научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

Издатель
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

https://ecopri.ru

№ 5 (21). Декабрь, 2016

Главный редактор
А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugołek
В. Н. Якимов
А. В. Сонина

Службы поддержки

Н. А. Марфицына
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.
E-mail: ecopri@petrsu.ru
https://ecopri.ru

12+

© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru https://petrsu.ru

Содержание № 5. 2016

От редакции

	Некоторые итоги	3

Оригинальные исследования

Камардин Н. Н., Любимцев В. А., Холодкевич С. В.	***Модельные исследования влияния на наземных моллюсков Achatina fulica аэрозольных выбросов сточных вод***	4 - 16
Кочеткова А. И., Филиппов О. В., Баранова М. С.	***Эколого-флористическая характеристика высших водных растений Волгоградского водохранилища***	17 - 29
Романова Е. Б., Николаев В. Ю., Соломайкин Е. И., Бакиев А. Г., Горелов Р. А.	***Оценка лейкоцитарного состава крови гадюки обыкновенной Vipera berus из Самарской области***	30 - 45
Симонов С. А., Матанцева М. В.	***Предварительные итоги сравнительного анализа массы, размеров и теплоизоляционных качеств гнезд певчих дроздов (Turdus philomelos) в центре и на севере гнездового ареала***	46 - 55
Тихонова Е. А., Котельянец Е. А., Соловьёва О. В.	***Оценка уровня загрязнения донных отложений крымского побережья Черного и Азовского морей***	56 - 70
Шаров А. Н., Андреева И. В.	***Пространственно-временная организация фитопланктона Чудско-Псковского озера***	71 - 80

Методы экологических исследований

Кожевников А. Ю., Косяков Д. С., Варакин Е. А., Майоров И. С.	***Разработка экспериментального аппаратно-программного комплекса для экологического мониторинга загрязнения арктической территории опасными химическими элементами и соединениями***	81 - 90

Письма в редакцию

Линник Ю. В.	***Памяти Ольги Михайловны Ивановой-Казас (15 декабря 1913 – 17 января 2015)***	91 - 96

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
https://ecopri.ru https://petrsu.ru

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ

КОРОСОВ Андрей Викторович *д. б. н., Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, пр. Ленина, 33), korosov@psu.karelia.ru*

Подписана к печати:
22 декабря 2016 года

Уважаемые читатели, авторы и рецензенты!

Наш журнал выходит уже 5 лет.

Имеет смысл подвести некоторые итоги его деятельности, ориентируясь на достижения других российских журналов биологической направленности, проанализированной в рамках РИНЦ.

Главный показатель РИНЦ (рейтинг SCIENCE INDEX) рассчитывается по итогам пятилетней работы издания, следовательно, для нашего журнала он еще не получен.

Некоторые другие показатели, оценивающие нашу деятельность за 2–4 года, представлены в таблице.

Для иллюстрации нашего места среди прочих подобных изданий мы рассчитали нашу позицию среди условных 100 журналов (в РИНЦ зарегистрирован 371 журнал биологической направленности, но не для всех рассчитываются рассмотренные ниже показатели).

Название показателя	2013	2014	2015	Рейтинг за 2015	Место среди	других журналов
Двухлетний импакт-фактор РИНЦ	0.278	0.25	0.173	**67**	111	165
Двухлетний коэффициент самоцитирования, %	40	16.7	15.4	**36**	44	121
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ	–	0.25	0.216	**70**	97	139
Пятилетний коэффициент самоцитирования, %	40	16.7	8.3	**43**	111	258
Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам	2200	802	799	**32**	83	258
Индекс Херфиндаля по организациям	2751	3718	2509	**60**	136	225
«В среднем»				**51**		

Беглого взгляда достаточно, чтобы понять, что наш журнал находится где-то в середине рейтингового списка. В чем причина таких скромных успехов?

Оценки импакт-фактора ниже среднего уровня говорят о том, что публикации нашего журнала не очень часто цитируют. Несмотря на достаточно жесткий отбор (не проходят около 11 % поданных статей), опубликованные у нас статьи не получают широкой известности. Видимо, пока многие мэтры науки не замечают наш журнал…

Несмотря на наши старания расширять географию, индекс Херфиндаля по

организациям авторов указывает очевидное направление – больше уделять внимания проблемам других регионов.

Видимо, пора брать следующую вершину – Scopus.

С неизменной готовностью к сотрудничеству,
редколлегия электронного журнала «Принципы экологии»

SOME RESULTS

KOROSOV Andrey Victorovich *DSc, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Lenin st., 33), korosov@psu.karelia.ru*

Published on:
22 December 2016

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

УДК 574.24-591.1

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НА НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ ACHATINA FULICA АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД

КАМАРДИН Николай Николаевич	*д. б. н., ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (197110, Санкт-Петербург,ул. Корпусная, 18), nik-kamardin@yandex.ru*
ЛЮБИМЦЕВ Василий Алексеевич	*к. ф.-м. н, ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (197110, Санкт-Петербург,ул. Корпусная, 18), lyubimtcev55@mail.ru*
ХОЛОДКЕВИЧ Сергей Викторович	*д. ф.-т. н., ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (197110, Санкт-Петербург,ул. Корпусная, 18), Kholodkevich@mail.ru*

Ключевые слова: тяжелые металлы, биотестирование, моллюски, сточные воды

Рецензент: Д. М. Безматерных

Получена: 27 мая 2016 года
Подписана к печати: 26 декабря 2016 года

Аннотация. Проведены лабораторные эксперименты с использованием ювенильных особей моллюска вида Achatina fulica как биоиндикаторов загрязнений воздушной среды. Показано, что опытные животные отстают в весе от контрольных при дыхании и кожном контакте с водными аэрозолями, приготовленными из не прошедших биологическую очистку городских сточных вод, а также с аэрозолями, приготовленными из двух растворов сульфата никеля в дистиллированной воде. С использованием атомно-абсорбционной спектрофотометрии установлено, что присутствующие в сточных водах такие ТМ, как Cd, Cu и Ni, накапливаются в пищеварительной железе моллюсков. В модельных опытах с двухнедельной экспозицией моллюсков в камере, периодически (2 часа подачи аэрозоля и 2 часа паузы) заполняемой аэрозолем, содержащим Ni в концентрации 30 и 50 мг/дм3, наблюдается накопление никеля в пищеварительной железе с концентрацией, превосходящей контрольную в 6 и 10 раз соответственно. При этом животные достоверно отстают в скорости набора веса от контрольной группы, содержавшейся в водной аэрозоли без никеля. Последующая недельная экспозиция этих моллюсков в водной аэрозоли, приготовленной из дистиллированной воды без сульфата никеля, приводит к снижению концентрации никеля в ткани пищеварительной железы. Продемонстрирована биодоступность ТМ из сточных вод и растворов никеля при дыхании водной аэрозолью и, возможно, при кожном контакте. При этом поступление токсиканта происходит, по-видимому, помимо приема пищи.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Накопление стойких загрязняющих веществ в окружающей среде, обусловленных развитием промышленности, металлургии, транспорта, применением сточных вод для орошения и шлама для строительства дорог, становится глобальной проблемой (Wharfe, 2004). При этом загрязнения почвы часто менее заметны, чем другие типы загрязнения, но их воздействие на наземные экосистемы и людей является длительным, а вследствие этого более тяжелым по последствиям (Alloway, 2012). Сила воздействия на биоту экосистемы присутствующих в среде загрязняющих веществ зависит от ряда физико-химических и биологических факторов, среди которых решающее значение имеет биодоступность токсикантов в ходе их накопления и миграции по пищевой цепи в экосистеме. В природной среде в непосредственной близости с водными объектами возможен воздушный путь загрязнения, связанный как с испарением летучих загрязнителей, так и формированием водных аэрозолей, содержащих в том числе и соли тяжелых металлов. Примером такого пути загрязнения почвы могут быть станции очистки канализационных стоков мегаполисов с большими отстойниками, которые выделяют в атмосферу аммиак и сероводород, а вода хозяйственно-бытовых сточных вод и после биологической очистки содержит тяжелые металлы (ТМ) в концентрациях, превосходящих предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей ($ПДК_{РХ}$)(Рублевская, 2016). Установлено, что наземные брюхоногие реагируют на аммиак и сероводород (Kholodkevich et al., 2010), а также способны накапливать металлы непосредственно из почвы, независимо от приема пищи (Vaufleury, Pihan, 2002). Они являются надежными биоиндикаторами качества почв и используются в стандартизованных тестах на токсичность почвы (например, ISO-15952: 2006). Прямое попадание металлов из почвы происходит как при кожном контакте с субстратом, так и при проглатывании почвы вместе с пищей (Dallinger et al., 2001; Gomot et al., 2006). Известно, что характер накопления металлов зависит от их важности для выполнения известных физиологических функций. По этому признаку ТМ подразделяют на важные и неважные для нормальной жизнедеятельности животных, то есть биогенные и небиогенные соответственно. Так, кадмий и свинец, для которых нет известных физиологических функций, относятся к небиогенным (Bryan, 1984; Coeurdassier et al., 2002), в то время как Zn, Cu, Fe и Mg, входящие в состав ферментов и дыхательных пигментов, – к биогенным (Wihte, Rainbow, 1985). Никель относится к числу микроэлементов, необходимых для нормального развития живых организмов. Известно, что никель принимает участие в ферментативных реакциях у животных и растений. Повышенное содержание никеля в почвах приводят к заболеваниям растений: изменению цвета листьев, плодов, а у животных – к замедлению роста и размножения и увеличению смертности (Scott-Fordsmand, 1997).

Настоящее исследование посвящено изучению возможности попадания металлов из водных аэрозолей и почвенных испарений через легочное дыхание и кожу в организм моллюсков. Попадая в организм, металлы могут накапливаться в мягких тканях брюхоногих, особенно в гепатопанкреасе (пищеварительной железе). Использование методов атомно-абсорбционной спектрофотомерии позволяет определять содержание ТМ в тканях независимо от характера их связи с органическими соединениями и устанавливать экспериментальным путем биодоступность некоторых ТМ в случае их попадания в организм воздушным путем.

Материалы

В экспериментах использовались ювенильные особи одного вида *Achatina fulica* и одного возраста, которых взвешивали перед экспериментом. Затем их помещали в отдельные камеры экспериментальной установки, где они содержались 2–3 недели при постоянной температуре 28 ± 0.3 °C и освещенности 12 д/12 н (12 часов свет/12

часов темнота). Моллюсков кормили регулярно салатом *ad libitum*. Контрольных и подвергавшихся воздействию загрязненных аэрозолей животных взвешивали через 1 или 2 недели воздействия водными аэрозолями, содержащими сульфат никеля или неочищенные сточные воды, а также после 1 недели воздействия аэрозолем без никеля и без сточных вод. На каждом этапе отбирали по 3–5 моллюсков из каждой группы для определения концентрации ТМ в тканях методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС). Кроме того, проводился подсчет выживших на каждом этапе особей в каждой группе. Сточная вода отбиралась сразу после механической очистки в песколовке очистных сооружений и разбавлялась перед экспериментом дистиллированной водой в соотношении 1:1.

Методы

Экспериментальная установка. Для генерации модельных аэрозолей были использованы пьезоэлектрические увлажнители воздуха бытового назначения производства Швейцарии «Air-O-Swiss U7146» (рис. 1; *1–2*). Пьезоэлектрическая мембрана прибора, управляемая 2 МГц генератором, создает механическую вибрацию, вызывающую кавитационное «вскипание» водного раствора при обычной комнатной температуре с выбросом в воздух мелкодисперсных частиц размером от 1 до 5 мкм. Имеющийся в конструкции микровентилятор создает поток воздуха, который подает воздушно-водяную взвесь в экспериментальные камеры (рис. 1; *5–6*). При этом наиболее крупные капли воды оседают на стенки трубок, не доходя до экспериментальных камер, представляющих собой пластиковые цилиндры одинакового объема в 3 литра (рис. 1; *5–6*). Каждая камера имеет в основании слой стерильного песка 4–5 см толщиной (рис. 1; *7*) и систему стока излишней воды, которая конденсируется из тумана (рис. 1; *8*). Интенсивность увлажнения и его длительность (два часа через двухчасовой интервал), задаваемая с помощью реле времени, устанавливалась одинаковой для обеих камер. Время заполнения камеры туманом водного аэрозоля с момента включения увлажнителя составляло около 30 секунд, а концентрация в этом тумане частиц водного аэрозоля 1 мкм в диаметре – 150 мг/л.

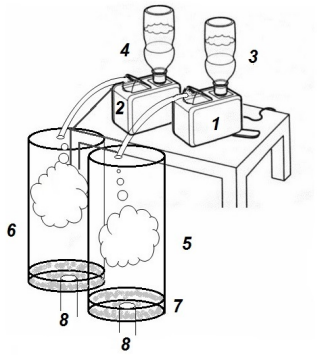


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования воздействия аэрозолей с ТМ и приготовленных из неочищенных стоков на ювенильных моллюсков: *1–2* – модифицированные ультразвуковые увлажнители; *3–4* – сосуды для контрольных и опытных жидкостей; *5–6* – экспериментальные камеры; *7* – слой песка; *8* – дренаж для экспериментальных камер

Fig. 1. The experimental setup for the study of the impact of untreated sewage and aerosols with TM prepared from untreated wastwater on juvenile mollusks. *1–2* – modified ultrasonic humidifiers; *3–4* – vessels for control and test fluids; *5–6* – experimental chambers; *7* – sand layer; *8* – drainage for the experimental chambers

Аналитические методы анализа. Концентрация ТМ в ткани пищеварительной железы улитки *Achatina fulica* была определена с использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» СПбГУ. Для этого выделенные органы криофиксировали при температуре -23 ^{0}C в течение 2–3 недель.

