр. Размеры клеток верхнего и нижнего

эпидермиса, а также размеры хлоропластов определяли с использованием компьютерной установки и программного обеспечения Siams Mesoplant. На основе полученных данных были рассчитаны и другие показатели мезоструктуры листа.

Толщину листа определяли в 10-кратной повторности; размеры клеток и хлоропластов – в 30-кратной.

Математическую обработку данных осуществляли при помощи программ MS Excel, Statistica 6.0. Достоверность результатов оценивали при уровне значимости $p < 0.05$. Для оценки достоверности различий использовали непараметрический критерий Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставление морфологических особенностей листьев растений элодеи, выросших при повышенном содержании в среде тяжелых металлов, показало, что внешний вид побегов и их состояние в разных вариантах опыта существенно различались. Наихудшим состоянием отличались растения, выращенные при добавлении кадмия в разных концентрациях и смеси кадмия и никеля: побеги были слабые и мягкие, наблюдалась наименьшая величина прироста. Напротив, в вариантах с добавлением марганца, никеля и смеси металлов растения элодеи имели крепкие, зеленые побеги.

Результаты измерения толщины листа растений, выращенных в питательной среде при добавлении тяжелых металлов, представлены на рис. 1.

Как показали исследования, у растений, выросших в среде с добавлением железа, марганца и смеси ТМ, толщина листа практически не отличалась от контрольных значений. Однако у побегов, выращенных при высокой концентрации кадмия (0.1 мг/л), а также на смеси никеля и кадмия, толщина листовой пластинки достоверно увеличивалась, в то время как никель в обеих концентрациях вызывал достоверное уменьшение данного параметра.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Линейные размеры, показатели площади и объёма клеток достоверно уменьшались при добавлении в среду никеля (в концентрациях 0.05 и 0.1 мг/л) и железа (рис. 2). В остальных вариантах достоверного изменения этих параметров не было обнаружено.

В результате эксперимента установлено, что, как правило, в клетках листа элодеи при выращивании в среде с металлами достоверно изменялись и размеры хлоропластов (рис. 3). Например у растений, выращенных при добавлении никеля (0.05 и 0.1 мг/л), кадмия (0.05 мг/л), смеси никеля и кадмия (0.05 мг/л), железа (0.2 мг/л) наблюдалось весьма существенное (в

2.5 – 4 раза) уменьшение объёма хлоропластов. Данная закономерность, хотя и в меньшей степени, отмечена при добавлении смеси солей разных металлов.

Показано, что более высокие концентрации кадмия (0.1 мг/л) вызывали существенное увеличение объёма хлоропластов, что, очевидно, связано с их набуханием. Следует отметить, что совместное действие кадмия и никеля в концентрациях 0.05 мг/л приводило к наиболее заметному (4-кратному) снижению значения этого показателя по сравнению с контролем.

Однако у растений, выросших при добавлении в среду смеси кадмия и никеля в более высоких концентрациях (0.1 мг/л), набухание хлоропластов резко усиливалось. Очевидно, при этом происходило частичное разрушение хлорофилла, что было заметно по бледной окраске листьев.

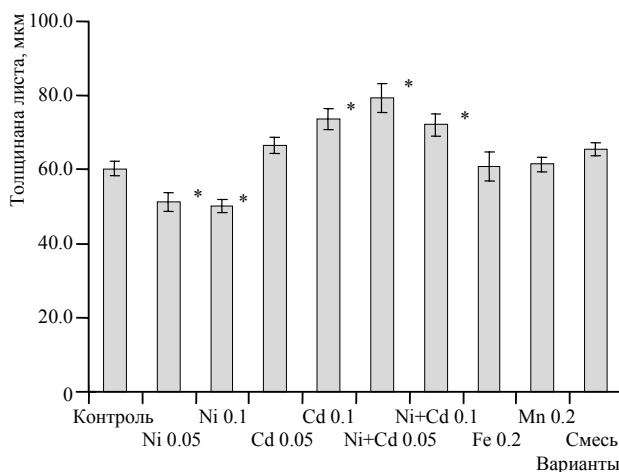


Рис. 1. Толщина листа растений *E. densa*, выращенных при повышенном содержании в среде металлов. * – отличия от контроля достоверны при $p < 0.05$

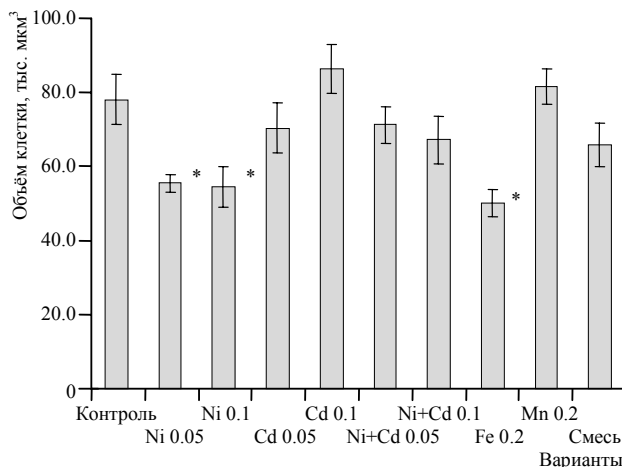


Рис. 2. Объём клеток листа *E. densa*, выращенных при повышенном содержании в среде металлов. * – отличия от контроля достоверны при $p < 0.05$

Полученные данные позволяют сделать предположение, что кадмий и никель в дозах 0.05 мг/л вели себя как антагонисты, при этом никель нейтрализовал токсичное действие кадмия. В удвоенных же концентрациях токсичность этих метал-

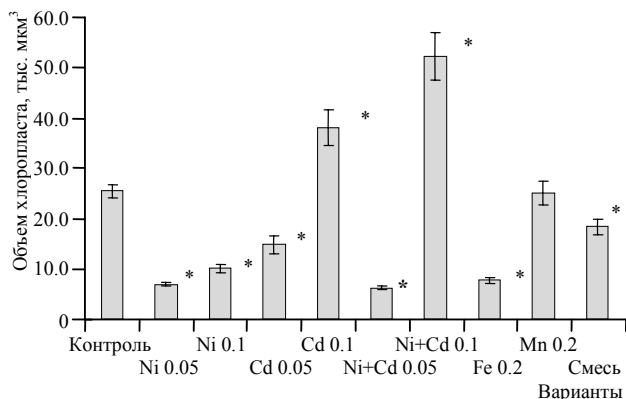


Рис. 3. Объем хлоропластов в клетках листьев *E. densa*, выращенных при повышенном содержании в среде металлов.

* – отличия от контроля достоверны при $p < 0.05$

чине прироста побегов в среде с кадмием была минимальной. Очевидно, данный факт свидетельствует о том, что кадмий ингибирует процессы деления клеток.

Добавление никеля в концентрациях 0.05 мг/л и 0.1 мг/л приводило к уменьшению размеров и клеток, и хлоропластов, хотя состояние растений, судя по их внешнему виду, было вполне удовлетворительным.

Поскольку для водных объектов урбанизированных территорий Уральского региона характерны высокие концентрации марганца, цинка, железа, меди, а нередко еще и никеля, то особый интерес представляет вариант опыта с добавлением смеси этих металлов.

Побеги элодеи, выращенные на смеси металлов, были крепкими и зелеными и отличались максимальным приростом. В данном варианте растения по большинству параметров клеток достоверно от контроля не отличались, за исключением такого показателя, как длина клетки, которая была существенно ниже при добавлении смеси металлов. Имело место также некоторое уменьшение размеров хлоропластов. Но в целом такие условия, судя по всему, были достаточно благоприятными для роста и развития растений.

В природных экосистемах при загрязнении водной среды для большинства исследованных видов было характерно увеличение размеров клеток (Чукина, Борисова, 2010). Вероятно, это связано с накоплением не только поллютантов, но и веществ, способных играть протекторную роль при стрессах. Поскольку на внешнем облике исследуемых гидрофитов, обитающих в водных объектах с высокой антропогенной нагрузкой, токсическое действие поллютантов не отражалось, можно сделать вывод об адаптации растений к их повышенным концентрациям в природных водах.

лов резко возростала, и их совместное действие можно расценивать как проявление синергизма.

При сопоставлении изменений объёмов клеток и хлоропластов у элодеи, выращенной при повышенном содержании в среде тяжелых металлов, отчетливо видно, что при добавлении кадмия (0.1 мг/л) увеличение размеров клеток у элодеи сопровождалось увеличением объёма хлоропластов. Следует также отметить, что величина

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В модельных исследованиях достоверного увеличения размеров клеток ни в одном из вариантов не обнаружено. Данный факт свидетельствует о достаточно медленных темпах адаптации на уровне мезоструктуры листа. Кроме того, очевидно, что в условиях многокомпонентного загрязнения природных вод на структурно-функциональную организацию листа оказывают влияние не только металлы в повышенных концентрациях, но и широкий спектр соединений органической и неорганической природы, в том числе азотсодержащих.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение мезоструктуры листа растений в условиях стресса, вызванного действием тяжелых металлов, имеет важное значение, поскольку ее изменение можно рассматривать как проявление регуляции фотосинтеза в неблагоприятных условиях среды.

В результате проведения исследований с выращиванием *E. densa* в модельных условиях получены следующие выводы.

1. Характер изменений параметров мезоструктуры листа элодеи в условиях эксперимента зависел как от природы металла, так и его концентрации в среде.

2. Толщина листовой пластинки у растений элодеи, выросших в среде с добавлением железа, марганца и смеси ТМ, не отличалась от контрольных значений. Кадмий (0.1 мг/л), а также смеси никеля и кадмия вызывали увеличение толщины листа, никель в обеих концентрациях вызывал достоверное уменьшение данного параметра.

3. Объем клеток у элодеи по сравнению с контролем существенно уменьшался при выращивании растений при добавлении никеля и железа. Добавление кадмия не приводило к уменьшению размеров клеток, но оказало ингибирующее действие на рост листьев.