Затем размороженные и осушенные фильтровальной бумагой образцы тканей взвешивали на аналитических весах «OHAUS Pioneer» PA214C с точностью до 0.1 мг. Взвешенные образцы помещали в мерные пробирки и добавляли 1 мл 70 % HNO_3осч (ГОСТ 11123-84). Пробирки с образцами нагревали в сушильном шкафу до температуры 90 ^{0}C до полной минерализации. После остывания пробы доводили до 2 или 5 мл деминерализованной водой, полученной с помощью прибора «Millipore Milli-Q» A-10 производства «Merck» (Германия) с местом отбора «Q-POD». Измерение концентрации металла осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «SHINADZU A-7000» (Япония) с термоатомизатором и микродозатором проб. Перед измерением строилась калибровочная кривая с применением стандартов производства ОАО «Уральский завод химических реактивов». Результаты выражали в миллиграммах на килограмм влажного веса (мг/кг в. в.).

Статистическая обработка. Для последовательностей значений веса моллюсков вычисляли средние арифметические величины и их среднеквадратические отклонения (СКО) с помощью программного пакета «GraphPad Prism 5.0». Последовательности проверяли на соответствие нормальному распределению (тест на нормальность). Достоверность отличий средних определялась по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$. Для значений концентраций ТМ вычислялись средние арифметические величины и их СКО. Различия между средними значениями концентраций до и после воздействия и во время отмывки проверялись на достоверность. За достоверные принимались различия средних по критерию *t* для независимых выборок, по критерию Вилкоксона и *F*-тесту Фишера при уровне значимости $p \leq 0.05$.

Результаты

Результаты. Наблюдения за моллюсками в экспериментальной установке показали, что воздействие аэрозоля, полученного из разбавленной в 2 раза сточной воды добавлением дистиллированной воды, не приводит к их гибели за двухнедельную экспозицию. При сравнении приведенных на рис. 2 и в табл. 1 (табл. 1, *2*) величин видно, что при таком воздействии («Стоки») животные хуже набирают вес по сравнению с животными из контрольной группы («Контр. 1»), которые в течение того же времени подвергались воздействию аэрозоля, приготовленного из дистиллированной воды. Такое снижение веса у опытных животных, по сравнению с контрольными, за 2 недели эксперимента является достоверным только по непараметрическому критерию *F* Фишера. В то же время средний вес улиток из экспериментальной группы к этому моменту времени составлял только 74.5 % от среднего веса моллюска из контрольной группы. Во время отмывки с помощью аэрозоля из дистиллированной воды в течение 7 дней моллюски из экспериментальной группы («Отмыв»), подвергавшиеся воздействию, вновь стали набирать вес и почти догнали контрольных по весу (табл. 1, *4*).

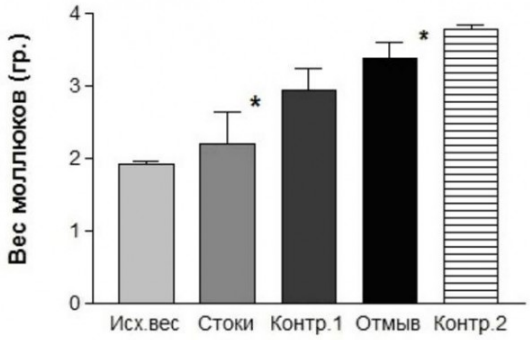


Рис. 2. Гистограмма изменения усредненного по группе веса моллюсков при воздействии загрязнителей из неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, и при последующей отмывке аэрозолем из

дистиллированной воды (слева направо – от начала к концу эксперимента): «Исх. вес» – обе группы моллюсков до начала воздействия (за счет подбора отдельных моллюсков), был одинаков для экспериментальной и контрольной групп; «Стоки» – экспериментальная группа после 2 недель воздействия аэрозоля из сточной воды; «Контр. 1» – контрольная группа после 2 недель воздействия аэрозоля из дистиллированной воды; «Отмыв» – экспериментальная группа после дополнительной 1 недели воздействия аэрозоля из дистиллированной воды; «Контр. 2» – контрольная группа после 3 недель воздействия аэрозоля из дистиллированной воды. Вертикальные линии обозначают СКО величины веса. * – достоверность отличий средних по критерию *t* и *F* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 2. Histogram of average mollusk weight change under the influence of aerosol from raw sewage in the experimental chamber and subsequent washing with aerosol from distilled water. Vertical lines indicate the SD of arithmetic mean weight. «Исх. вес» – both groups of mollusks before the beginning of treatment (due to selection of individual snails) was the same for experimental and control groups, «Стоки» – the experimental group after 2 weeks of exposure to an aerosol of waste water, «Контр. 1» – the control group after 2 weeks of exposure to aerosol from distilled water, «Отмыв» – the experimental group after the additional 1 week exposure to an aerosol of distilled water, «Контр. 2» – the control group after 3 weeks of exposure to an aerosol from distilled water. Vertical lines indicate the SD of arithmetic mean weight. * – probability of differences between values by *t* and *F* test for independent samples at a significance level $p \leq 0.05$

Таблица 1. Изменения веса моллюсков при воздействии неочищенных хозяйственно-бытовых стоков (1–5) и аэрозоля из раствора Ni 30 мг/дм^3

№	Воздействия	Количество моллюсков	Вес моллюсков в гр. ± станд. ошибка	Случаи значимых ($p < 0.05$) отличий от контроля по критериям *t* и *F*
1	Исходный вес	8	1.96 ± 0.04	
2	Аэрозоль из хоз.-быт. стоков	5	2.19 ± 0.43	*F*
3	Контроль 1	5	2.94 ± 0.29	
4	Отмывка	3	3.34 ± 0.17	*t* и *F*
5	Контроль 2	3	3.78 ± 0.05	
А	Исходный вес	15	0.23 ± 0.01	
Б	Аэрозоль из р-ра Ni 30 мг/дм^3	3	0.185 ± 0.01	*t* и *F*
В	Вес моллюсков в контроле	6	0.30 ± 0.03	

Как указывалось выше, сточные воды могут содержать ряд токсических веществ (например, ТМ). В случае попадания их в организм в составе водных аэрозолей они способны приводить к изменениям в обмене веществ и, как результат, к снижению веса. В нашем эксперименте было исследовано накопление ТМ в пищеварительной железе моллюска *Achatina fulica*. Обнаружено, что дыхание воздухом с водными аэрозолями, а также контакт поверхности тела моллюска с водными частицами неочищенных сточных вод приводит к достоверному накоплению Cd, Cu, Ni в гепатопанкреасе моллюсков по сравнению с контрольными, в которых также были обнаружены ТМ (табл. 2, рис. 3, 4, 5, 8).

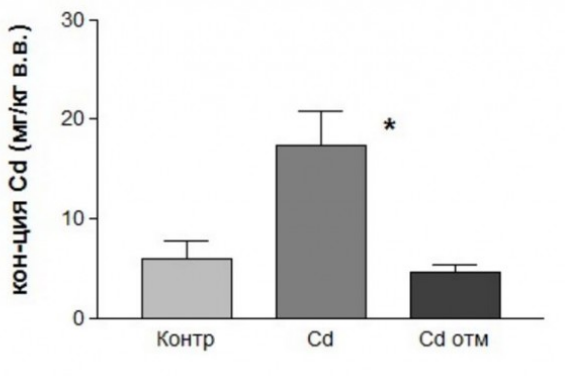


Рис. 3. Накопление кадмия тканью пищеварительной железы моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, – Cd. Результат последующей отмывки животных аэрозолем из дистиллированной воды – $Cd_{отм}$. Контр – содержание кадмия в контрольном образце. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 3. Accumulation of cadmium in the digestive gland of mollusks under the influence of aerosol prepared from untreated sewage and subsequent washing with the aerosol prepared from distilled water. * – probability of differences between values by *t* test for independent samples at a significance level $p \leq 0.05$

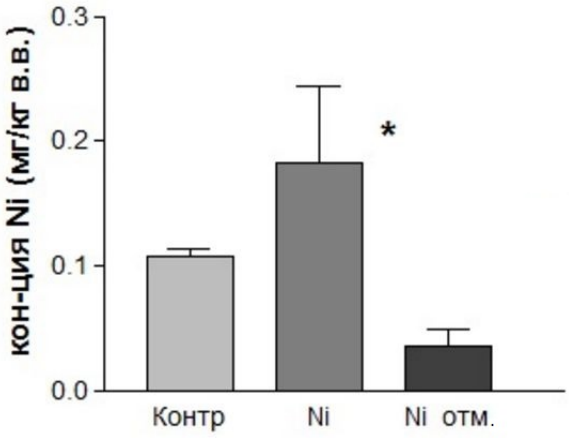


Рис. 4. Накопление никеля пищеварительной железой моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, – Ni. Результат последующей отмывки животных аэрозолем из дистиллированной воды – $Ni_{отм}$. Контр – содержание никеля в контрольном образце. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 4. Accumulation of Ni in the digestive gland of mollusks under the influence of aerosol prepared from untreated sewage and subsequent washing with the aerosol prepared from distilled water. * – probability of differences between values by *t* test for independent samples at a significance level $p \leq 0.05$

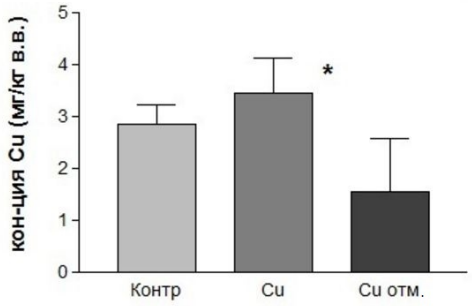


Рис. 5. Накопление меди пищеварительной железой моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, – Cu. Результат последующей отмывки животных аэрозолем из дистиллированной воды – $Cu_{отм}$. Контр – содержание меди в контрольном образце. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 5. Accumulations of Cu in the digestive gland of mollusks under the influence of aerosol prepared from untreated sewage and subsequent washing with the aerosol prepared from distilled water. * – probability of differences between values by *t* test at a significance level $p \leq 0.05$

При этом, по сравнению с концентрацией ТМ в неочищенных биологически сточных водах, накопление Cd, Ni и Cu в гепатопанкреасе моллюсков происходит по-разному. Для Cd оно примерно в 64 раза, для Cu примерно в 170, а для Ni – в 36 раз больше фоновой. Медь является биогенным, важным для жизнедеятельности моллюсков металлом. Вследствие этого его концентрация в пищеварительной железе превосходит остальные исследованные металлы. В то же время внутритканевая концентрация Cd и Ni превосходит в десятки раз значения ПДК для воды объектов рыбохозяйственного назначения (ГОСТ 27065-86). Этот факт может объяснить снижение скорости роста у животных, дышащих воздухом с аэрозолями, приготовленными из неочищенной сточной воды.

Ранее в подобном эксперименте были показаны реакции кардиосистемы *Achatina fulica* на аэрозоли, содержащие Cu, Cd (Kamardin et al., 2013). Гепатопанкреас считается органом, ответственным за накопление и детоксикацию ТМ, в частности металлотионеинами (Dallinger et al., 2001). ТМ не единственные токсические вещества в стоках. Опасными являются также фенолы, фосфор фосфатов, ПАВ и нефтепродукты, которые могут тормозить рост моллюсков.

Таблица 2

Накопление меди пищеварительной железой моллюсков при воздействии неочищенных сточных вод, поступающих в виде аэрозоля в экспериментальную камеру

№	Воздействие аэрозоля из неочищенных хоз.-бытовых стоков и растворов Ni	Количество моллюсков	Концентрация ТМ в пищеварительной железе моллюсков, мг/кг в. в. ± станд. ошибка	Случаи значимых ($p < 0.05$) отличий от контроля по критериям *t* и *F*
Cd				
1	Контроль	6	5.97 ± 1.80	
2	Определение Cd	4	17.4 ± 3.43	*t*
3	Отмывка	6	3.34 ± 0.17	*t* и *F*
Ni				
1	Контроль	5	0.11 ± 0.01	
2	Определение Ni	10	0.18 ± 0.06	*F*

3	Отмывка	6	0.04 ± 0.01	*F*
Cu				
1	Контроль	6	2.25 ± 0.29	
2	Определение Cu	5	3.78 ± 0.40	*t*
3	Отмывка	5	1.55 ± 1.00	*t*
Аэрозоль из 30 и 50 мг/дм³ Ni				
1	Контроль	6	0.63 ± 0.10	
2	Определение Ni_{30}	3	3.50 ± 0.50	*t* и *F*
3	Определение Ni_{50}	3	6.65 ± 0.35	*t* и *F*
4	Отмывка	4	2.93 ± 0.13	*t* и *F*

Для уточнения класса токсических веществ мы провели эксперименты с измерением скорости роста моллюсков, дышащих воздухом с аэрозолями, приготовленными из растворов с концентрацией в 30 и 50 мг/дм^3 $NiSO_4$, что ниже ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) для валового содержания Ni в почве (ГОСТ № 6229-91). Двухнедельное пребывание моллюсков в экспериментальной установке привело к частичной гибели как контрольных, так и экспериментальных животных. При этом животные, подвергавшиеся воздействию Ni, погибали в большем количестве, чем контрольные. Так, опытных животных осталось 30.4 %, а контрольных – 87.0 %. Выжившие экспериментальные моллюски достоверно отстают в весе от контрольных при дыхании и кожном контакте с аэрозолью, приготовленной из раствора Ni (30 мг/дм^3) (рис. 6). Повышение концентрации Ni до 50 мг/дм^3 подтверждает обнаруженный факт. Гибели экспериментальных животных и снижению их веса, возможно, способствовало нарушение питания, о котором можно судить по остаткам салата, собранного в экспериментальной установке. Одинаковые листья салата через двое суток оказались полностью съеденными у контрольных животных и почти нетронутыми в экспериментальной камере (рис. 7).