4. Объем хлоропластов у элодеи существенно уменьшался под влиянием никеля (0.05 и 0.1 мг/л), кадмия (0.05 мг/л) и железа (0.2 мг/л). Проявилась также тенденция к их уменьшению при добавлении смеси ТМ. Добавление в среду кадмия в концентрации 0.1 мг/л и смеси кадмия с никелем в такой же концентрации привело к увеличению размеров хлоропластов, что, очевидно, связано с их набуханием.

5. Выращивание растений в среде с добавлением смеси солей металлов в концентрациях, близких к их значениям в водных объектах при техногенном воздействии, не привело к существенному изменению параметров мезоструктуры. Очевидно, ионы металлов, дополняя друг друга, токсического действия не оказывали, что подтверждается наибольшей величиной прироста и хорошим состоянием листьев.

Таким образом, использование мезоструктурного подхода позволяет оценить пределы толерантности растений к загрязнению среды обитания, уточнить степень токсичности поллютантов и особенности проявления фотосинтетической регуляции на анатомо-морфологическом уровне. Очевидно, изменение параметров мезоструктуры листа гидрофитов в условиях стресса является одной из приспособительных реакций, которая отличается достаточно медленными темпами по сравнению с другими адаптациями.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт № 14.А18.21.0203) и гранта Президента РФ (МК 881.04.2010).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жиров В. К., Хаитбаев А. Х., Говорова А. Ф., Гонтарь О. Б. Взаимодействие структур различных уровней организации и адаптационные стратегии растений // Вестн. Мурманского гос. техн. ун-та. 2006. Т. 9, № 5. С. 725 – 728.

Зотикова А. П., Бендер О. Г., Собчак Р. О., Астафурова Т. П. Сравнительная оценка структурно-функциональной организации листового аппарата хвойных растений на территории г. Горно-Алтайска // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2007. № 299 (I). С. 197 – 200.

Капитонова О. А. К изучению анатомической структуры рогоза широколистного в условиях промышленного загрязнения // Удмуртия накануне третьего тысячелетия : тез. докл. науч.-практ. конф. Ижевск : Изд-во Удмурт. гос. ун-та, 1998. Ч. 2. С. 23 – 25.

Капитонова О. А. Особенности анатомического строения вегетативных органов некоторых видов макрофитов в условиях промышленного загрязнения среды // Экология. 2002. № 1. С. 64 – 66.

Кузнецова Л. Г., Семенова Г. А., Новичкова Н. С., Романова А. К. Структурно-функциональные изменения в листьях *Trifolium pratense* в условиях азотного стресса // Современная физиология растений: от молекул до экосистем : материалы докл. Междунар. конф. : в 3 ч. / Коми науч. центр УрО РАН. Сыктывкар, 2007. Ч. 2. С. 220 – 221.

Кулагин А. А. Особенности развития тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях загрязнения окружающей среды металлами // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2003. Т. 5, № 2. С. 334 – 341.

Матвеев В. И., Соловьева В. В., Саксонов С. В. Экология водных растений : учеб. пособие. 2-е изд., доп. и перераб. Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2005. 282 с.

Мокронос А. Т. Мезоструктура и функциональная активность фотосинтетического аппарата // Мезоструктура и функциональная активность фотосинтетического аппарата. Свердловск : Изд-во Урал. гос. ун-та, 1978. С. 3 – 17.

Мокронос А. Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М. : Наука, 1981. 196 с.

Нагалецкий В. Я., Николаевский В. Г. Экологическая анатомия растений : учеб. пособие. Краснодар : Изд-во Кубан. гос. ун-та, 1981. 88 с.

Определение мезоструктурных характеристик фотосинтетического аппарата растений : руководство к лабораторным занятиям большого спецпрактикума по физиологии и биохимии растений. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, 2006. 26 с.

Потокин А. Ф. Влияние стоков промышленно-животноводческих комплексов на фотосинтетическую активность болотных растений. Л. : Изд-во ЛГУ, 1984. 124 с.

Улицкая Ю. Ю. Влияние интегрального технокимического загрязнения на анатомическое строение мезофилла листьев *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. // Экология промышленного региона и экологическое образование : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Н. Тагил : Изд-во Нижнетагил. социально-пед. академии, 2004. С. 54.

Хан Л. В., Астафурова Т. П. Морфолого-функциональные адаптации хвойных деревьев к условиям городской среды // Актуальные вопросы экологической физиологии растений в XXI веке : материалы Междунар. конф. / Ин-т биологии Коми науч. центра УрО РАН. Сыктывкар, 2001. С. 245.

Чукина Н. В., Борисова Г. Г. Структурно-функциональные показатели высших водных растений из местообитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Биология внутренних вод. 2010. № 1. С. 49 – 56.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 581.9(470.44)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕСПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ORCHIDACEAE JUSS. НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРА НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

М. А. Березуцкий, Т. Б. Решетникова, Л. А. Серова, А. С. Кашин

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: berezutsky61@mail.ru*

Поступила в редакцию 17.11.11 г.

Экологическая деспециализация видов семейства Orchidaceae Juss. на территории севера Нижнего Поволжья. – Березуцкий М. А., Решетникова Т. Б., Серова Л. А., Кашин А. С. – Сообщается о находках на различных типах антропогенных местообитаний на севере Нижнего Поволжья в пределах Саратовской области (искусственных лесных насаждениях, насыпях, урбанизированных территориях) видов семейства орхидных (Orchidaceae). Особый интерес представляют находки в биотопах, созданных человеком, растений, занесенных в «Красную книгу Российской Федерации» (2008) – *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Cephalanthera longifolia* (Huds.) Fritsch., *Orchis militaris* L.

Ключевые слова: орхидные, антропогенные местообитания, охраняемое растение, Саратовская область.

Ecological despecialization of some species of the family Orchidaceae Juss. in the territory of the Northern Lower-Volga region. – Berezutski M. A., Reshetnikova T. B., Serova L. A., and Kashin A. S. – Findings of some species of the orchid family (Orchidaceae) on various types of anthropogenous habitats in the Saratov region (artificial wood plantings, embankments, and urbanized territories) are reported. Of particular interest are our findings of several plants from the 2008 Red Book of the Russian Federation in artificial biotopes, namely, *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Cephalanthera longifolia* (Huds.) Fritsch., and *Orchis militaris* L.

Keywords: orchid, anthropogenous habitats, protected plant, Saratov region.

Одним из актуальных направлений изучения процессов антропогенной трансформации флоры является выяснение способности аборигенных видов осваивать различные типы антропогенных местообитаний. Ранее мы приводили данные о тенденциях этого процесса во флоре южной части Приволжской возвышенности в целом (Березуцкий, 2010). Но наибольший интерес представляет адаптация к антропогенным местообитаниям охраняемых видов растений. Например, на антропогенных местообитаниях севера Нижнего Поволжья выявлено шесть видов папоротниковидных, из которых три – занесены в «Красную книгу Саратовской области» (2006) (Березуцкий, Павловский, 2009).

Среди охраняемых растений особое место занимают виды семейства орхидных (Orchidaceae), которые на большинстве территорий считаются наиболее уязвимыми и антропофобными. В «Красную книгу Саратовской области» (2006) зане-

сены 18 видов этого семейства. В обобщающей работе по орхидным Саратовской области Е. А. Киреев и О. В. Костецкий (2006) упоминают о находках *Neottia nidus-avis* (L.) Rich. в сосновых посадках Балаковского района и *Epipactis helleborine* (L.) Crantz в сосновых и дубовых посадках Духовницкого, Марковского и Энгельесского районов. В процессе детального изучения флоры различных типов антропогенных местообитаний севера Нижнего Поволжья в 1995 – 2011 гг. авторами статьи были получены новые сведения о приуроченности охраняемых видов орхидных к данным биотопам.

Наибольшая адаптационная активность видов орхидных севера Нижнего Поволжья отмечается в искусственных лесных насаждениях. В берёзовых и сосновых посадках Хвалынского района обнаружены *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. и *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Bess. (популяции содержат небольшое число особей). *Epipactis helleborine* (L.) Crantz. стабильно встречается в сосновых и лиственных посадках во многих районах области (Саратовский, Татищевский, Хвалынский, Базарно-Карабулакский и др.). Особый интерес представляет толерантность по отношению к среде искусственных лесов такого редкого вида, как *Cephalanthera longifolia* (Huds.) Fritsch. (берёзовые насаждениях Базарно-Карабулакского района – 15 особей). Ранее этот вид неоднократно указывался для естественных местообитаний Саратовской области (Конспект флоры..., 1983; Исаева, 2003; Аверьянов, 2006; Киреев, Костецкий, 2006; Худякова, 2006). Однако А. Г. Еленевский, Ю. И. Буланый, В. И. Радыгина, работая над новым «Конспектом флоры Саратовской области» (Еленевский и др., 2008), не только не смогли найти этот вид на территории данного региона, но и сочли все предыдущие указания сомнительными. Авторы «Флоры Нижнего Поволжья» (2006) считают, что вид собирался в Саратовской области лишь в конце XIX в. Также обращает на себя внимание тот факт, что плотность и численность особей *Platanthera bifolia* (L.) Rich. в берёзовых и сосновых искусственных насаждениях Базарно-Карабулакского района во многих случаях превышает таковые у этого вида в естественных местообитаниях. Возможно, это связано с более низким конкурентным давлением на этот вид со стороны других растений на антропогенных местообитаниях.

Адаптационная активность по отношению к техногенным местообитаниям на данный момент обнаружена лишь у *Orchis militaris* L. (насыпь автомобильной дороги в Краснокутском районе). Эта находка имеет принципиальное значение для подготовки третьего издания «Красной книги Саратовской области». Ранее вид многократно указывался для территории данной области (Конспект флоры..., 1983; Тарасов, Горин, 1986; Березуцкий и др., 1990; Киреев, 2000; Киреев, Костецкий, 2006) и был включен во второе издание «Красной книги Саратовской области» (Архипова и др., 2006; Решетникова, 2006). Однако Ю. И. Буланый (2010) счел все эти данные ошибочными и исключил вид из списка флоры Саратовской области. «Флора Нижнего Поволжья» (2006) также игнорирует все указания этого вида для Саратовского региона.