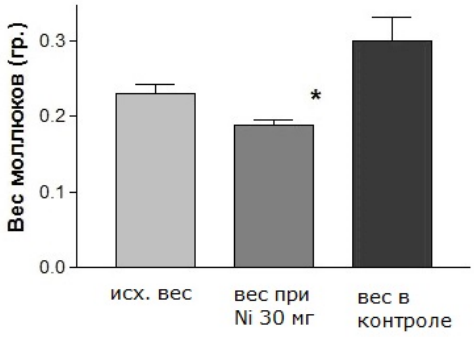


Рис. 6. Изменения веса моллюсков при воздействии аэрозоля из раствора никеля (30 мг/дм^3). Вертикальные линии обозначают СКО средней арифметической величины веса. * – достоверность отличий средних по критерию *t* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 6. changes in mollusks weight when they were exposed to Ni aerosol (30 mg/dm^3). Vertical lines indicate the SD of arithmetic mean weight. * – probability of differences between values by *t* test at a significance level $p \leq 0.05$



Рис. 7. Фотография салата после двухдневного пребывания в контрольной (C) и экспериментальной (Ni) камерах

Fig. 7. Photo of lettuce after a two-day staying in the control (C) and experimental (Ni) chamber

В то же время атомно-абсорбционный спектрофотометрический анализ показал достоверное приращение внутритканевой концентрации Ni в пищеварительной железе при двухнедельной экспозиции животных в аэрозоли, приготовленной из раствора Ni (30 мг/дм^3), почти в 6 раз, а из раствора Ni (50 мг/дм^3) – в 10 раз.

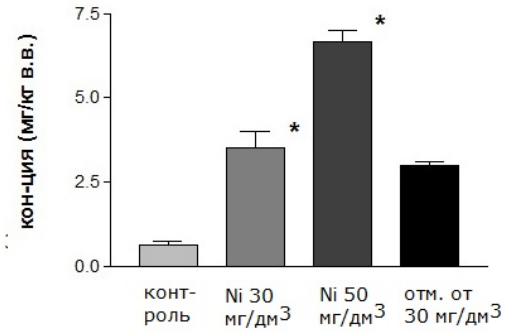


Рис. 8. Накопление никеля пищеварительной железой моллюсков при воздействии Ni 30 и 50 мг/дм^3, поступающем в виде аэрозоля в экспериментальную камеру, и последующей отмывки аэрозолью из дистиллированной воды. * – достоверность отличий средних по критерию *t* и *F* для независимых выборок при уровне значимости $p \leq 0.05$

Fig. 8. Accumulation of Ni in the digestive gland of mollusks under the influence of Ni 30 и 50 mg/dm^3 aerosol rendered into the experimental chamber and subsequent washing with the aerosol from distilled water. * – probability of differences between values by *t* and *F* test at a significance level $p \leq 0.05$

Обнаруженные факты иллюстрируют биодоступность никеля при поступлении из водной аэрозоли и, возможно, при кожном контакте. При этом поглощение токсиканта непосредственно из почвы и воздуха происходит независимо от приема пищи. Моллюски, которые перестали питаться, продолжали интенсивно накапливать ТМ, в частности Ni, в пищеварительной железе. Замена в увлажнителе раствора $NiSO_4$ на деминерализованную воду приводит на 7-е сутки к достоверному снижению концентрации никеля в пищеварительной железе (см. рис. 8).

Заключение

В экспериментах использованы ювенильные особи моллюска вида *Achatina fulica* как биоиндикатора загрязнений почвы и воздушной среды. Показано, что опытные животные достоверно отстают в весе от контрольных при дыхании и кожном контакте с аэрозолями, приготовленными из сточных вод, сбрасываемых в водоем-приемник, и аэрозолями, содержащими Ni в двух концентрациях. По результатам атомно-абсорбционной спектрофотомерии тяжелые металлы, в частности Cd, Cu, Ni, из

сточных вод накапливаются в пищеварительной железе моллюсков.

Двухнедельная экспозиция моллюсков в камере, периодически заполняемой аэрозолем, содержащим Ni в концентрации 30 и 50 мг/дм^3, приводит к накоплению никеля в пищеварительной железе в концентрации, превосходящей исходную в 6 и 10 раз соответственно. Экспериментальные животные достоверно отстают в весе от контрольных. Недельная экспозиция моллюсков в водной аэрозоли, приготовленной из дистиллированной воды (отмывка), снижает концентрацию никеля в пищеварительной железе. Это указывает на существование у моллюсков мощной системы детоксикации и вывода металлов из организма, что, по-видимому, и позволяет им выживать вблизи загрязненных территорий.

Таким образом, продемонстрирована биодоступность ТМ из сточных вод, никеля из водной аэрозоли при дыхании и, возможно, при кожном контакте. При этом поступление токсиканта происходит, очевидно, независимо от приема пищи.

Библиография

Рублевская О. Н. Оценка влияния хозяйственно-бытовых стоков на качество сточных вод в системе водоотведения // Сборник материалов XVII Международного экологического форума «День Балтийского моря». СПб., 2016. С. 78–79.

Alloway B. J. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Dordrecht: Springer, 2012. 613 p.

Bryan G. W. Pollution due to heavy metals and its compounds // Marine Ecology. 1984. Vol. 5. P. 1289–1431.

Coeurdassier M., Gomot D. V. A., Lovy C., Badot P. M. Is the cadmium uptake from soil important in bioaccumulation and toxic effects for snails? // Ecotox Environ Saf. 2002. Vol. 53. P. 425–431.

Dallinger R., Berger B., Triebskorn-Köhler R., Köhler H. Soil biology and ecotoxicology // The Biology of Terrestrial Molluscs. G. M. Barker (ed.). Wallingford: CABI Publ., 2001. P. 489–525.

Gomot A. V. D., Coeurdassier M., Pandard P., Scheifler R., Lovy C. et al. How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils // Environ Toxicol Chem. 2006. Vol. 25. P. 797–806.

Scott-Fordsmand J. J. Toxicity of Nickel to Soil Organisms in Denmark // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 1997. Vol. 148. P. 1–48.

Kamardin N. N., Lyubimtsev V. A., Kholodkevich S. V. On the possibility to use pulmonary mollusks for bioindication of the marine aerosol toxicity // 20th International Conference of Environmental Indicators (ICEI 2013). Trier, 16–19 September. 2013, Germany. P. 53.

Kholodkevich S. V., Kamardin N. N., Lyubimtsev V. A., Ivanov A. V., and Korniyenko E. L. Bioindication of Air Pollution Based on Biomarkers of the Cardiorespiratory System of the Mollusk *Achatina fulica* // Doklady Biological Sciences. 2010. Vol. 430. P. 54–56.

Vaufleury A. G. D., Pihan F. Methods for toxicity assessment of contaminated soil by oral or dermal uptake in land snails: metal bioavailability and bioaccumulation // Environ Toxicol Chem. 2002. Vol. 21. P. 820–827.

Wharfe J. Hazardous chemicals in complex mixtures – a role for direct toxicity assessment // Ecotoxicology. 2004. Vol. 13. P. 81–88.

Wihte K. N., Rainbow P. S. On the metabolic requirements for copper and zinc in mollusks and crustaceans // Mar. Environ. Res. 1985. Vol. 16. P. 215–229.

Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» СПбГУ.

MODEL STUDIES OF THE EFFECT OF AEROSOL WASTEWATER EMISSIONS ON TERRESTRIAL MOLLUSKS ACHATINA FULICA

KAMARDIN Nikolaj Nikolaevich	*Dr.Sci., Institution of Russian Academy of Sciences St. Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS (18,Korpusnaya st. 197110 St.Petersburg,Russia), nik-kamardin@yandex.ru*
LYUBIMTSEV Vasilij Alekseevich	*Ph.D., Institution of Russian Academy of Sciences St. Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS (18,Korpusnaya st. 197110 St.Petersburg,Russia), lyubimtcev55@mail.ru*
KHOLODKEVICH Sergej Viktorovich	*Dr. Sci., Institution of Russian Academy of Sciences St. Petersburg Scientific-Research Center for Ecological Safety RAS (18,Korpusnaya st. 197110 St.Petersburg,Russia), Kholodkevich@mail.ru*

Keywords: heavy metals, bioassay, mollusks, wastewater

Reviewer:
D. Bezmaternykh

Received on:
27 May 2016
Published on:
26 December 2016

Summary: The laboratory experiments were carried on using the juvenile mollusk Achatina fulica as a bioindicator of soil contamination and air pollution. It is shown that when experimental animals breathed and had dermal contact with the aerosols prepared from the wastewater and those prepared from two solutions of Ni in distilled water at two concentrations they weighed significantly less than controls . According to the results of AAS, heavy metals (HM), in particular Cd, Cu, Ni of sewage accumulated in the digestive gland of the shell. In model experiments mollusks were contained in the chamber periodically (2 hours of input and 2 hours of pause) filled with aerosol containing Ni at concentrations of 30 and 50 mg / dm3 nickel for two weeks It resulted in accumulation of Ni in the digestive gland of mollusks with concentrations 6 to 10 times exceeding controls, respectively. At that the experimental animals gained weight reliably slower than the controls contained in aquatic aerosol without Ni. The subsequent one week exposure of shells in aerosol, prepared from the distilled water without Ni reduced the concentration of nickel in the tissue of the digestive gland. Thus, bioavailability of HM and nickel solutions prepared from untreated wastewaters in breathing aerosol and possibly by skin contact was demonstrated. The toxicant delivery seems to occur apart from food intake.

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

УДК 574.52

ЭКОЛОГО-ФЛОРИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

КОЧЕТКОВА Анна Игоревна	*канд. биол. наук, Волжский гуманитарный институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования "Волгоградский государственный университет" (Волгоградская область, г. Волжский, ул. 40 лет Победы, д. 11), AIKochetkova@mail.ru*
ФИЛИППОВ Олег Васильевич	*канд. геогр. наук, Волжский гуманитарный институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования "Волгоградский государственный университет" (Волжский гуманитарный институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования "Волгоградский государственный университет"), ovfilippov@list.ru*
БАРАНОВА Мария Сергеевна	*Волжский гуманитарный институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования "Волгоградский государственный университет" (Волжский гуманитарный институт (филиал) федерального государственного автономного учреждения высшего образования "Волгоградский государственный университет"), maria_baranova2902@rambler.ru*

Ключевые слова: высшие водные растения, Волгоградское водохранилище, флористический состав

Получена: 13 мая 2016 года
Подписана к печати: 14 декабря 2016 года

Аннотация. В работе проанализированы многолетние гидроботанические исследования Волгоградского водохранилища. Проведено сравнение флоры различных частей водохранилища, расположенных в Волгоградской и Саратовской областях. При флористических исследованиях было обнаружено несколько видов, редких для флоры Волгоградской области и ранее не отмеченных для нее. Выявлены закономерности изменения флористического состава в зависимости от усиления аридизации климата и особенностей гидрологического режима Волгоградского водохранилища. Нестабильные гидрологические условия на водохранилище способствуют появлению новых свободных местообитаний, которые так необходимы для распространения и закрепления разнообразных, в том числе и новых заносных растений и образовавшихся гибридов.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Высшие водные растения – это один из главных компонентов аквального ландшафта, поддерживающего геоэкологическое равновесие в нем (Шашуловский, Мосияш, 2010).

Изучение водной флоры на Волгоградском водохранилище началось с момента его заполнения и продолжается по настоящее время. В этом отношении достаточно хорошо изучена акватория в пределах Саратовской области (Седова, 2007; Маевский и др., 2010). В работе В. А. Шашуловского, С. С. Мосияша (2010) достаточно подробно охарактеризована роль зарастающих мелководий для экосистемы водохранилища. Фактически отсутствуют современные публикации по описанию разнообразия флоры Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области.

Исходя их вышеперечисленного, целью данной работы является эколого-флористическая характеристика высших водных растений Волгоградского водохранилища.

Материалы

Волгоградское водохранилище образовано в результате перекрытия р. Волги 31 октября 1958 г. сооружениями Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС. Наполнение водохранилища до нормального подпорного уровня (НПУ) осуществлено в мае 1961 г. До ноября 1967 г. Волгоградское водохранилище было изолировано от каскада, и после перекрытия р. Волги у г. Балаково Саратовской ГЭС им. Ленинского комсомола стало ступенью каскада. Водохранилище после зарегулирования преобразовалось в проточное озеро, где значительные по площади участки мелководной затопленной поймы чередуются с глубоководными зонами коренного русла бывшей Волги (Волков, 1970).

По классификации И. В. Баранова (1961), Волгоградское водохранилище делится на три зоны. Верхняя зона проходит от г. Балаково до г. Саратова, средняя – от г. Саратова до г. Камышина и нижняя – от г. Камышина до створа плотины Волжской ГЭС. В пределах Саратовской области флору Волгоградского водохранилища изучала О. В. Седова (2007). Данная область охватывает верхнюю и часть средней зоны до залива Даниловка (правый берег) или пос. Красный Яр (левый берег) Волгоградского водохранилища. Южнее этой условной границы начинается Волгоградская область, которая захватывает среднюю и нижнюю зоны водохранилища. Для удобства сопоставления наших данных с результатами исследования О. В. Седовой (2007) флора Волгоградского водохранилища будет рассматриваться в пределах следующих зон: верхняя (от г. Балаково до г. Саратова), средняя (от г. Саратова до пос. Красный Яр), нижняя (от пос. Красный Яр до плотины Волжской ГЭС).