Среди видов различных ценоморф на антропогенных местообитаниях в целом лучше всего представлены силванты (таблица) – 66.7% от всех видов орхидных этой группы во флоре Саратовской области. Из различных типов антропогенных

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕСПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ВИДОВ

местообитаний для них наиболее благоприятными оказались искусственные лесные насаждения (как лиственные, так и хвойные). Пратанты единично обнаружены на техногенных биотопах. Палюданты полностью отсутствуют на антропогенных местообитаниях, что хорошо вписывается в общую картину исключительно высокой антропофобности видов данной ценоморфы в региональной флоре в целом (Березуцкий, 2010).

Адаптационная активность видов различных ценоморф сем. Orchidaceae на антропогенных местообитаниях Саратовской области, %

Ценоморфа	Искусственные лесные насаждения		Местообитания	
	лиственные	хвойные	Техногенные	Урбанизированные
Сильвант	55.5	44.4	–	11.1
Пратант	–	–	16.7	–
Палюдант	–	–	–	–

Таким образом, на данный момент на антропогенных местообитаниях севера Нижнего Поволжья выявлены популяции семи видов орхидных (38.9% из занесенных в Красную книгу Саратовской области). Представители данного семейства осваивают местообитания, созданные человеком, как на правобережной, так и на заволжской части региона. В связи с тем, что многие орхидные севера Нижнего Поволжья обладают заметным адаптационным потенциалом по отношению к антропогенным местообитаниям, возможно, стоит рассмотреть вопрос об изменении категории и статуса некоторых видов данного семейства в «Красной книге Саратовской области» (2006). Но для этого необходимо провести дополнительные мониторинговые исследования для изучения динамики популяций орхидных на антропогенных биотопах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверьянов Л. В.* Сем. Orchidaceae Juss. – Орхидные, или Ятрышниковые // Флора средней полосы европейской части России. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. С. 162 – 174.
- Архипова Е. А., Березуцкий М. А., Болдырев В. А., Буланая М. В., Буланый Ю. И., Костецкий О. В., Маевский В. В., Панин А. В., Протоклимова Т. Б., Решетникова Т. Б., Серова Л. А., Степанов М. В., Стуков В. И., Худякова Л. П., Черепанова Л. А., Шилова И. В.* Виды грибов, лишайников и растений, рекомендуемых для внесения во второе издание Красной книги Саратовской области // Поволж. экол. журн. 2006. Вып. спец. С. 18 – 28.
- Березуцкий М. А.* Адаптация флоры южной части Приволжской возвышенности к антропогенному воздействию // Поволж. экол. журн. 2010. № 3. С. 230 – 240.
- Березуцкий М. А., Павловский А. М.* Особенности распространения и некоторые аспекты экологии папоротниковидных в антропогенных местообитаниях на севере Нижнего Поволжья // Поволж. экол. журн. 2009. № 1. С. 62 – 64.
- Березуцкий М. А., Дайковский В. С., Забалуев А. П., Колоскова И. Г., Наполов И. П., Рябова Т. П., Терешкова Т. В.* Флора Саратовской области : в 8 ч. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1990. Ч. 7. 88 с.
- Буланый Ю. И.* Флора Саратовской области : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2010. 56 с.

Еленевский А. Г., Буланый Ю. И., Радыгина В. И. Конспект флоры Саратовской области. Саратов : Изд. центр «Наука», 2008. 232 с.

Исаева О. А. Флора северо-востока Саратовского Правобережья (современное состояние, динамика развития, критерии редкости) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2003. 20 с.

Киреев Е. А. Орхидные приерусланских песков Саратовской области // Флористические и геоботанические исследования в Европейской России. Саратов : Изд-во Саратов. гос. пед. ин-та, 2000. С. 21 – 23.

Киреев Е. А., Костецкий О. В. Семейство Orchidaceae Juss. в Саратовской области // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2006. № 1. С. 111 – 122.

Конспект флоры Саратовской области : в 4 ч. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1983. Ч. 4. 64 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов : Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.

Решетникова Т. Б. Ятрышник шлемовидный // Красная книга Саратовской области: Грибы, лишайники, растения, животные. Саратов : Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратов. обл., 2006. С.106.

Тарасов А. О., Горин В. И. Приерусланские пески как убежище редких видов растений // Бот. журн. 1986. Т. 71, № 12. С. 1689 – 1691.

Флора Нижнего Поволжья. Т. 1. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. 435 с.

Худякова Л. П. Пыльцеголовник длиннолистный // Красная книга Саратовской области : Грибы, лишайники, растения, животные. Саратов : Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратов. обл., 2006. С.103.

УДК [581.55:582.632.2](574.11)

БАЙРАЧНЫЕ ДУБРАВЫ БАССЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. УРАЛ КАК КЛЮЧЕВЫЕ БОТАНИЧЕСКИЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. В. Воронкова

*Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, Оренбург, Пионерская, 11
E-mail: evdokimova.e@list.ru*

Поступила в редакцию 03.08.10 г.

Байрачные дубравы бассейна среднего течения р. Урал как ключевые ботанические территории Западно-Казахстанской области. – Воронкова Е. В. – Рассматриваются вопросы организации новых форм особо охраняемых природных территорий в Западно-Казахстанской области. Даются теоретические предпосылки создания, методы и подходы к выделению ключевых ботанических территорий (КБТ) согласно методическим указаниям европейской программы по КБТ. Байрачные дубравы, расположенные в крупных оврагах и балках среди типчаково-ковыльных степей Подуральского плато и Общего Сырта, рассмотрены как КБТ региона исследования. Показана уникальность растительного покрова изучаемых дубрав и необходимость организации их охраны. По результатам изучения растительного покрова исследуемые байрачные дубравы идентифицированы как КБТ.

Ключевые слова: ключевые ботанические территории, биоразнообразие, байрачные дубравы, флора, редкие виды, уникальные сообщества, местообитание, критерии.

Ravine Oak forests of Ural River middle reach basin as Important Plant Areas of West Kazakhstan region. – Voronkova E. V. – The paper considers organizing new forms of specially protected nature areas in the West-Kazakhstan Region. It gives theoretical pre-requisites for organizing, methods and approaches to resolve Important Plant Areas (IPA) according to the European IPA Program guidelines. Oak forests located in large ravines and gullies amidst sheep fescue and feather grass steppes of the Poduralskoye Plateau and Obshy Syrt are considered as Important Plant Areas of the region under survey. The uniqueness of the plant cover of the studied oak forests and the necessity of their protection are shown. As a result of our plant cover study, the ravine oak forests analyzed are identified as IPA.

Key words: Important Plant Areas, biodiversity, ravine oak forests, flora, rare species, unique community associations, habitat, criteria.

Ландшафты Западно-Казахстанской области характеризуются высокой степенью разнообразия растительного покрова. Особое место в их составе занимают своеобразные байрачные дубравы, расположенные в крупных оврагах и балках среди типчаково-ковыльных степей Подуральского плато и Общего Сырта. Необходимо отметить, что видовой состав дубрав уникален, причём многие виды и сообщества находятся на юго-восточном пределе распространения.

Экстенсивное развитие сельского хозяйства, вырубка лесов, пожары, освоение нефтегазовых месторождений и другие антропогенные факторы представляют прямую угрозу сохранению флористического разнообразия дубрав. В связи с этим возникает необходимость разработки и организации мероприятий по охране уникальных природных объектов Западно-Казахстанской области.

В настоящее время основная роль по сохранению естественных растительных сообществ и восстановлению нарушенных ландшафтов отводится особо охраняемым природным территориям (ООПТ). В связи с продолжающимся ухудшением состояния окружающей среды роль ООПТ в стабилизации природных экосистем и как источника восстановительного потенциала окружающей среды возрастает. В Западно-Казахстанской области созданы и функционируют 10 особо охраняемых природных территорий на площади 450.1 тыс. га. Однако если учесть, что площадь области составляет 15133.9 тыс. га, можно сделать вывод о недостаточной репрезентативности сети особо охраняемых природных территорий и необходимости разработки новых форм ООПТ, в которых наиболее важными аспектами сохранения растительного мира являются выявление, инвентаризация и сохранение редких видов растений и мест их обитания.

Учеными Западно-Казахстанской области, проводившими многочисленные исследования по изучению растительного покрова байрачных дубрав, неоднократно указывалось на уникальность и необходимость включения их в сеть особо охраняемых природных территорий области, тем не менее до сих пор они по разным причинам не были включены в природоохранные мероприятия (Петренко и др., 1998; Дарбаева, Евдокимова, 2007).

Одним из возможных путей решения этой проблемы является создание ключевых ботанических территорий (КБТ), основная задача которых – выявить и защитить наиболее важные участки и места обитания особо ценных видов растений.

Ключевые ботанические территории (Important Plant Areas) – территории, имеющие большое значение для находящихся под угрозой исчезновения видов, мест их обитания и растительного разнообразия в целом, которые можно выявить, сохранить и которыми можно управлять как территориями (Андерсон, 2003).

Согласно методическому руководству по выделению КБТ при выборе участков необходимо руководствоваться критериями, основными из которых являются:

А: на участке имеется крупная популяция одного или нескольких видов растений, представляющих большую ценность в общемировом или европейском масштабе (на участке есть виды, признанные находящимися под угрозой);

В: участок характеризуется флорой, необычайно богатой для своей биогеографической зоны в европейском масштабе (на участке произрастает большое количество видов, свойственных для определенного типа местообитаний);

С: участок представляет собой уникальный образец типа местообитания, представляющего ценность в европейском или общемировом масштабе.

В свою очередь, критерии «А» и «С» подразделяются на ряд категорий:

Аi: виды, находящиеся под угрозой в глобальном масштабе;

Аii: виды, находящиеся под угрозой в Европе;

Аiii: эндемики, не вошедшие в предыдущие два критерия;

Аiv: субэндемичные, находящиеся под угрозой виды;

Сi: на участке есть приоритетные местообитания, находящиеся под угрозой;

Сii: на участке есть местообитания, находящиеся под угрозой.

Данная программа позволяет оценить, какая часть ключевых ботанических территорий уже взята под охрану существующими системами охраны и какие из этих территорий нуждаются в лучшей охране.

Объектами нашего исследования являются балки Воровская, Ахмадеевская и балка «Каинсай», расположенные среди типчаково-ковыльных степей на левобережье р. Урал.

Воровская балка (рис. 1) – это довольно крупная балка, площадью около 15 га, расширенная часть которой переходит в пойму р. Урал. Уникальность данного объекта заключается в том, что многие встречающиеся здесь виды являются редкими и участвуют в сложении уникальных сообществ. В древесном ярусе преобладают *Quercus robur* L. и *Betula pendula* Roth., в травянистом ярусе доминантами являются *Convallaria majalis* L. и *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.

Южный склон балки более крутой. Здесь формируются такие сообщества, как папоротниковые и ландышевые дубравы (*Quercus robur*, *Matteuccia struthiopteris*), (*Quercus robur*, *Convallaria majalis*), ландышевые и купеновые березняки (*Betula pendula*, *Convallaria majalis*), (*Betula pendula*, *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce).

Вершины склонов заняты тополевыми (*Populus alba* L.). В кустарниковом ярусе доминантом является *Cerasus fruticosa* Pall. Среди кустарников также встречаются *Amygdalus nana* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Crataegus sanguinea* Pall., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Lonicera tatarica* L., *Prunus spinosa* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Spiraea hypericifolia* L., а среди полукустарников *Rubus caesius* L. В нижней части склонов отмечены заросли *Euonymus verrucosa*.

Древесный ярус северного склона разрежен и представлен такими видами, как *Betula pendula*, *Populus alba*, *Ulmus laevis* Pall. В центральной части южного склона произрастают ландышевые березняки (*Betula pendula*, *Convallaria majalis*). В травянистом ярусе склонов Воровской балки отмечены влаголюбивые растения *Equisetum sylvaticum* L., *Heracleum sibiricum* L., *Convallaria majalis*, *Polygonatum odoratum* и др.

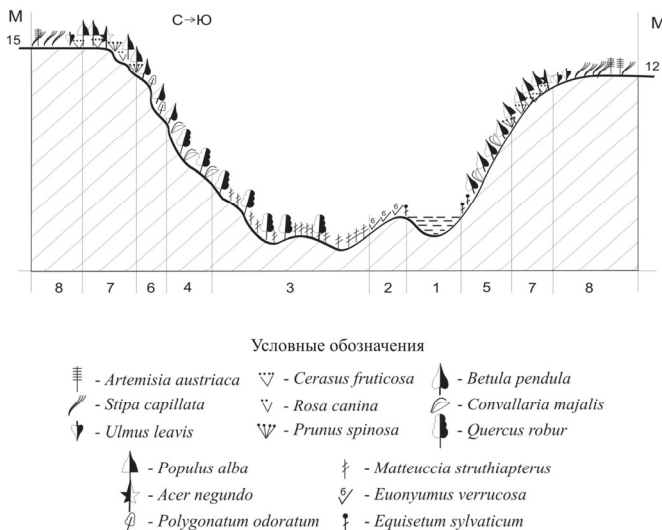


Рис. 1. Схема распределения растительных сообществ в Воровской балке: 1 – ручей, 2 – заросли бересклета (*Euonymus verrucosa*), 3 – дубрава папоротниковая (*Quercus robur*, *Matteuccia struthiopteris*), 4 – дубрава ландышевая (*Q. robur*, *Convallaria majalis*), 5 – березняк ландышевый (*Betula pendula*, *C. majalis*), 6 – березняк купеновый (*B. pendula*, *Polygonatum odoratum*), 7 – вишнево-тополевые сообщества (*Populus alba*, *Cerasus fruticosa*), 8 – полынково-тырсовые сообщества (*Artemisia austriaca*, *Stipa capillata*)

По тальвегу балки среди зарослей кустарников протекает ручей, а ее днище занято мезофитной травянистой растительностью. Здесь отмечены *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Equisetum pratense* Ehrh., *E. sylvaticum*, *Urtica dioica* L. и др.

Ахмадеевская балка (рис. 2) – небольшая балка с пологими склонами, площадь которой составляет около 0.5 га. По склонам и днищу балки также развива-

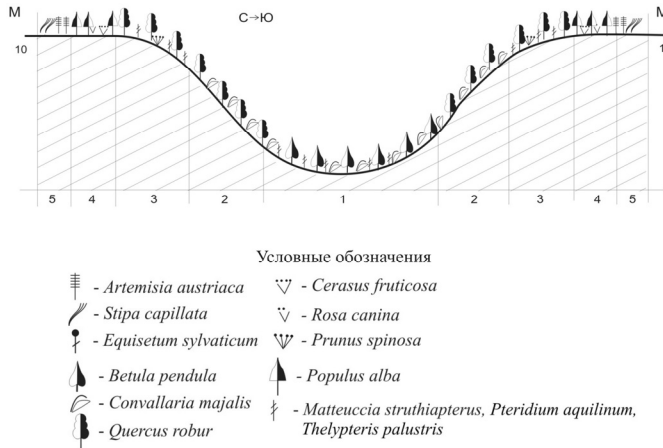


Рис. 2. Схема распределения растительных сообществ в Ахмадеевской балке: 1 – березняк ландышевый (*Betula pendula*, *Convallaria majalis*) и папоротниковый (*B. pendula*, *Thelypteris palustris*), 2 – дубрава ландышевая (*Quercus robur*, *C. majalis*), 3 – дубрава папоротниковая (*Quercus robur*, *Matteuccia struthiopteris*) и (*Q. robur*, *Pteridium aquilinum*), 4 – вишнево-тополевые сообщества (*Populus alba*, *Cerasus fruticosa*), 5 – полынно-тырсовые сообщества (*Artemisia austriaca*, *Stipa capillata*)

ются уникальные для региона сообщества. В верхней части северного и южного склонов балки произрастают папоротниковые дубравы (*Quercus robur*, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), (*Quercus robur*, *Matteuccia struthiopteris*), в нижней части склонов доминируют ландышевые дубравы (*Quercus robur*, *Convallaria majalis*). Днище балки занято ландышевыми и папоротниковыми березняками (*Betula pendula*, *Convallaria majalis*), (*Betula pendula*, *Thelypteris palustris* Schott). Кустарниковый ярус южного

склона и дна балки сильно разрежен и представлен *Lonicera tatarica*, *Rosa canina*, *Spiraea hypericifolia* и др. Вершины Ахмадеевской балки заняты вишнево-тополевыми сообществами (*Populus alba*, *Cerasus fruticosa*). Среди кустарников на плакоре балки встречаются густые заросли *Amygdalus nana*, а по склонам и на дне балки отмечены разреженные заросли *Euonymus verrucosa*.

Балка «Каинсай» (рис. 3) представляет собой глубокий овраг, площадью около 2 га. Вершины склона заняты осинниками и тополевниками. На крутых склонах балки и на дне получили развитие редкие для региона виды и растительные сообщества, такие как купеновые, ландышевые и хвощевые березняки (*Betula pendula*, *Polygonatum odoratum*); (*Betula pendula*, *Convallaria majalis*); (*Betula pendula*, *Equisetum sylvaticum*). Среди древесных видов в балке встречаются *Quercus robur*, *Ulmus laevis*. Кустарниковый ярус сильно разрежен и представлен *Cerasus fruticosa*, *Lonicera tatarica*, *Prunus spinosa*, *Rosa canina*, *Spiraea hypericifolia*. Доминантами травянистого яруса склонов и дна балки является *Equisetum sylvaticum* и *E. pratense*.

БАЙРАЧНЫЕ ДУБРАВЫ БАССЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. УРАЛ

Таким образом, во флоре исследуемых дубрав нами зарегистрировано 192 видов растений, среди которых 14 являются редкими, занесенными в Красную книгу Казахстана (*Convallaria majalis*, *Quercus robur*) (Красная книга Казахской ССР, 1981) и Зелёную книгу Западно-Казахстанской области (*Euonymus verrucosa*, *Fritillaria meleagroides* Patr. ex Schult. & Schult. f., *Matteuccia struthiopteris*, *Pteridium aquilinum*, *Polygonatum odoratum*, *Viola canina*, *Spiraea hypericifolia*) и другие виды (Петренко, 2001).

В связи с этим согласно критериям, определенным в методическом указании Европейской программы по созданию ключевых ботанических территорий (Андерсон, 2003), мы идентифицируем Воровскую, Ахмадеевскую балки и балку «Каинсай» по критериям: «А» – наличие редких, исчезающих и нуждающихся в особом контроле видов; «В» – участок характеризуется флорой, необычайно богатой для своей биогеографической зоны; «С» – участок представляет собой уникальный образец типа местообитания.