Материал для написания данной статьи был подготовлен на основании многолетних исследований, проводимых в ходе экспедиций «Волжский плавучий университет» в летний период с 2006 по 2015 г. Исследование зарастания мелководий проводилось в 35 пунктах мониторинга Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области (рис. 1). За все время наблюдения (10 лет) было сделано около 5250 флористических описаний.

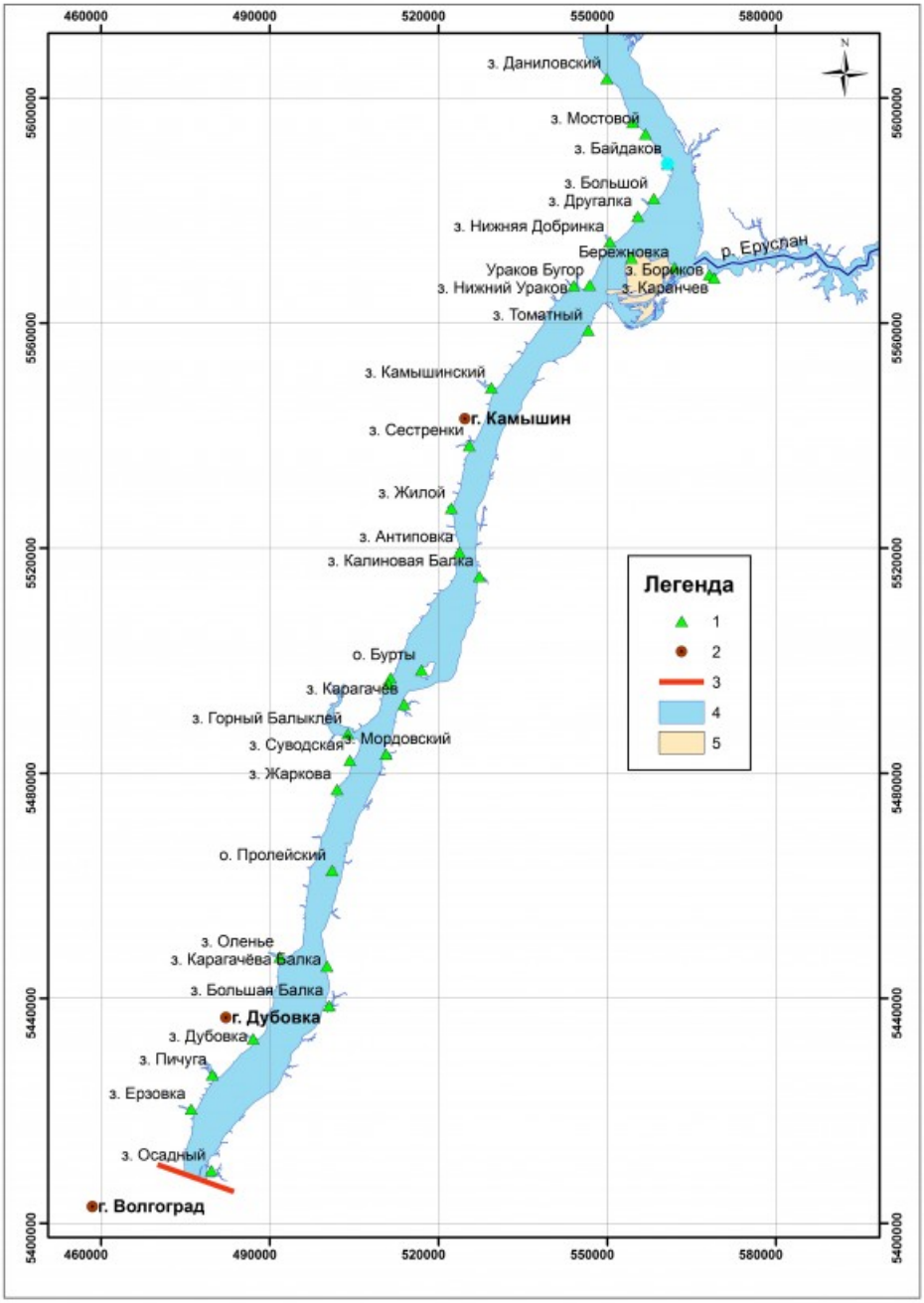


Рис. 1. Пункты мониторинга зарастания Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области: 1 – пункты мониторинга; 2 – крупные населенные пункты; 3 – плотина Волжской ГЭС; 4 – акватория Волгоградского водохранилища; 5 – острова

Fig. 1. Monitoring points of the Volgograd reservoir overgrowing within Volgograd region: 1 – monitoring points; 2 – large settlements; 3 – the dam of the Volga hydroelectric power station; 4 – water area of the Volgograd reservoir; 5 – Islands

Методы

Высшие водные растения обследовалась по методикам В. М. Катанской (1956, 1981). Виды растений определялись по П. Ф. Маевскому (2006). Полевые методы включали в себя картографирование и флористические описания.

Флористические описания Волгоградского водохранилища в пределах Саратовской области были взяты из работы О. В. Седовой (2007). Анализ флористического разнообразия в пределах Волгоградского водохранилища был произведен с помощью географической информационной системы (ГИС) в ArcGis 9.3. В

данной программе была создана база данных флористических описаний с указанием мест сбора гербарных коллекций (рис. 2). Структура ГИС включала в себя векторные слои: акватория Волгоградского водохранилища, острова, флора, населенные пункты, гидротехнические сооружения, административно-территориальные границы Волгоградской и Саратовской областей, природные зоны. Атрибутивная таблица флористических описаний состояла из следующих столбцов: название растения (латинское и русское), координаты, информация об авторе(ах) гербария (заполнялось по мере необходимости), описание местоположения, экологическая группа, изображение растения в природе. С помощью ГИС был произведен анализ встречаемости конкретного вида растения с графической визуализацией ареала его распространения.

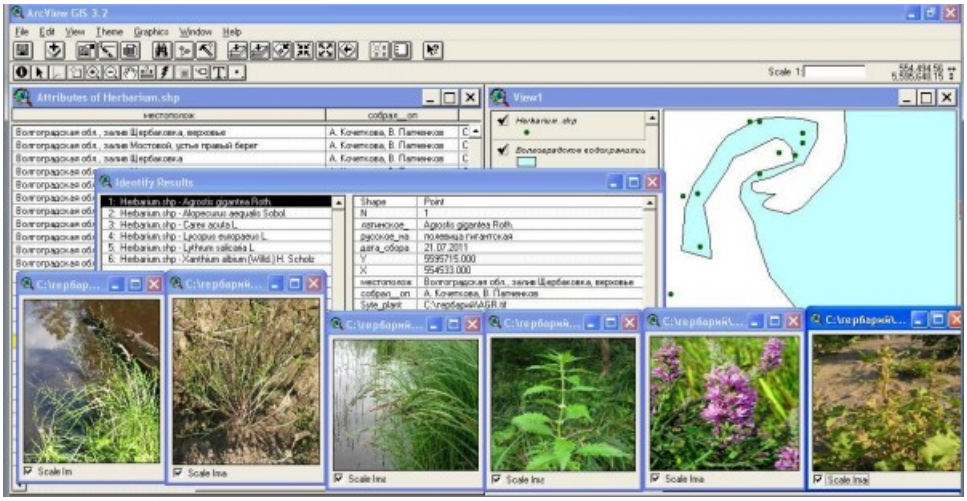


Рис. 2. ГИС гербарной коллекции Волжского гуманитарного института (филиала) Волгоградского государственного университета

Fig. 2. GIS herbarium collections of Volzhskij Humanitarian Institute of Volgograd State University

Результаты

Флора нижней части водохранилища насчитывает 159 видов растений из 85 родов, 46 семейств и 4 отделов. О. В. Седовой (2007) для этого водоема в пределах Саратовской области приведен 161 вид из 90 родов, 44 семейств и 3 отделов и отмечено уменьшение разнообразия флоры с севера на юг водохранилища. Наши исследования этого не подтвердили. Так, на верхнем участке известно 157 видов, на среднем – 135 видов, на нижнем – 145 видов и 14 гибридов.

Самые насыщенные видами семейства высших водных растений Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области: Астровые *(Asteraceae)* – 14 видов, Осоковые *(Cyperaceae)* – 18, Злаковые *(Gramineae)* – 14, Яснотковые *(Lamiaceae)* – 6, Рдестовые *(Potamogetonaceae)* – 5, Гречишные *(Polygonaceae)* – 11, Лютиковые *(Ranunculaceae)* – 5, Ивовые *(Salicaceae)* – 12, Рогозовые *(Typhaceae)* – 10. С большим разнообразием видов можно отметить роды: Череда *(Bidens)* – 5 видов, Осока *(Carex*) – 5, Горец *(Persicaria)* – 10, Рдест *(Potamogeton)* – 5, Ива *(Salix)* – 9, Камыш *(Scirpus)* – *7*, Рогоз *(Typha)* – 10.

Видовое богатство различных экологических групп растений с продвижением с севера на юг Волгоградского водохранилища различно, и это связано со сменой природных зон (рис. 3), в которых меняется отношение осадков к испаряемости (Малышев, 1992). Так, для лесостепи этот показатель составляет 0.85, степи – 0.77, сухостепи – 0.41 и полупустыни – 0.33 (Кретинин, 2011). Для растительных сообществ важным показателем является коэффициент увлажнения почв по Высоцкому, Иванову, который для приведенных выше природных зон меняется при движении с севера на юг в пределах от 0.20–0.45 до 0.10–0.17 (таблица). В аридных условиях к середине июня обводненные в период весеннего половодья мелководья успевают пересохнуть, и

влаголюбивые растения, которые успели за это время прорасти из семян, находятся либо в угнетенном состоянии, либо погибают (Экзерцев, 1966). Зона сырых местообитаний фактически тянется узкой полосой вдоль уреза воды и существует за счет заплеска воды при ее волнении (Экзерцев, 1966). В этих условиях возникает жесткая конкуренция видов четырех экотипов: гелофитов, гигрогелофитов, гигрофитов и мезофитов, – за увлажненные участки суши, и, как правило, чем дальше на юг по водохранилищу, тем явнее происходит вытеснение менее мощных растений нижнего яруса сообществ растениями верхнего яруса, который представлен тростником высочайшим (*Phragmites altissimus* (Benth.) Nabile), тростником южным (*Ph. australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), рогозом узколистным (*Typha angustifolia* L.). Так, на северной границе Волгоградской области по увлажненным прибрежьям достаточно широко распространены сообщества формаций ириса ложноаирового (Iriseta pseudacori), осоки береговой (Cariceta ripariae), осоки острой (Cariceta acutae), которые с продвижением на юг проявляются все реже и замещаются либо тростниковыми и рогозовыми сообществами, либо разрозненными группировками и сообществами более сухолюбивых растений. Чаще всего это заросли мезофита дурнишника беловатого (*Xanthium albium* (Willd.) H. Scholz) и растущих сплошной стеной по урезу воды древесно-кустарниковых ксерофитов аморфы кустарниковой (*Amorpha fruticosa* L.) и лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.).

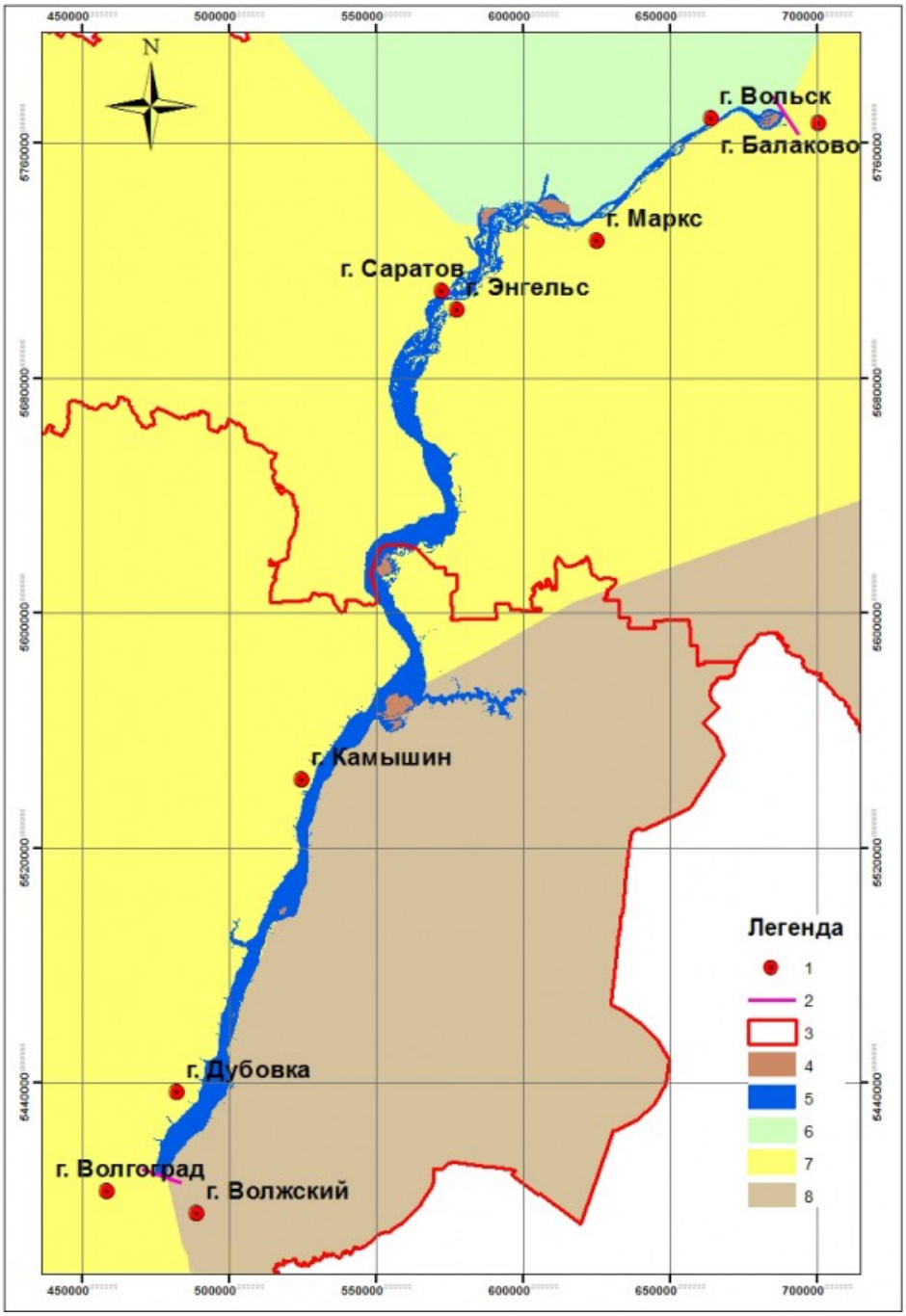


Рис. 3. Волгоградское водохранилище с указанием крупных населенных пунктов и природных зон: 1 – крупные населенные пункты; 2 – плотины; 3 – административные границы областей; 4 – острова; 5 – акватория Волгоградского водохранилища; 6 – широколиственные лесостепи и луговые степи умеренного климатического пояса; 7 – степи умеренного континентального климата; 8 – полупустыни континентального климата

Fig. 3. Volgograd reservoirwith indicating large settlements and natural zones: 1 – large settlements; 2 – dam; 3 – administrative boundaries of the regions; 4 – island; 5 – water area of the Volgograd reservoir; 6 – broad leaved forest-steppe and meadow steppes of temperate climatic zone; 7 – steppes of temperate continental climate; 8 – semideserts of continental climate

Таблица. Основные климатические показатели природных зон (Кретинин, 2011)

Природная зона	Теплообеспеченность	Количество осадков, мм	Водообеспеченность

	Основной период вегетации с t > 10 °С, дн.	Температура, °С			Коэффициент увлажнения почв по Высоцкому, Иванову	Высота снежного покрова, см
		июль	январь			
1	120–140	19.0–21.3	-10.5–13.5	350–500	0.20–0.45	50–60
2	145–179	20.0–23.0	-5.6–13.0	300–400	0.20–0.37	15–40
3	160–195	22.2–25.0	-2.0–12.0	250–350	0.12–0.25	10–15
4	155–188	22.0–25.8	-3.5–14.8	100–300	0.10–0.17	10–25

Примечание. Природные зоны: 1 – лесостепная; 2 – степная; 3 – сухостепная; 4 – полупустынная. t – температура воздуха.

С повышением засушливости территории в зонах степи и полупустыни происходит уменьшение коэффициента увлажнения почв и, как следствие, сужение прибрежной зоны до 0.5–1 м с постоянно высоким уровнем увлажнения. В таких условиях происходит понижение разнообразия растений переувлажненных и сырых мест обитаний (гигрогелофитов и гигрофитов) и повышение во флоре доли гигромезофитов и мезофитов, мезоксерофитов и ксерофитов (рис. 4).

Наличие большого разнообразия гидрофитов в пределах Саратовской области по сравнению с Волгоградской областью объясняется наличием здесь обширных мелководных участков и впадающих в водохранилище рек (Большой Иргиз, Малый Караман, Большой Караман, Терешка, Чардым, Курдюм, Тарлык (Филиппов, 2004)). Обогащение флоры водохранилища за счет стока рек очевидно, особенно для динамично зарастающих заливов устьев рек Терешка и Курдюм (см. рис. 4).

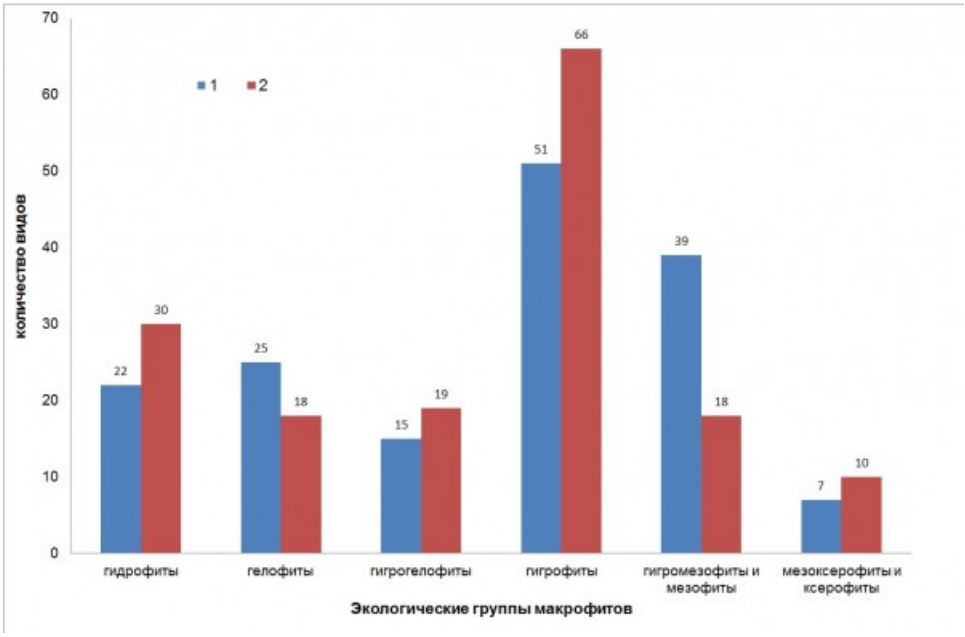


Рис. 4. Количество видов растений различных экологических групп Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области (оригинальные исследования) и Саратовской области (Седова, 2007): 1 – виды макрофитов в пределах Волгоградской области; 2 – виды макрофитов в пределах Саратовской области

Fig. 4. The number of species of different ecological groups in the Volgograd reservoir within Volgograd region (the original investigations) and Saratov region (Sedova, 2007); 1 – macrophyte species within Volgograd oblast; 2 – types of macrophytes within Saratov region

Нестабильные гидрологические условия на Волгоградском водохранилище

находят свое отражение в особенностях уровенного режима, изменении ширины отмели и абразионных процессах (Кочеткова и др., 2013). Анализ колебания уровня воды, по данным трех гидрологических постов, расположенных в городах Камышин, Дубовка и Волжский, позволяет сделать вывод о крайней непредсказуемости годового хода уровня воды на Волгоградском водохранилище. Так, в 2011 г. уровень воды в зимнюю межень достигал отметки 13.76 м балтийской системы высот (БС) и не выходил за предел 14.23 м БС; пик половодья длился с 7 апреля (13 м БС) до 28 апреля (15.28 м БС); летне-осенняя межень началась с 15 мая (14.90 м БС) и закончилась 18 октября (14.64 м БС); 9 ноября произошел спад уровня до отметки 13.84 м БС. Первопричиной таких колебаний уровня воды является искусственно-созданный человеком режим, который во многом отличается от естественных гидрологических условий до зарегулирования. В связи с этим резкое изменение уровня воды может стать лимитирующим фактором для некоторых представителей флоры и фауны Волгоградского водохранилища.

Под действием этих факторов появляются новые свободные местообитания, которые так необходимы для распространения и закрепления разнообразных, в том числе и заносных, растений и образовавшихся гибридов (Папченков, 2001). Среди инвазионных видов в прибрежной части водохранилища нами зарегистрировано только два представителя: аморфа кустарниковая и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) (рис. 5).



Рис. 5. Прибрежный участок Волгоградского водохранилища с заносными видами *Amorpha fruticose* и *Fraxinus pennsylvanica*
Fig. 5. The coastal patch of the Volgograd reservoir with introduced species *Amorpha fruticose* and *Fraxinus pennsylvanica*

Во флоре Волгоградского водохранилища было выявлено 14 гибридов, относящихся к разным экотипам. К гелофитам относятся 4 гибрида: камыш озерный х камыш Табернемонтана (*Scirpus lacustris* L. × *S. tabernaemontani* (C. C. Gmel) Palla), рогоз узколистный х рогоз Лаксмана (*Typha angustifolia* × *T. laxmannii* Lepech.), рогоз сизый (*Typha* × *glauca* Godron (*T . angustifolia* × *T. latifolia* L.)), рогоз Смирнова (*Typha* × *smirnovii* E. Mavrodiev (*T. latifolia* × *T. laxmannii*)); гигрофитам – 9 гибридов: череда сростнолопастная х череда олиственная (*Bidens connata* Muehl. ex Willd.

× *B . frondosa* L.), череда олиственная х череда гароннская (*Bidens frondosa* × *B.* × *garumnae* Jeaniean et Debray), осока черноколосая х осока береговая (*Carex* × *toezensis* Simonk. (*C. melanostachya* Bieb. ex Willd × *C. riparia* Curt.)), горец пятнистый х горец малый *Persicaria* × *brauniana* (S. F. Schultz) Soják (*P. maculata* (Rafin.) A. et D. Löve × *P. minor* (Huds.) Opiz), горец земноводный х горец пятнистый (*P.* × *i n t e r c e d e n s* (Beck) Soják (*P. hydropiper* (L.) Spach. × *P. maculata*), *горец развесистый х горец пятнистый* (*Persicaria* × *lenticularis* (Beck.) Soják (*P. lapathifolia* (L.) S. F. Gray *x P. maculata*)), ива листохвостовидная (*S a l i x* × *alopecuroides* Tausch (*S. fragilis* L. × S. *triandra* L.)), *ива краснеющая (Salix* × *rubens* Schrank (*S. alba* L. × *S. fragilis* L.), *S.* × *undulata* Ehrh.), мезофитам – 1 гибрид тополь канадский *Populus* × *canadensis* Moench. (*P. nigra* L. × *P. deltoides* Marsh.).

Водная составляющая общей флоры Волгоградского водохранилища (гидрофиты, гелофиты, гигрогелофиты) в пределах Волгоградской области представлена 62 видами, 31 родом, 20 семействами. Самым разнообразным родом является *Typha*, содержащий 10 видов, следующими идут *Potamogeton* и *Scirpus* (по 5 видов), *Alisma* (*Частуха*), *Carex*, *Lemna* (Ряска) и *Sparganium* (Ежеголовник) (по 3 вида).

Наиболее широко распространенными видами среди гидрофитов являются шелковник завитой *(Batrachium circinatum* (Sibth.) Spach*),* каулиния малая *(Caulinia minor* (All.) Coss. et Germ.*),* роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.), элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.*),* водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae L.*), *ряска горбатая (Lemna gibba* L.), ряска малая (*L. minor* L.*),* ряска трехдольная (*L. trisulca* L.), *уруть мутовчатая (Myriophyllum verticillatum* L.), наяда большая (*Najas major* All.*),* горец земноводный (*P. hydropiper* L.*),* рдест курчавый *(Potamogeton crispus* L.), рдест блестящий (*P. lucens* L.), рдест узловатый (*P. nodosus* Poir.), рдест гребенчатый (*P. pectinatus* L.), рдест пронзеннолистный (*P. perfoliatus* L.), сальвиния плавающая (*Salvinia natans* (L.) All.*),* многокоренник обыкновенный *(Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.); среди гелофитов – частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.*),* сусак зонтичный *(Butomus umbellatus* L.*),* манник большой *(Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.*),* тростник южный*,* камыш озерный*,* камыш Табернемонтана*,* камыш трехгранный *(Scirpus triqueter* L.*),* ежеголовник всплывающий *(Sparganium emersum* Rehm.*),* ежеголовник прямой (*S . erectum* L.*),* ежеголовник незамечаемый (*S. neglectum* Beeby*),* рогоз узколистный, рогоз юго-восточный (*Typha austro-orientalis* Mavrodiev), рогоз сизый*,* стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.); гигрогелофитов – полевица побегообразующая (*Agrostis stolonifera* L.*),* клубнекамыш широкоплодный *(Bolboschoenus laticarpus* Marhold et al.*),* осока береговая, осока острая, ирис ложноаировый; гигрофитов – лисохвост равный (*Alopecurus aequalis* Sobol.), ежовник обыкновенный *(Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.), хвощ ветвистый (*Equisetum ramosissimum* Desf.*),* леерсия рисовидная (*Leersia oryzoides* (L.) Swartz*),* зюзник европейский (*Lycopus europaeus* L.*),* зюзник высокий (*L. exaltatus* L.*),* двукисточник тростниковый (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch.), тростник высочайший, ива краснеющая, чистец болотный (*Stachys palustris* L.); гигромезофитов и мезофитов – полевица гигантская (*Agrostis gigantea* Roth), ива белая (*Salix alba* L.*),* ива Виноградова (*Salix vinogradovii* A. Skvorts.*),* дурнишник беловатый, ясень пенсильванский; мезоксерофитов и ксерофитов – аморфа кустарниковая, лох узколистный.