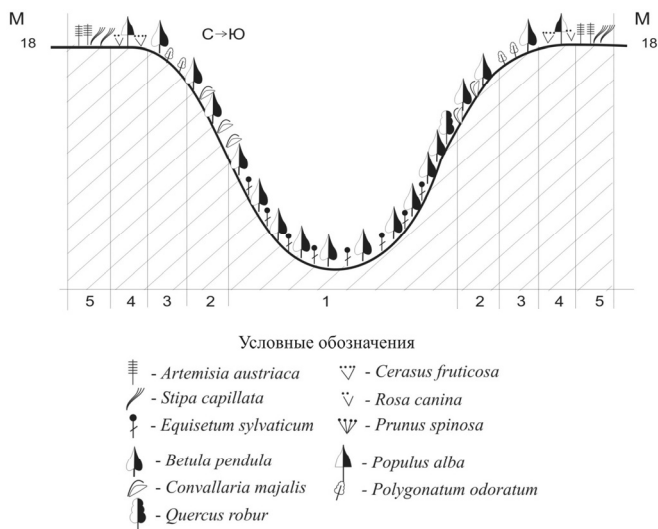


Рис. 3. Схема распределения растительных сообществ в балке «Каинсай»: 1 – березняк хвощевый (*Betula pendula*, *Equisetum sylvaticum*), 2 – березняк ландышевый (*B. pendula*, *Convallaria majalis*), 3 – березняк купеновый (*B. pendula*, *Polygonatum odoratum*), 4 – вишнево-тополевые сообщества (*Populus alba*, *Cerasus fruticosa*), 5 – полыново-тырсовые сообщества (*Artemisia austriaca*, *Stipa capillata*)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андерсон Ш. Идентификация ключевых ботанических территорий : руководство по выбору участков в Европе и основа развития этих правил для всего мира. М., 2003. 39 с.
- Дарбаева Т. Е., Евдокимова Е. В. Сохранение флористического разнообразия Западно-Казахстанской области путем организации ключевых ботанических территорий на Общем Сырте // Вестн. Оренб. гос. ун-та. 2007. С. 83 – 87.
- Красная книга Казахской ССР. Ч. 2. Растения. Алма-Ата : Наука КазССР, 1981. 260 с.
- Петренко А. З., Джубанов А. А., Фартушина М. М., Иркалиева Р. М., Дарбаева Т. Е., Кольченко О. Т., Чернышов Д. М. Природно-ресурсный потенциал и проектируемые объекты заповедного фонда Западно-Казахстанской области. Уральск : Изд-во Зап.-Казахстан. гос. ун-та, 1998. 176 с.
- Петренко А. З., Джубанов А. А., Фартушина М. М., Чернышов Д. М., Тубетов Ж. М. Зеленая книга Западно-Казахстанской области. Кадастр объектов природного наследия. Уральск : Изд-во Зап.-Казахстан. гос. ун-та, 2001. 194 с.

УДК [591.5:598.2](282.247.417)

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ ПТИЦ
ТРОСТНИКОВЫХ ЗАРОСЛЕЙ
СРЕДНЕЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

В. В. Пискунов¹, М. Л. Опарин²

¹ *Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83*

² *Саратовский филиал Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 410028, Саратов, Рабочая, 24
E-mail: oparinml@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.09.12 г.

Структурные особенности сообществ птиц тростниковых зарослей средней зоны Волгоградского водохранилища. – Пискунов В. В., Опарин М. Л. – Изучено соотношение видов птиц в тростниковых зарослях сильно измененного зарегулированием участка Нижней Волги. Выявлены две группы сообществ птиц, различающиеся по своей структурной организации. Большая их часть сходна с типичными вариантами пойменных сообществ, остальные имеют в своей структуре элементы, сближающие их с сообществами птиц тростниковых зарослей водоёмов Заволжья.

Ключевые слова: структура сообществ птиц, тростниковые заросли, Волгоградское водохранилище.

Structure peculiarities of reed brake birds communities of the middle zone of the Volgograd reservoir. – Piskunov V. V. and Oparin M. L. – Species correlations in several type of reed brake habitats were studied in a very changed plot of the Lower Volga. Two structurally different groups of bird communities were revealed. Some communities are similar with the flood plain bird communities while the others are with the Trans-Volga pond bird ones.

Key words: bird community structure, reed brake, Volgograd reservoir.

Волгоградское водохранилище по характеру затопления делится на три зоны: верхнюю – от г. Балакова до г. Саратова, среднюю – от г. Саратова до г. Камышина, нижнюю – от г. Камышина до плотины Волжской ГЭС. К северу от г. Саратова после заполнения ложа водохранилища сохранились пойменные экосистемы, в различной степени измененные подтоплением. Южнее произошло разрушение пойменного ландшафта, образовались обширные мелководья и заполнились водой пониженные участки надпойменной террасы (Зубенко, 1964; Леонтьев, Деев, 1975; Государственный водный кадастр, 1985).

Тростник (*Phragmites communis* Trin.), встречавшийся до этого в значительном количестве только по берегам озёр центральной поймы, в новых условиях стал быстро распространяться по мелководьям. Постепенно по всей затопленной внутренней части поймы возникли обширные тростниковые заросли, особенно значительные у левого берега водохранилища на участках Энгельс – Узморье, Ровное – Красный Яр, а также в восточной части Ерусланского залива. Тростниковые сообщества формируются в составе воздушно-водной и прибрежно-водной раститель-

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ ПТИЦ

ности; по мелководьям, а также на низких заиленных аллювиальных новообразованиях, в условиях продолжительного затопления, образуются смешанные заросли тростника и рогоза (*Typha angustifolia* L.), на несколько повышенных участках – ивняково-тростниковые, осоково-тростниковые и злаково-тростниковые сообщества. По характеру их распределения выделяют сплошное зарастание, наиболее характерное для пойменных озёр и небольших заливов, поясной тип – выражен вдоль протоков, заостровных мелководий, устьев рек, и фрагментарный тип зарастания – отмечен на больших площадях отмелей (Фурсаев, 1943; Пискунов, 2002; Биоразнообразие..., 2011).

Состав и структура сообществ птиц тростниковых зарослей изучались на вышеобозначенных участках с обширными тростниковыми зарослями у левого берега водохранилища в 2010 – 2012 гг. Основное внимание уделялось поиску ранее не отмеченных в данном типе местообитаний птиц и соотношению структурно значимых видов. На семи площадках проводился количественный учет методом маршрутного картографирования в варианте, для которого известны временные затраты, позволяющие получить точные данные о структуре сообществ (Пискунов, Давиденко, 2004; Christman, 1984; Podolsky, 1997). Для уточнения соотношения близких видов камышенок велся учет отлов птиц паутиными сетями с последующим их кольцеванием. При учете тростниковой камышевки (*Acrocephalus scirpaceus* Herman, 1804) придерживались специальных рекомендаций (Реуцкий, 1989; Barowicz, Ranoszek, 1984). Для выделения структурно значимых видов учитывались категории, характеризующие степень участия вида в сообществе и используемые в синэкологических исследованиях (Дерунков, 2000; Renkonen, 1938).

В гнездовой период в средней зоне Волгоградского водохранилища для 29 видов птиц выявлены территориальные связи с тростниковыми зарослями: *Botaurus stellaris*, *Ixobrychus minutus*, *Nycticorax nycticorax*, *Egretta alba*, *Ardea cinerea*, *Ardea purpurea*, *Anser anser*, *Cygnus olor*, *Anas platyrhynchos*, *Circus aeruginosus*, *Porzana porzana*, *Porzana parva*, *Gallinula chloropus*, *Fulica atra*, *Larus ridibundus*, *Larus cachinnans*, *Cuculus canorus*, *Motacilla flava*, *Motacilla lutea*, *Motacilla citreola*, *Locustella luscinioides*, *Acrocephalus schoenobaenus*, *Acrocephalus agricola*, *Acrocephalus scirpaceus*, *Acrocephalus arundinaceus*, *Luscinia svecica*, *Panurus biarmicus*, *Remiz pendulinus*, *Emberiza schoeniclus*.

Число гнездящихся видов в 1.6 раз больше по сравнению с эколого-фаунистическими исследованиями середины 1990-х гг. (Пискунов, 1998). Самые богатые в видовом отношении сообщества птиц приурочены к приграничным участкам Саратовской и Волгоградской областей, а также к устьям рек, впадающих в Ерусланский залив. Однако две трети (69%) выявленных видов встречаются спорадично и принимают незначительное участие в организации сообществ, являясь субрецидентными (третьестепенными) по значимости. Используя классы доминирования и оценки относительного обилия, авторы выделили девять структурно значимых видов. Соотношение доминантных, субдоминантных и рецидентных видов указано в таблице.

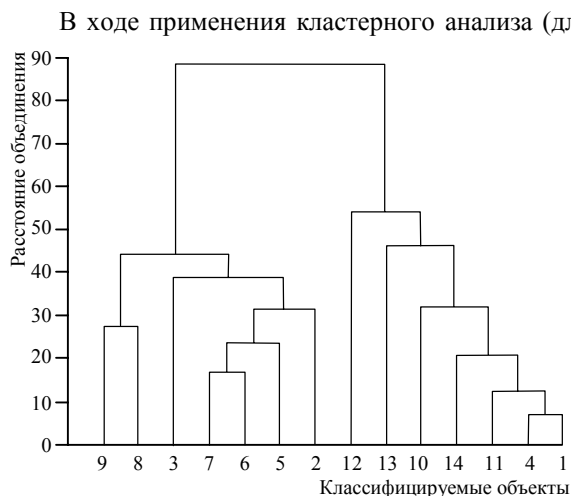
Для определения структурных особенностей изученных сообществ птиц проведено сравнение (по сходству) их с типичными пойменными вариантами (сохранившимися севернее г. Саратова в верхней зоне водохранилища) и с сообществами тростниковых зарослей водоёмов саратовского Заволжья. На этих территориях

подобные местообитания широко распространены, и имеются аналогичные данные по относительному обилию (Пискунов, Беляченко, 2001; Опарина и др., 2007).