Среди гидрофитов преобладает род *Potamogeton*, представленный пятью видами: *P. crispus*, *P. lucens*, *P. nodosus*, *P. pectinatus*, *P. perfoliatus*. Самым многочисленным родом гелофитов является *Typha*, представленный *T. angustifolia*, *T. angustifolia* × *T. laxmannii*, *T. austro-orientalis*, *T . elata*, *T. elatior*, *T.* × *glauca*, *T. intermedia*, *T. laxmannii*, *T.* × *smirnovii*, *T. tichomirovii*. В группе гигрогелофитов нами было зафиксировано 15 видов, из которых три принадлежат роду *Carex* (*C. acuta*, *C. cespitosa* и *C. riparia)*, а остальные роды этой группы содержат 2 и менее видов. Растения сырых местообитаний (гигрофиты)

отличаются от других групп большим видовым разнообразием. Так, р о д *Persicaria* представлен 9 видами и гибридами: *P . × brauniana, P. hydropiper, P. hypanica, P. × intercedens, P. lapathifolia, P. × lenticularis, P. maculata, P. minor, P. tomentosa.*

При проведении флористических исследований нами обнаружено несколько видов, редких для флоры Волгоградской области и ранее не отмеченных для нее (Алексеев и др., 2006; Голуб и др., 2002). К редким видам Волгоградской области относятся:

Bidens radiata Thuill. Вид в Волгоградской области был найден в устье р. Щербаковки. Л. И. Лисицыной и др. (2009) во «Флоре водоемов Волжского бассейна» приводится без частоты встречаемости и мест нахождения (Лисицына и др., 2009). Указан для дельты Волги (Голуб и др., 2002).

Persicaria hypanica (Klok.) Tzvel. Вид относится к гигрофитам. Был найден в пределах Волгоградской области на о. Молчановка. Данный вид в Волгоградской области был известен восточнее и западнее р. Волги (Цвелев, 1996). А также обнаружен в Ярославской области (Рыбинское водохранилище, обсохшие мелководья у Коприно) (Папченков, Гарин, 2000), Марий Эл и Чувашии (Куйбышевское водохранилище, Сидельниковские о-ва и о. Криушинский) (Папченков, 2007).

Persicaria tomentosa (Schrank) Bicknell. Это гигрофит. Найден нами в Камышинском районе Волгоградской области на о. Молчановка и заливе Нижний Ураков. В области встречается редко (Цвелев, 1996).

Из ранее не отмеченных нами были выявлены следующие виды:

Typha elata Boreau. Данный вид нами был отмечен в октябре 2012 г. на левобережье Волгоградского водохранилища в устье залива р. Еруслан. По сборам В. Г. Папченкова (IBIW) вид встречается и в Саратовской области у пос. Пристанное. Е. В. Мавродиевым (1999) данный вид в Волгоградской области зафиксирован не был. *T. elata* Boreau произрастает на прибрежных мелководьях с глубинами 1(2) м, поэтому включен нами в группу высокотравных воздушно-водных растений (гелофитов).

Veronica pseudoscardica Papch. Данный гигрогелофит был найден нами на Волгоградском водохранилище в пределах Камышинского района Волгоградской области в правобережном заливе Нижний Ураков. Вид был ранее собран в Прибалтике и на Средней Волге в Звениговском районе Марий Эл в одном из притоков р. Илеть и до сих пор был известен только в этих местах (Папченков, 2001).

Кроме этого, во флоре нижней части водохранилища зафиксированы и ранее не отмеченные гибриды: *Bidens connata × B. frondosa, Carex × toezensis, Persicaria × brauniana*, *P . × intercedens*, *P . × lenticularis, Salix × alopecuroides*, *S . × undulata*, *Scirpuslacustris × S. tabernaemontani.* Их распространение связано с периодически затапливаемыми прибрежьями, что характерно для группы гигрофитов.

Заключение

1. Флористический состав высших водных растений Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области представлен 159 видами растений из 85 родов и 46 семейств.
2. При движении с севера на юг вдоль Волгоградского водохранилища происходит последовательная смена природных зон лесостепной – степной – полупустынной. При данных условиях усиливается аридность территории, что влечет за собой понижение разнообразия растений переувлажненных и сырых мест обитаний (гигрогелофитов и гигрофитов) и повышение во флоре доли гигромезофитов и мезофитов, мезоксерофитов и ксерофитов.
3. По берегам Волгоградского водохранилища в пределах Волгоградской области зафиксировано 14 гибридных видов и 2 инвазионных вида (аморфа кустарниковая и ясень пенсильванский).
4. При проведении флористических исследований было обнаружено 3 вида, редких для флоры Волгоградской области (*Bidens radiata* Thuill., *Persicaria hypanica* (Klok.),

Persicaria tomentosa (Schrank) Bicknell.), и 2 вида, ранее не отмеченных для нее (*Typha elata* Boreau., *Veronica pseudoscardica* Papch.).

Библиография

Алексеев Ю. Е., Клинкова Г. Ю., Лактионов А. П. Флора Нижнего Поволжья . М.: КМК, 2006. Т. 1: (Споровые, голосеменные, однодольные). 435 с.

Волков С. А. Микроклиматические характеристики озеровидных расширений Волгоградского водохранилища // Тр. компл. экспедиции. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1970. Вып. 1. С. 7–13.

Баранов И. В. Опыт биогидрохимической классификации водохранилищ европейской части СССР // Изв. ГосНИОРХ. 1961. Т. 50. С. 279–322.

Голуб В. Б., Лактионов А. П., Бармин А. Н., Пилипенко В. Н. Конспект флоры сосудистых растений долины Нижней Волги . Тольятти: Институт экологии Волжского бассейна РАН, 2002. 509 с.

Катанская В. М. Методика исследования высшей водной растительности // Жизнь пресных вод СССР. 1956. Т. 4. Ч. 1. С. 160–182.

Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения . Л.: Наука, 1981. 187 с.

Кочеткова А. И., Филиппов О. В., Папченков В. Г., Зимин М. В. Пространственно-временной анализ зарастания Волгоградского водохранилища // Проблемы региональной экологии. 2013. № 6. С. 260–266.

Кретинин В. М. Естественные леса и почвы Нижнего Поволжья . Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. 120 с.

Лисицина Л. И., Папченков В. Г., Артеминко В. И. Флора водоемов волжского бассейна. Определитель сосудистых растений. М.: Товар-во науч. изданий КМК, 2009. 219 с.

Мавродиев Е. В. Морфолого-биологические особенности и изменчивость рогозов (*Typha*) в России : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1999. 19 с.

Маевский В. В., Горбунов В. С., Баяков Д. А., Коннова С. А., Амерканов Х. Х. Флора Волгоградского водохранилища в окрестностях Саратова и Энгельса // Материалы I (VII) Междунар. конф. по водным макрофитам «Гидроботаника 2010» (пос. Борок, 9–13 октября 2010 г.). 2010. С. 200–202.

Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России . 10-е изд. М.: КМК, 2006. 600 с.

Малышев Л. И. Биологическое разнообразие в пространственной перспективе // Биол. разнообразие: Подходы к изучению и сохранению: Материалы конф. БИН РАН и ЗИН РАН 14–15 февраля и 14–15 мая 1990 г. СПб., 1992. С. 41–53.

Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья . Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 214 с.

Папченков В. Г., Гарин Э. В. Флористические находки в бассейне Верхней Волги // Ботанический журнал. 2000. Т. 85. № 12. С. 97–101.

Папченков В. Г. Флористические находки в бассейне Средней Волги // Ботанический журнал. 2007. Т. 92. № 10. С. 1580–1587.

Седова О. В. Пространственно-временная динамика флоры Волгоградского водохранилища в административных границах Саратовской области : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2007. 20 с.

Филиппов О. В. Формирование природных аквальных комплексов озерной части Волгоградского водохранилища в условиях измененного гидрологического режима : Дис. ... канд. геогр. наук. Волгоград, 2004. 217 с.

Цвелев Н. Н. Сем. Polygonaceae Juss. – Гречишные // Флора Восточной Европы. СПб.: Мир и семья-95, 1996. Т. 9. С. 98–157.

Шашуловский В. А., Мосияш С. С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы . М.: КМК, 2010. 250 с.

Экзерцев В. А. Растительность литорали Волгоградского водохранилища на

третьем годе его существования // Растительность волжских водохранилищ. М.: Наука, 1966. С. 143–161.

Благодарности

Автор выражает благодарность д. б. н. В. Г. Папченкову за огромную помощь в анализе полевого материала.

ECOLOGICAL AND FLORISTIC CHARACTERISTICS OF HIGHER AQUATIC PLANTS IN VOLGOGRAD RESERVOIR

KOCHETKOVA Anna Igorevna — *Ph.D., Volzhskij Humanitarian Institute of Volgograd State University (Volgograd Region, Volzhskij. 40 years of Victory st., 11), AIKochetkova@mail.ru*

FILIPPOV Oleg Vasil — *Ph.D., Volzhskij Humanitarian Institute of Volgograd State University (Volgograd Region, Volzhskij, 40 years of Victory st., 11), ovfilippov@list.ru*

BARANOVA Maria Sergeevna — *VolzhskijHumanitarian Institute of Volgograd State University (Volgograd Region, Volzhskij, 40 years of Victory st., 11), maria_baranova2902@rambler.ru*

Keywords: higher aquatic plants, Volgograd reservoir, floristic composition

Received on: 13 May 2016
Published on: 14 December 2016

Summary: In this paper the long-term gydro-botanical studies of Volgograd reservoir were analyzed. Flora in different parts of the reservoir, located in Volgograd and Saratov regions was compared. In the floristic investigations, several species of flora, rare in Volgograd region and previously not noted were revealed. The regularities in the floristic composition changes depending on the amplification of climate aridity and features of the hydrological regime of the Volgograd reservoir were determined. Unstable hydrological conditions in the reservoir contribute to the emergence of new free habitats, which are so necessary for the spread and establishment of different plants, including new invasive ones and formed hybrids.

Романова Е. Б., Николаев В. Ю., Соломайкин Е. И., Бакиев А. Г., Горелов Р. А. Оценка лейкоцитарного состава крови гадюки обыкновенной Vipera berus из Самарской области // Принципы экологии. 2016. № 5. С. 30–45. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5422

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
https://ecopri.ru https://petrsu.ru

УДК 574.3.591

ОЦЕНКА ЛЕЙКОЦИТАРНОГО СОСТАВА КРОВИ ГАДЮКИ ОБЫКНОВЕННОЙ VIPERA BERUS ИЗ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

РОМАНОВА Елена Борисовна	*Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского (Россия, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), romanova@ibbm.unn.ru*
НИКОЛАЕВ Вадим Юрьевич	*Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского (Россия, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), darthtiger@yandex.ru*
СОЛОМАЙКИН Евгений Игоревич	*Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского (Россия, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), e7v4gen5iy@yandex.ru*
БАКИЕВ Андрей Геннадьевич	*Институт экологии Волжского бассейна РАН (Россия, 445003, Тольятти, Комзина, 10), herpetology@list.ru*
ГОРЕЛОВ Роман Андреевич	*Институт экологии Волжского бассейна РАН (Россия, 445003, Тольятти, Комзина, 10), gorelov.roman@mail.ru*

Ключевые слова: Vipera berus, лейкоцитарная формула, рептилии, периферическая кровь

Рецензент: В. А. Илюха

Получена: 19 июня 2016 года
Подписана к печати: 14 декабря 2016 года

Аннотация. Изучены лейкоцитарные формулы периферической крови гадюки обыкновенной Vipera berus из Национального парка «Самарская Лука» и лесопарковой городской зоны г. Самары. Для гадюки обыкновенной из г. Самары, по сравнению с популяцией самарского правобережья (Национальный парк «Самарская Лука»), выявлено возрастание доли основных клеток агранулоцитарного ряда (азурофилов и лимфоцитов), свидетельствующее о повышении защитной функции крови. Установленные особенности лейкоцитарного состава связаны как с популяционно-генетическими особенностями, так и со спецификой среды обитания, накладывающей отпечаток на физиологическое состояние рептилий.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Кровь – наиболее дифференцированная и реактивная соединительная ткань. Являясь внутренней средой организма, представляет собой совокупность специализированных клеток и обеспечивает выполнение важнейших физиологических функций. У рептилий доля периферической крови составляет приблизительно 5–7 % от

массы тела (Павлов, Юсупов, 2015). С наличием в крови белых кровяных телец (лейкоцитов) связана специфическая (адаптивный иммунитет), неспецифическая (в первую очередь фагоцитоз) защита организма, уровень стрессового воздействия (Davis et al., 2008). Измерение количественного соотношения лейкоцитарных клеток в крови животных позволяет оценить не только физиологическое состояние организма, но и его адаптивный потенциал (Хамидов и др., 1978; Чернышова, Старостин, 1994; Coico et al., 2003; Силс, 2008; Минеева, Минеев, 2011 и др.), а также получить сравнительные гематологические характеристики популяций рептилий в условиях антропогенного стресса.

Целью работы являлось изучение лейкоцитарной формулы крови гадюки обыкновенной *Vipera berus* (Linnaeus, 1758) из популяций в Самарской области.