Соотношение структурно значимых видов птиц в тростниковых зарослях на различных участках средней зоны Волгоградского водохранилища, %

Вид	Пункт исследования						
	Белявка	Бережновка	Чербаево	Н. Тихонов	Красный Яр	Квасниковка	Береговой
<i>Acrocephalus agricola</i>	56.7	25.0	6.3	61.3	–	8.9	–
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	13.3	17.2	47.9	13.1	23.2	29.9	24.3
<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	4.5	–	–	1.2	–	6.0	12.9
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	3.3	37.5	22.9	1.9	46.5	37.3	35.7
<i>Emberiza schoeniclus</i>	3.3	3.1	4.2	4.4	8.9	10.4	4.3
<i>Locustella luscinioides</i>	2.2	3.1	2.1	1.2	7.1	3.0	1.4
<i>Luscinia svecica</i>	5.6	9.4	8.3	3.1	14.3	–	8.6
<i>Motacilla flava</i>	3.3	–	–	6.3	–	–	–
<i>Panurus biarmicus</i>	7.8	4.7	8.3	7.5	–	4.5	12.8

Примечание. Указан населенный пункт, вблизи которого проводились исследования.



Кластерная диаграмма, объединяющая сообщества птиц тростниковых зарослей по сходству их структурной организации. Сообщества птиц: 1 – 7 – средней зоны Волгоградского водохранилища; 8, 9 – типичные для поймы верхней зоны; 10 – 14 – характерные для Заволжья

В ходе применения кластерного анализа (для объединения объектов использовался метод дальнего соседа, а в качестве меры – евклидово расстояние) выявлены две группы сообществ птиц тростниковых зарослей, различающиеся по своей структурной организации (рисунок). В первую группу вошли сообщества, типичные для участков водохранилища, где сохранился естественный пойменный ландшафт, и большая часть (71%) анализируемых сообществ средней зоны. Во вторую группу объединены сообщества, приуроченные к тростниковым зарослям Ерусланского залива и водоёмов саратовского Заволжья.

В целом по своим структурным характеристикам современные сообщества птиц

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ ПТИЦ

тростниковых зарослей средней зоны Волгоградского водохранилища (на участках, где сохранились фрагменты пойменного ландшафта и вдоль подтопленных низин первой надпойменной террасы) представляют собой трансформированные варианты исходных сообществ, но на месте разрушенного ландшафта (на зарастающих мелководьях) сформировались сообщества, сходные с заволжскими.

Выявленные особенности сообществ птиц тростниковых зарослей из различных участков поймы являются следствием увеличения вариативности структуры тростниковых местообитаний, прогрессирующего роста площадей, сформированных устойчивыми сообществами с доминированием тростника, и увеличения времени их заселения птицами разных видов. На значимость последнего фактора указывает отсутствие постоянного гнездового населения птиц в слабо сформированных фрагментированных зарослях по открытым мелководьям водохранилища. Указанная выше тенденция постепенного повышения разнообразия сообществ птиц тростниковых зарослей наряду с высокой суммарной плотностью птичьего населения подчеркивает значимость этого типа местообитаний для поддержания биоразнообразия и продуктивности экосистем зарегулированного участка Нижней Волги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Биоразнообразие и охрана природы в Саратовской области : в 3 кн. Кн. 3. Растительность / под ред. В. А. Болдырева, Г. В. Шляхтина. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. 240 с.

Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 24 : Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 517 с.

Дерунков А. В. Сообщества стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) в разновозрастных сосновых культурах Беловежской Пущи (Белоруссия) // Энтомологическое обозрение. 2000. Т. 79, № 3. С. 593 – 598.

Зубенко Ф. С. Берега Волгоградского водохранилища // Материалы к изучению перформирования берегов Волгоградского водохранилища. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1964. С. 78 – 124.

Леонтьев Г. И., Деев Л. В. О строении поймы ниже Саратова // Тр. комплексной экспедиции Саратовского университета по изучению Волгоградского и Саратовского водохранилищ. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975. Вып. 5. С. 14 – 15.

Опарина О. С., Опарин М. Л., Илиева М. Н. Сообщества мелких воробьиных птиц тростниковых зарослей саратовского Заволжья // Поволж. экол. журн. 2007. № 2. С. 130 – 139.

Пискунов В. В. Растительность пойменно-островных экосистем Волгоградского водохранилища // Бюл. Бот. сада Саратов. ун-та. 2002. Вып. 1. С. 23 – 31.

Пискунов В. В. Влияние природных и антропогенных факторов на структуру и динамику сообществ птиц в пойменно-островных экосистемах Волгоградского водохранилища : дис. ... канд. биол. наук. Самара, 1998. 226 с.

Пискунов В. В., Беляченко А. В. Структура и динамика сообществ птиц в пойменно-островных экосистемах Волгоградского водохранилища // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. 2001. Сер. биол. Вып. спец. С. 27 – 39.

Пискунов В. В., Давиденко Т. Н. Перспективы оптимизации временных затрат при описании растительных сообществ в экологических исследованиях лесных птиц // Бюл. Бот. сада Саратов. ун-та. 2004. Вып. 3. С. 73 – 77.

Реуцкий Н. Д. Особенности учета мелких воробьиных птиц в тростниково-рогозовых зарослях дельты Волги // Всесоюз. совещ. по проблеме кадастра и учета животного мира. Уфа : Башкир. кн. изд-во, 1989. Ч. 1. С. 398 – 400.

Фурсаев А. Д. Растительность поймы Нижней Волги : дис. ... д-ра биол. наук. Саратов, 1943. 480 с.

Barowiec M., Ranoszek E. The accuracy of the combined version of the mapping method in the reedbed habitat on the example of reed warbler *Acrocephalus scirpaceus* // Ring. 1984. T. 10, № 118 – 119. S. 237 – 241.

Christman S. P. Plot mapping: estimating densities of breeding bird territories by combining spot mapping and transect techniques // Condor. 1984. Vol. 86, № 3. P. 237 – 241.

Podolsky A. L. A test for the efficiency of the transect mapping method of census of forest communities of breeding birds as compared to other existing techniques. M.S. Thesis. Yale University. 1997. 52 p.

Renkonen O. Statisch – ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore // Ann. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo. 1938. № 6. P. 1 – 231.

УДК 595.762.12(470.44)

**GEORISSIDAE (COLEOPTERA: HYDROPHILOIDEA) –
НОВОЕ СЕМЕЙСТВО ОКОЛОВОДНЫХ ЖЁСТКОКРЫЛЫХ
В ФАУНЕ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

А. С. Сажнев

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: sazh@list.ru*

Поступила в редакцию 23.12.11 г.

Georissidae (Coleoptera: Hydrophiloidea) – новое семейство околотоводных жёсткокрылых в фауне Саратовской области. – Сажнев А. С. – Семейство Georissidae (Coleoptera) впервые отмечено для территории Саратовской области. Приведены современные находки *Georissus* (s. str.) *crenulatus* (Rossi, 1794) с территории области, дана краткая характеристика локалитетов вида, уточнено распространение Georissidae в соседних регионах.

Ключевые слова: Coleoptera, Georissidae, *Georissus crenulatus*, прибрежные биотопы, Саратовская область.

Georissidae (Coleoptera: Hydrophiloidea) as a new riparian beetle family in the Saratov regional fauna. – Sazhnev A. S. – The family Georissidae (Coleoptera) is recorded for the Saratov regional fauna for the first time. Modern records of *Georissus* (s.str.) *crenulatus* (Rossi, 1794) in the Saratov region are listed, a short description of its biotopes is given, and the geographic distribution of this family in the adjacent territories is clarified.

Key words: Coleoptera, Georissidae, *Georissus crenulatus*, riparian biotops, Saratov region.

Georissidae Laporte, 1840 – небольшое семейство жёсткокрылых, включающее всего один род *Georissus* Latreille, 1809, представленный во всех зоогеографических областях.

Личинки и имаго связаны с различными типами грунта, обитают в прибрежной зоне водоёмов. Личинки-хищники охотятся на мелких беспозвоночных, таких как личинки мух и нематоды (Hansen, 2000). Взрослые особи – сапрофаги, питаются разлагающимися органическими остатками (Hebauer, 1998). У некоторых видов верхняя сторона тела имаго покрыта слоем ила или грязи, что зачастую усложняет поиск жуков при сборе материала. Имаго нередко летят на свет. Систематическое положение этой группы выяснено недостаточно, не раз изменялось, предполагают, что она имеет много общих черт с Hydrophilidae (Crowson, 1981; Lawrence, Newton, 1995; Hebauer, 2004; Bernhard et al., 2009).

В «Мировом каталоге» (Hansen, 1999) семейство насчитывает 77 видов. К 2010 г. было описано еще как минимум 3 вида (Fikáček, Trávníček, 2009; Makhan, 2009; Fikáček, Falamarzi, 2010). Таким образом, объём семейства – не менее 80 видов. В «Каталоге Палеарктики» (Hansen, 2004) приведено 19 видов, с учетом описания *Georissus* (*Neogeorissus*) *chameleo* Fikáček, Trávníček, 2009 и *G. (N.) persicus* Fikáček, Falamarzi, 2010 список расширен до 21 вида. В европейской и ближневосточной фауне широко распространены пять видов *Georissus*: *G. (s. str.) crenulatus*

(Rossi, 1794), *G. (s. str.) substriatus* Heer, 1841, *G. (N.) caelatus* Erichson, 1847, *G. (N.) costatus* Castelnau, 1840 и *G. (N.) laescollis* Germar, 1831 (Steffan, 1979; Fikáček, Falamarzi, 2010).

Для России окончательного списка Georissidae нет, по прогнозам разных авторов в России может встречаться до 7 видов геориссид (Лафер, 1989; Кирейчук, 2001; Hansen, 2004), в настоящее время зарегистрировано 5 видов (Litovkin, Fikáček, 2011).

В Саратовской области виды рода *Georissus* ранее отмечены не были. Из соседних регионов имеются данные о наличии *G. (s. str.) crenulatus* в Татарстане (личное сообщение Д. А. Клёмина), в Ульяновской области (Исаев, Сысоенков, 2000), в Самарской области (Сачков, Краснобаев, 1998). По неопубликованным материалам А. В. Бурдаева, для Самарской области есть и современные находки вида – личное сообщение С. В. Литовкина. *G. (s. str.) crenulatus* известен также из Волгоградской области (личное сообщение О. Г. Брехова). *G. (N.) costatus* найден в Воронежской, Самарской и Оренбургской областях (Litovkin, Fikáček, 2011), имеется материал из Тамбовской области (сообщение Р. Н. Ишина).

Сбор материала в Саратовской области проводился в ходе экспедиций на берегах различных типов водоёмов в период 2010 – 2011 гг. Подходящие участки берега заплескивались водой или уплотнялись, а вышедшие из укрытий жуки выбирались пинцетом или с помощью эксгаустера. Фиксация производилась этилацетатом. Материал раскладывался на ватные матрасики, а позже монтировался на энтомологические булавки.

В настоящее время для Саратовской области известно две точки сбора *Georissus*: в Заволжье – это окрестности пос. Лесной (Энгельский район) и на Правобережье – территория Хвалынского национального парка. Все находки принадлежат к *Georissus (s. str.) crenulatus* (Rossi, 1794). Экземпляры хранятся в зоологическом музее Саратовского государственного университета.

Материал: Биотоп 1: Энгельский р-н, г. Энгельс, пос. Лесной, в иле на берегу лесного озера, GPS: 51°29'15.08" N 46°3'40.64" E, ручной сбор, 11.VII.2010 (1 экз.) И. А. Забалуев leg., И. А. Забалуев det., 2010.

Биотоп 2: Хвалынский р-н, Хвалынский национальный парк, пруд Липовский, глинистый берег, GPS: 52°29'23.79" S, 48°3'20.09" W, вытаптыванием, 7.VII.2011 (1♀) А. С. Сажнев leg., А. С. Сажнев det., 2011.

Биотоп 1. Лесной биотоп, находится в пригороде Энгельса, на территории пос. Лесной. Основу флоры составляет осокорь (*Populus nigra*) и его поросль. Травянистая прибрежная растительность практически отсутствует. Водная растительность представлена стрелолистом (*Sagittaria* sp.). Изучаемый водоём небольшой, в засушливые годы пересыхает, представляет собой пойменный временный водоём.

Берег пологий, илистый, весьма сильно затемнён деревьями, поверхность покрыта листовым опадом. В зоне уреза воды много растительных остатков и ила. В воде большое количество веток, упавших деревьев, пней.

Биотоп 2. Лесной биотоп, находится на территории Хвалынского национального парка, это северо-восточная часть саратовского Правобережья. Флора представлена древесными растениями, такими как осина обыкновенная (*Populus*

tremula), липа мелколистная (*Tilia cordata*), подлесок с абсолютным преобладанием клёна остролистного (*Acer platanoides*) в подросте и всходах. Прибрежная растительность скудная, из травянистых растений можно выделить осоки (*Carex* spp.) и горец птичий (*Polygonum aviculare*). Водная растительность не представлена.

Берег пологий, глинистый, слегка затемнен растущими рядом листовыми деревьями, но в целом инсоляция хорошая. В зоне уреза воды небольшой слой растительных остатков, слой несплошной, проглядывает ил. В воде имеются ветровал и пни. Водоём представляет собой небольших размеров (площадь приблизительно 10800 м²) речной пруд лентовидной формы.

Таким образом, это первые сведения о семействе Georissidae для фауны Саратовской области. Вероятно, что *G.* (s. str.) *crenulatus* не редок и широко распространен как в Заволжье, так и на Правобережье области. Есть мнение, что название «*G. crenulatus*» включает в себя не один вид, все ранние описания проводились только по внешним морфологическим признакам, гениталии не изучались. Необходимо проведение дополнительных исследований, на наш взгляд, стоит ожидать обнаружения на территории региона и *G.* (*N.*) *costatus*.

За помощь и интерес к работе автор выражает признательность И. А. Забалуеву (Саратов), С. В. Литовкину (Самара), О. Г. Брехову (Волгоград), А. А. Прокину (Воронеж), Р. Н. Ишину (Тамбов), В. Г. Дядичко (Одесса) и Д. А. Клёмину (Казань), а также В. В. Аникину (Саратов) – за помощь, оказанную в проведении полевых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Исаев А. Ю., Сысоенков Д. А. К познанию водолюбообразных жуков и водобродок (Coleoptera: Hydrophiloidea: Hydrophilidae, Georyssidae; Staphylinoidea: Hydraenidae) Ульяновской области // Природа Ульяновской области. Вып. 9. Насекомые и паукообразные Ульяновской области. Ульяновск : Симбирская книга, 2000. Вып. 9. С. 17 – 32.

Кирейчук А. Г. Coleoptera (Жесткокрылые, или Жуки) // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука. С.-Петербург. отд-ние, 2001. Т. 5. С. 91.

Лафер Г. Ш. 1989. Семейство Georissidae. Определитель насекомых Дальнего Востока СССР. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. Т. 3, ч. 1. С. 293 – 294.

Сачков С. А., Краснобаев Ю. П. Беспозвоночные Самарской области : справочник. Самара : Изд-во «Самар. ун-т», 1998. 82 с.

Bernhard D., Ribera I., Komarek A., Beutel R. G. Phylogenetic analysis of Hydrophiloidea (Coleoptera: Polyphaga) based on molecular data and morphological characters of adults and immature stages // Insect Systematics and Evolution. 2009. Vol. 40. P. 3 – 41.

Crowson R. A. The Biology of the Coleoptera. London : Academic Press, 1981. P. 694 – 698.

Fikáček M., Falamarzi Sh. *Georissus persicus* sp. nov. from Iran, with notes on the West-Palaearctic species of the *G. laesicollis* group (Coleoptera: Georissidae) // Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae. 2010. Vol. 50. P. 107 – 116.

Fikáček M., Trávníček D. Order Coleoptera, family Georissidae // Arthropod fauna of the UAE. Abu Dhabi : Dar Al Ummah, 2009. Vol. 2. P. 145–148.

Hansen M. World Catalogue of Insects. Vol. 2. Hydrophiloidea s. str. (Coleoptera). Stenstrup : Apollo Books, 1999. 416 p.

Hansen M. Observations on the immature stages of Georissidae (Coleoptera: Hydrophiloidea) with remarks on the evolution of the hydrophiloid egg cocoon // *Invertebrate Taxonomy*. 2000. Vol. 14. P. 907 – 916.

Hansen M. Family Georissidae Laporte, 1840 // *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 2. Hydrophiloidea. Histeroidea. Staphylinoidea. Steensrup : Apollo Books, 2004. P. 42.

Hebauer F. Teil A: Imagines // *Insecta: Coleoptera: Hydrophilidae (exkl. Helophorus)*. Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Stuttgart; Jena; Lübeck : Gustav Fischer, 1998. P. 1 – 90.

Hebauer F. Systematic and zoogeographical notes on the genus *Georissus* Latreille, 1809 (Coleoptera: Hydrophiloidea) // *Acta Coleopterologica*. 2004. Vol. 20, № 1. P. 3 – 6.

Lawrence J. F., Newton A. F. Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names) // *Biology, Phylogeny, and Classification of Coleoptera* / eds. J. Pakaluk, S. A. Slipinski. Warszawa, 1995. P. 779 – 1006.

Litovkin S. V., Fikáček M. 2011. New records of *Georissus costatus* Laporte de Castelnau, 1840 (Coleoptera: Georissidae) from Russia // *Rus. Entomol. J.* 2011. Vol. 20, № 4. P. 383 – 385.

Makhan D. 2009. *Georissus amrishi* sp. nov., a new water beetle from Suriname (Coleoptera : Georissidae) // *Calodema*. 2009. Vol. 96. P. 1 – 5.

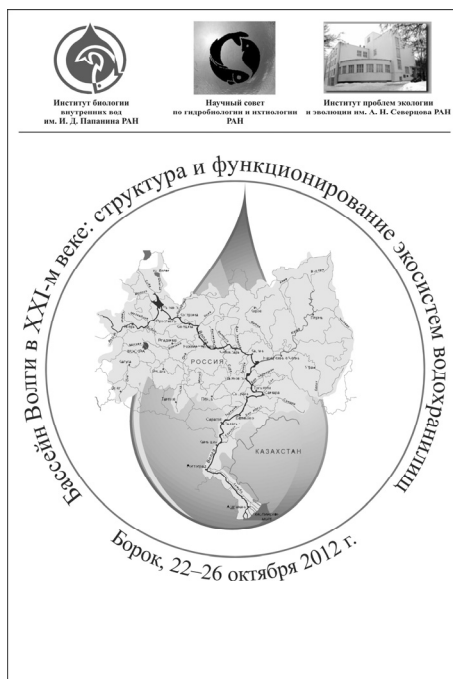
Steffan A. W. Familie: Georissidae // *Die Käfer Mitteleuropas*. Bd. 6. Diversicornia. Krefeld : Goecke & Evers, 1979. P. 294 – 296.

ХРОНИКА

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «БАССЕЙН ВОЛГИ В XXI ВЕКЕ: СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ»

Водохранилища относятся к категории уникальных искусственных водных экосистем. Их изучение не только позволяет понять последствия масштабных преобразований природной среды человеком, но и играет важную роль в познании общих закономерностей структуры и функционирования экосистем континентальных вод. Гидрологический, гидрохимический и биологический режимы водохранилищ быстро и ярко реагируют на влияние ключевых факторов, характерных для настоящего времени: изменение климатических условий, степени и характера антропогенного воздействия, инвазионные процессы. И особое значение это имеет для каскада водохранилищ одной из крупнейших рек России и мира – р. Волги.