Материалы

Отлов гадюк (68 особей) проводили в правобережной (Национальный парк «Самарская Лука», 19 особей) и левобережной (г. Самара, 49 особей) популяциях в 2013–2014 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Время и места отлова гадюк

Время отлова	Места отлова	Самки	Самцы
Июль 2013 г.	Волжский район Самарской области, Национальный парк «Самарская Лука» в окрестностях с. Шелехметь (естественного происхождения, особо охраняемая зона национального парка, редко посещаемая отдыхающими и рыбаками)	5	14
Май 2014 г.	Красноглинский район г. Самары (лесопарковая городская зона, часто посещаемая отдыхающими и спортсменами)	13	6
Июль 2014 г.		14	2
Сентябрь 2014 г.		3	11
Всего		35	33

Методы

Кровь брали пункцией иглой, смоченной в гепарине, из верхнечелюстной вены. После этого змей возвращали в место отлова. От каждой особи готовили мазки крови общепринятым гематологическим методом (окраска по Романовскому – Гимзе). Готовые мазки просматривали с иммерсией при увеличении ×1500.

Мононуклеарные клетки дифференцировали на азурофилы, моноциты и лимфоциты. Гранулоциты разделяли на две группы: ацидофилы и базофилы, дополнительно выделяя гетерофилы и эозинофилы, отличающиеся друг от друга формой и цветом гранул (рис. 1).

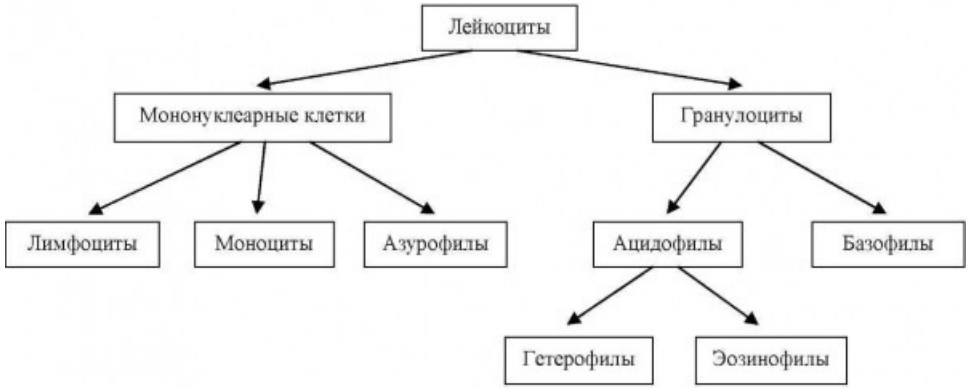


Рис. 1. Классификация клеток лейкоцитарного ряда клеток рептилий (по: Coico et al., 2003; Arican, Cicek, 2010; Zimmerman et al., 2010; Лисничая, Ефимов, 2014 и др.)
Fig. 1. Classification of reptiles white blood cells (according to: Coico et al., 2003; Arican, Cicek, 2010; Zimmerman et al., 2010; Lisnichaya, Efimov, 2014, et al.)

На основании подсчета лейкоцитарной формулы рассчитывали индекс сдвига лейкоцитов крови как отношение суммы гранулоцитов к сумме агранулоцитов.

Цифровое изображение лейкоцитарных клеток крови выполнено камерой Vision CAM для тринокулярного микроскопа Meiji Techno с использованием интегрированного адаптера и разъема C-mount (увеличение ×1500).

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с учетом нормальности распределения данных непараметрическим методом с расчетом критериев Манна – Уитни, Дана, Спирмана в пакете прикладных программ «Statistica». За величину статистической значимости принимали a = 0.05.

Результаты

Количественная оценка (%) основных видов лейкоцитарных клеток (формула крови, или лейкограмма) основана на распознавании образа клеток за счет различия их внешнего вида. Классификация лейкоцитов рептилий затруднена: частично за счет вариабельности строения клеток у разных видов, частично из-за присутствия большого количества незрелых форм, а также из-за отсутствия единой номенклатуры в литературе и проведения исследования клеточного состава крови различными, несогласованными методиками (Соколина и др., 1997). В целом лейкоциты рептилий можно разделить на две большие группы: гранулоциты и мононуклеары, то есть имеющие сегментированное и несегментированное ядро клетки. Гранулоциты можно разделить на две группы по цвету, в который окрашивается их цитоплазма в мазках крови по Романовскому – Гимзе: ацидофилы (розовый) и базофилы (фиолетовый). Ацидофилы, в свою очередь, делятся на гетерофилы и эозинофилы, отличающиеся друг от друга формой и цветом гранул.

Гетерофилы – это крупные (10–23 мкм) округлые клетки с бесцветной цитоплазмой, содержащей эозинофильные (оранжевые) палочко- или веретенообразные гранулы, преломляющие свет (Saint Girons, 1970). Края клеток могут быть неровными, в некоторых ситуациях можно даже наблюдать псевдоподии (ложноножки). Ядро зрелого гетерофила располагается эксцентрично, имеет округлую или овальную форму с глыбками концентрированного хроматина (рис. 2). Эозинофилы (рис. 3) – это крупные (11–17 мкм) округлые клетки со светло-синей цитоплазмой, округлым или овальным ядром, расположенным эксцентрично, и большим количеством округлых эозинофильных цитоплазматических гранул (Arikan, Cicek, 2014).

Базофилы (рис. 4), лимфоциты (рис. 5) и моноциты (рис. 6) крови рептилий схожи с таковыми у млекопитающих и птиц. Что касается дифференцировки у рептилий мононуклеарных клеток, то все исследователи выделяют моноциты и лимфоциты. Кроме того, у чешуйчатых, крокодилов и черепах в отдельный класс мононуклеаров выносят азурофилы (Martinez-Silvestre et al., 2005; Хайрутдинов, Соколина, 2010; Stacy et al., 2011). Азурофилы описаны как клетки нерегулярной формы (Frye, 1991). Ядро у

них несегментированное, имеет неправильную округлую, овальную или двудольчатую форму. Хроматин ядра имеет зернистый вид. Цитоплазма базофильная, темнее, чем у моноцитов, окрашивается в интенсивный синий цвет, в ней присутствует небольшое количество матовых азурофильных гранул (Campbell, 2006) (рис. 7). Надо отметить, что существует и альтернативное мнение ряда авторов, полагающих, что моноциты и азурофилы рептилий по сути являются одним типом клеток (Veterinary..., 2012).

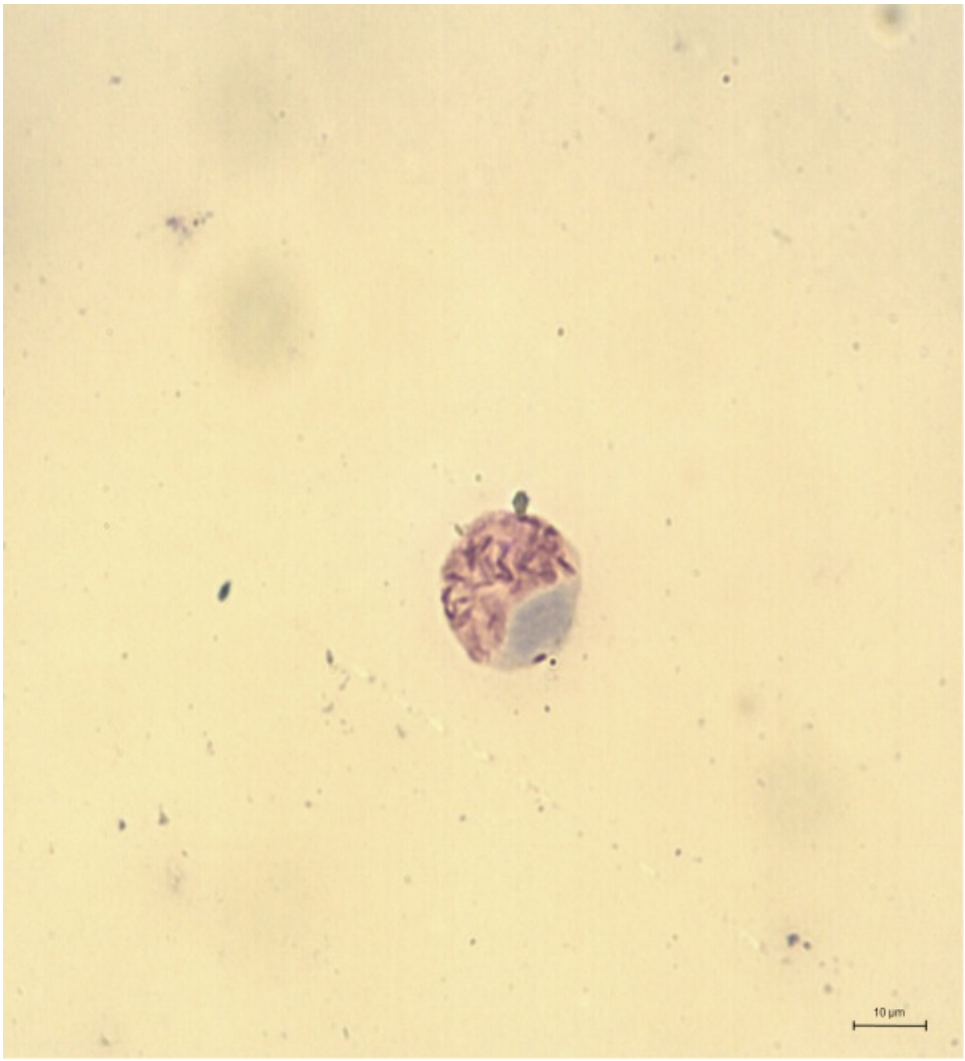




Рис. 2. Гетерофилы гадюки обыкновенной
Fig. 2. Heterophils of *Vipera berus*

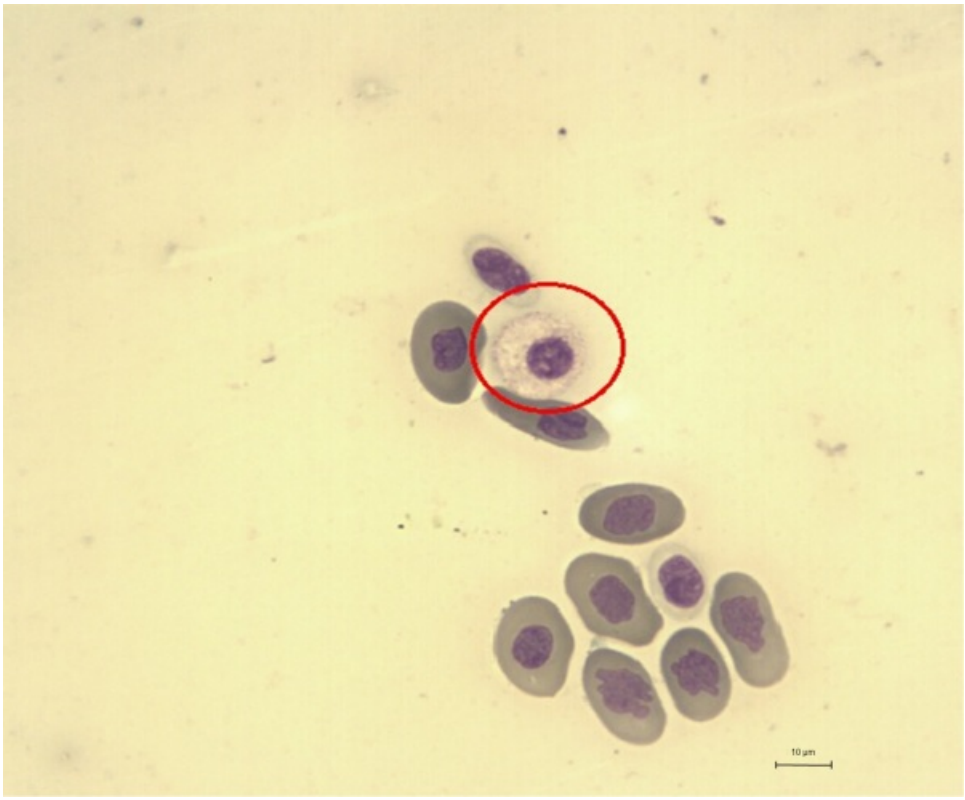


Рис. 3. Эозинофил гадюки обыкновенной
Fig. 3. Eosinophil of *Vipera berus*

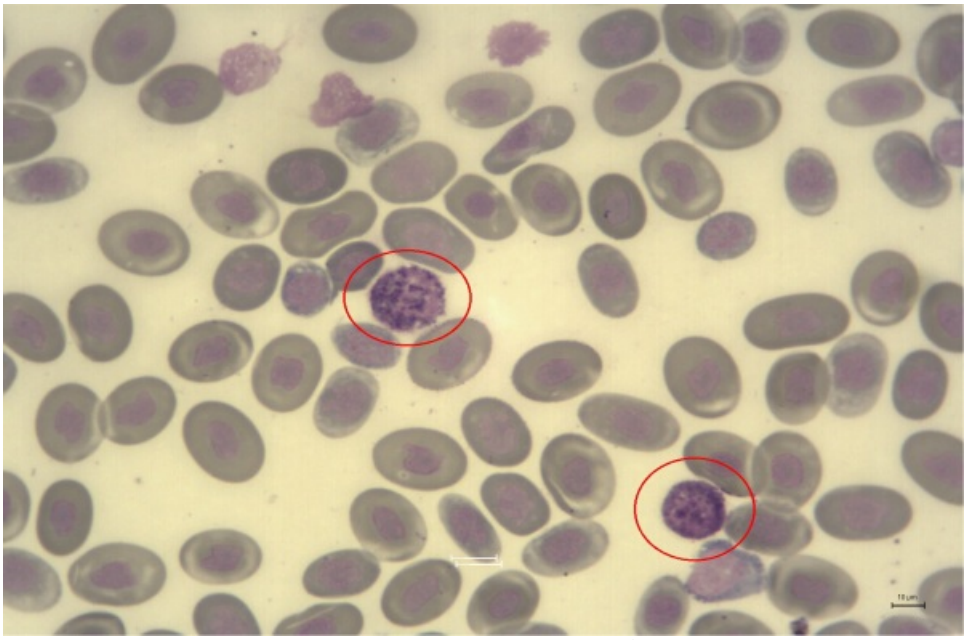


Рис. 4. Базофилы гадюки обыкновенной
Fig. 4. Basophils of *Vipera berus*

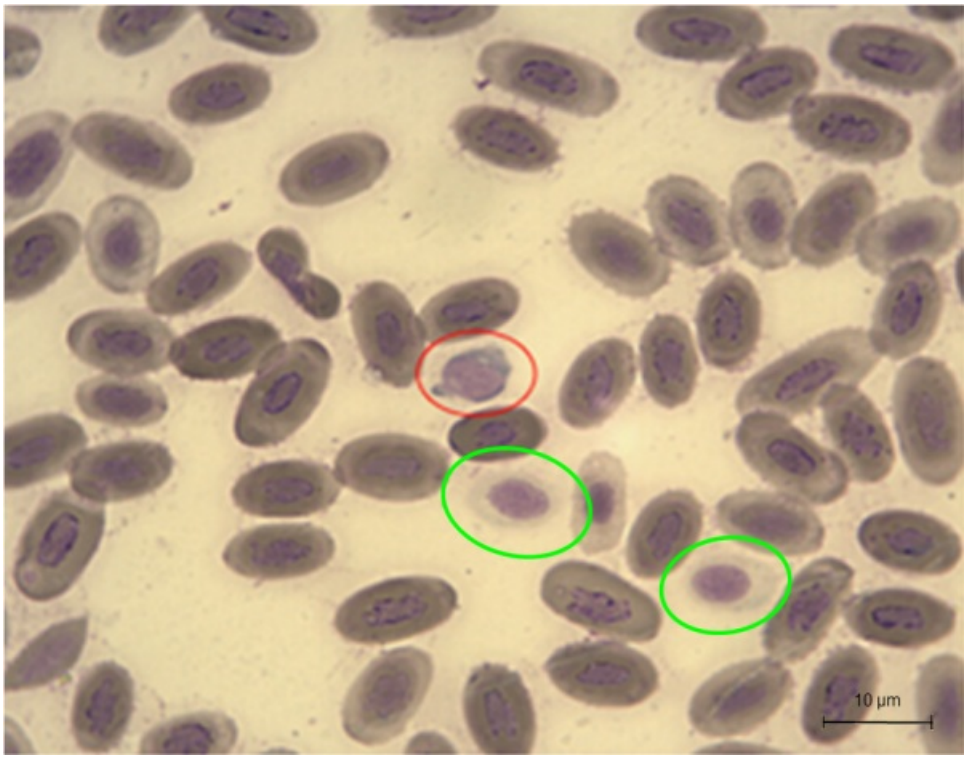


Рис. 5. Лимфоцит (красный цвет) и тромбоциты (зеленый цвет) гадюки обыкновенной

Fig. 5. Lymphocyte (red color) and thrombocytes (green color) of*Vipera berus*



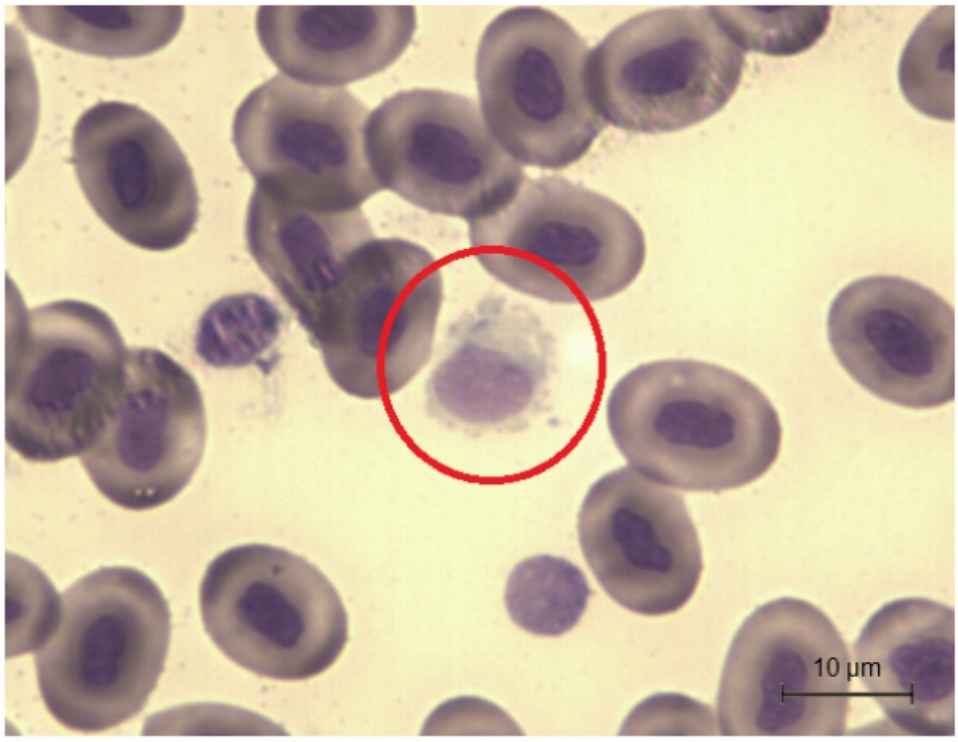


Рис. 6. Моноциты гадюки обыкновенной
Fig. 6. Monocytes of *Vipera berus*

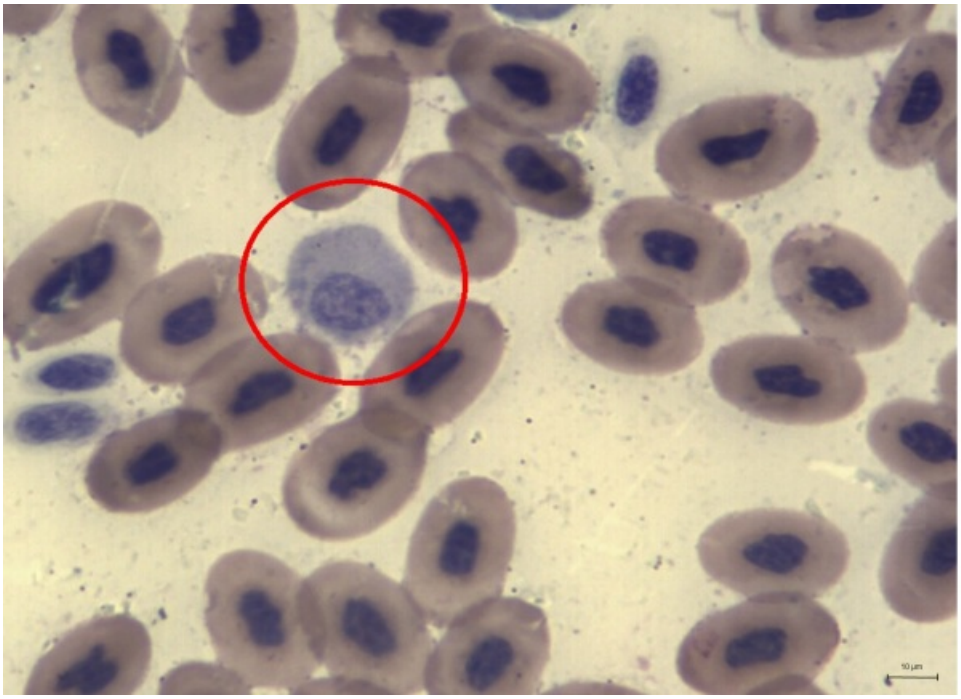


Рис. 7. Азурофил гадюки обыкновенной
Fig. 7. Azurophils of *Vipera berus*

С учетом анализа сведений литературы и собственных данных, в приготовленных мазках крови гадюки обыкновенной была проведена дифференцировка следующих клеток: среди гранулоцитов выделяли гетерофилы, эозинофилы и базофилы, среди агранулоцитов – азурофилы, моноциты и лимфоциты.

У самок и самцов гадюки обыкновенной, отловленных в Национальном парке «Самарская Лука», различий между полами в содержании форменных элементов в крови не выявлено (табл. 2).

Таблица 2. Лейкоцитарная формула периферической крови гадюки обыкновенной из Национального парка «Самарская Лука»

Показатель лейкограммы	Самцы (n = 14)	Самки (n = 5)	Критерий Манна – Уитни (u, a)
Гетерофилы, %	11.14 ± 0.40	10.20 ± 1.01	1.29, 0.19
Эозинофилы, %	9.14 ± 0.31	9.00 ± 0.89	0.37, 0.71
Базофилы, %	6.71 ± 0.54	6.60 ± 1.02	0.37, 0.70
Азурофилы, %	9.78 ± 0.60	9.00 ± 0.83	0.51, 0.61
Моноциты, %	12.71 ± 0.69	13.60 ± 1.77	0.37, 0.71
Лимфоциты, %	50.57 ± 1.08	51.20 ± 2.51	0.23, 0.81
Индекс сдвига лейкоцитов, отн. ед.	0.34 ± 0.01	0.32 ± 0.03	1.01, 0.31

Самки (табл. 3) и самцы (табл. 4) гадюки обыкновенной, отловленные в разное время 2014 г. в Самаре, также не различались по лейкоцитарному составу крови.

Таблица 3. Лейкоцитарный состав периферической крови самок гадюки обыкновенной из г. Самары

Показатель лейкограммы	Время отлова		Критерий Манна – Уитни (u, a)
	май 2014 г. (n = 13)	июль и сентябрь 2014 г. (n = 17)	
Гетерофилы, %	8.07 ± 1.02	9.11 ± 0.75	0.83, 0.40
Эозинофилы, %	8.23 ± 0.62	7.23 ± 0.65	1.07, 0.29
Базофилы, %	4.53 ± 0.67	3.52 ± 0.62	1.08, 0.28
Азурофилы, %	12.69 ± 0.87	12.94 ± 0.85	0.19, 0.84
Моноциты, %	6.07 ± 0.74	7.88 ± 0.81	1.58, 0.12
Лимфоциты, %	60.38 ± 1.37	59.29 ± 1.39	0.54, 0.58
Индекс сдвига лейкоцитов, отн. ед.	0.27 ± 0.02	0.25 ± 0.02	0.52, 0.60

Таблица 4. Лейкоцитарный состав периферической крови самцов гадюки обыкновенной из г. Самары

Показатель лейкограммы	Время отлова		Критерий Манна – Уитни (u, a)
	май 2014 г. (n = 6)	июль, сентябрь 2014 г. (n = 13)	
Гетерофилы, %	10.00 ± 1.17	8.30 ± 0.81	1.15, 0.26
Эозинофилы, %	8.16 ± 0.80	8.00 ± 0.80	0.12, 0.90
Базофилы, %	4.33 ± 0.94	4.30 ± 0.77	0.01, 0.98
Азурофилы, %	10.50 ± 1.03	12.15 ± 0.83	1.16, 0.26
Моноциты, %	5.33 ± 0.63	7.46 ± 0.73	1.84, 0.08
Лимфоциты, %	61.66 ± 0.90	59.76 ± 1.64	0.76, 0.45

Индекс сдвига лейкоцитов, отн. ед.	0.29 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.79, 0.43

При сравнении лейкоцитарных формул установлено перераспределение соотношения мононуклеарных клеток, выражающееся в возрастании доли азурофилов (u = 2.28, a = 0.02), лимфоцитов (u = 2.61, a = 0.008), и снижение доли моноцитов (u = 2.92, a = 0.003) (табл. 5) в крови самок гадюк из г. Самары по отношению к самкам из Национального парка «Самарская Лука».

Таблица 5. Лейкоцитарный состав периферической крови самок гадюки обыкновенной из Самарской области

Показатель лейкограммы	Место отлова		Критерий Манна – Уитни (u, a)
	Национальный парк «Самарская Лука» (n = 5)	г. Самара (n = 30)	
Гетерофилы, %	10.20 ± 1.01	8.66 ± 0.61	0.84, 0.39
Эозинофилы, %	9.00 ± 0.89	7.66 ± 0.46	1.06, 0.28
Базофилы, %	6.60 ± 1.02	3.96 ± 0.46	1.93, 0.05
Азурофилы, %	9.00 ± 0.83	12.83 ± 0.60	**2.28, 0.02**
Моноциты, %	13.60 ± 1.77	7.10 ± 0.58	**2.92, 0.003**
Лимфоциты, %	51.20 ± 2.51	59.76 ± 0.97	**2.61, 0.008**
Индекс сдвига лейкоцитов, отн. ед.	0.32 ± 0.03	0.26 ± 0.01	1.79, 0.07

Примечание. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Для самцов гадюки обыкновенной исследованных выборок различия были более выраженными и затрагивали кроме агранулоцитов и гранулоцитарный росток гемопоэза, о чем свидетельствовало снижение доли гетерофилов (u = 2.16, a = 0.03) и базофилов (u = 2.44, a = 0.01) в крови гадюки обыкновенной из г. Самары (табл. 6). Показатель индекса сдвига лейкоцитов у самцов самарского левобережья оказался статистически значимо ниже аналогичного показателя для правобережной популяции. Известно, что лейкоцитарный индекс характеризует степень выраженности эндоинтоксикации и свидетельствует о напряженности компенсаторных процессов в организме. Снижение этого показателя может быть в самом простом случае связано с возрастанием в крови доли агранулоцитов и активацией защитных процессов в организме, обусловленных в определенной мере уровнем антропогенного воздействия. С другой стороны, это свидетельствует о различиях в механизмах адаптации рептилий к среде