Обширный материал, накопленный специалистами различных научных организаций в конце XX и начале XXI в. на водохранилищах Волги, на водоёмах и водотоках ее бассейна, требует грамотного и комплексного осмысления. Это позволит представить наиболее объективную оценку современного экологического состояния Волжских водохранилищ, их биологического разнообразия и ресурсного потенциала, выявить важнейшие факторы среды, дать прогноз дальнейшего развития их экосистем и выработать стратегию дальнейшего изучения и грамотной эксплуатации. И один из шагов в этом направлении – проведение Всероссийской конференции «Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ». Конференция прошла в пос. Борок Ярославской области, в Институте биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, 22 – 26 октября 2012 г. Основная цель, которую ставили перед собой организаторы, – обмен опытом специалистов, исследующих самые разнообразные стороны структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов каскада Волжских водохранилищ и изменений абиотических параметров их водных масс.



Для подготовки конференции был создан оргкомитет, который возглавил академик РАН Ю. Ю. Дгебуадзе (ИПЭЭ РАН). В состав оргкомитета вошли А. И. Копылов (д-р биол. наук, директор ИБВВ РАН (сопредседатель оргкомитета)), Г. С. Розенберг (чл.-корр. РАН, директор ИЭВБ РАН), В. И. Данилов-Данильян (чл.-корр. РАН, директор ИВП РАН), Д. И. Иванов (канд. биол. наук, директор ГосНИОРХ), М. В. Боровицкий (заместитель губернатора Ярославской области, директор департамента АПК, природопользования и охраны окружающей среды), С. А. Поддубный (д-р геогр. наук, зам. директора ИБВВ РАН), В. Т. Комов (д-р биол. наук, зам. директора ИБВВ РАН), Ю. В. Герасимов (д-р биол. наук, ИБВВ РАН), Г. Х. Щербина (д-р биол. наук, ИБВВ РАН), В. И. Лазарева (д-р биол. наук, ИБВВ РАН), Ю. В. Слынько (канд. биол. наук, ИБВВ РАН), А. В. Крылов (д-р биол. наук, ИБВВ РАН), секретари конференции – А. В. Законнова и А. И. Цветков.

Во время заседаний были заслушаны пленарные доклады, посвященные анализу экосистем водохранилищ как модельных объектов для экологических исследований для оценок риска природных и антропогенных вызовов (Ю. Ю. Дгебуадзе, ИПЭЭ РАН), современной гидрохимической характеристике водохранилищ Волжского каскада в период летней межени (В. К. Дебольский с соавторами, ИВП РАН), особенностям уровня режима водохранилищ (С. А. Поддубный, ИБВВ РАН), проблемам при выполнении прикладных (госконтрактных) работ на водохранилищах (С. И. Шапоренко, Институт географии РАН), изменению термического режима и продуктивности фитопланктона Рыбинского водохранилища в условиях потепления (А. С. Литвинов с соавторами, ИБВВ РАН), динамике зарастания водохранилищ Волги (В. Г. Папченков, ИБВВ РАН), «цветению» воды цианобактериями (синезелеными водорослями) как реальной угрозе ухудшения качества воды в водохранилищах Волги (Л. Г. Корнева с соавторами, ИБВВ РАН), соотношению аэробных и анаэробных процессов деструкции органического вещества в донных отложениях Волжско-Камского бассейна (А. Н. Дзюбан, ИБВВ РАН), вирусам как важному компоненту биологических сообществ водохранилищ Волги (А. И. Копылов с соавторами, ИБВВ РАН), структуре и функционированию планктонных сообществ водохранилищ Волги (В. И. Лазарева с соавторами, ИБВВ РАН), динамике видовой структуры сообществ зоопланктона Чебоксарского водохранилища в ходе экзогенной сукцессии (Г. В. Шурганова, Нижегородский гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского), лососевым и корюшковым рыбам в водохранилищах Волги (Ю. С. Решетников, О. А. Попова, ИПЭЭ РАН), биотопической сегрегации в популяциях рыб Рыбинского водохранилища (Ю. В. Герасимов, ИБВВ РАН), анализу инвазионных циклов в бассейне Волги (Ю. В. Слынько, ИБВВ РАН) и чужеродным паразитам волжских рыб (А. Е. Жохов, ИБВВ РАН).

Секционные доклады участников конференции были посвящены результатам исследований абиотических и биотических характеристик водохранилищ Верхней, Средней и Нижней Волги в начале XXI в. и анализу их изменений по сравнению со второй половиной XX в. Большая часть докладов отражала результаты важнейших исследований водотоков и водоёмов бассейна Волги.

Все представленные результаты составили содержание сборника материалов конференции (Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экоси-

стем водохранилищ: сб. материалов докладов участников Всерос. конф. / Ин-т биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова РАН, Борок, 22–26 октября 2012 г. – Ижевск, 2012. 380 с.), в котором опубликовано 142 статьи.

При обсуждении результатов работы конференции были отмечены следующие моменты.

1. Необходимость поддержания непрерывного ряда наблюдений на стандартных участках каскада водохранилищ р. Волги.

2. Грамотная организация мониторинга позволит: а) проследить процессы формирования видового состава сообществ, становления гидрохимического и биологического режима в процессе сукцессии и эволюции водных экосистем; б) наиболее объективно и комплексно оценить влияние абиотических, биотических и антропогенных факторов на биологические параметры водоёмов и водотоков; в) осознать, насколько уникальны аномальные по климатическим условиям последние годы и насколько долговременны последствия их влияния на химические характеристики и структурно-функциональные показатели сообществ гидробионтов; г) выявить основные черты перестройки структуры и функционирования биоценозов внутренних водоёмов при вселении и натурализации чужеродных видов; д) ответить на многочисленные и разносторонние вопросы, оценивающие последствия создания водохранилищ; е) прогнозировать экологическое состояние водохранилищ.

3. В ходе анализа межгодовых флюктуаций развития популяций и сообществ водных организмов как можно шире привлекать данные, характеризующие метеорологические условия, гидрологический и гидрохимический режим, а при сборе первичных материалов проводить простые и доступные, но необходимые измерения глубины, прозрачности, температуры воды, содержания растворенного кислорода.

4. Необходимо унифицировать методы химического анализа вод, а также проводить проверку приборов по чёткому графику.

5. В практику изучения водохранилищ (в частности, степени их зарастания и др.) необходимо вводить современные методы исследований, среди которых особое место могут занять методы дистанционного зондирования.

6. Исследования структурно-функциональной организации планктонных и бентосных сообществ на современном этапе невозможны без изучения количества вирусов, которые наряду с другими элементами микробной петли должны учитываться при построении трофических сетей.

7. Особого внимания требуют следующие вопросы: а) изучение влияния «цветения» воды цианобактериями (синезелеными водорослями) как реальной угрозы ухудшения качества среды в водохранилищах Волги, в том числе и в результате повышения содержания в воде цианотоксинов; б) выявление соотношения аэробных и анаэробных процессов деструкции органического вещества в донных отложениях водохранилищ; в) оценка роли седиментации в накоплении ртути в донных отложениях водохранилищ; г) оценка биологического разнообразия и выявления чужеродных видов, оказывающих существенное влияние на функционирование экосистем водохранилищ; д) исследование малых водоёмов и водотоков бассейна Волги.

8. При подготовке публикаций и презентаций докладов авторам необходимо обратить внимание на грамотное написание биологических текстов (например, выделение курсивом таксонов рангом ниже рода включительно, а при первом упоминании таксонов приводить автора описания); иметь представление о правильном употреблении в тексте дефиса и тире; при подготовке рукописи внимательно знакомиться с правилами оформления публикации.

Все участники конференции отметили высокий уровень представленных докладов. Были высказаны пожелания подготовить серию монографий, посвященных комплексной характеристике отдельных водохранилищ и всей Волги, а также возобновить практику периодического проведения аналогичных конференций.

Участники конференции выразили искреннюю благодарность Отделению биологических наук Российской академии наук и Российскому фонду фундаментальных исследований (грант № 12-04-06094-г), при финансовой поддержке которых была проведена конференция и издан сборник материалов.

А. В. Крылов¹, Ю. Ю. Дгебуадзе², А. И. Копылов¹, С. А. Поддубный¹

¹ Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок

² Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33

ЮБИЛЕИ

Инна Логиновна Пырина

28 октября 2012 г. – юбилейная дата для доктора биологических наук, главного научного сотрудника Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН Инны Логиновны Пыриной. Коллеги, друзья и ученики сердечно поздравляют Инну Логиновну со славной датой, желают ей доброго здоровья и реализации творческих замыслов.

Вся жизнь И. Л. Пыриной связана с Институтом биологии внутренних вод, в который она была принята сразу после окончания (с отличием) биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова по кафедре «Физиология растений».

Свою научную деятельность она начала под влиянием идей создателя школы гидробиологов эколого-физиологического направления Г. Г. Винберга, под руководством доктора биологических наук К. А. Гусевой. Первые работы И. Л. Пыриной были посвящены разработке методов изучения первичной продукции фитопланктона и факторов, ее определяющих. Ею были начаты исследования растительных пигментов в планктоне волжских водохранилищ. Многолетний ряд наблюдений И. Л. Пыриной за содержанием хлорофилла в воде Рыбинского водохранилища стал основой для математического моделирования первичной продукции водохранилища. Особое внимание было уделено ею изучению света как фактора продуктивности и эвтрофирования внутренних водоёмов. Работы И. Л. Пыриной о связи хлорофилла с фотосинтезом и биомассой фитопланктона, а также фотосинтеза с подводной освещённостью до сих пор во многом остаются непревзойденными. В настоящее время особый интерес представляют исследования И. Л. Пыриной показателей продуктивности фитопланктона в условиях глобального потепления климата.

И. Л. Пырина – уникальный специалист в области пресноводной экологии, автор многочисленных публикаций, которые широко известны в нашей стране и за ее пределами. Итог ее научной деятельности можно охарактеризовать известной триадой К. А. Тимирязева, объединяющей понятия «солнце, жизнь, хлорофилл». Ученики Инны Логиновны продолжают успешно развивать направление продукционных альгологических исследований.



*Коллектив Института биологии
внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН*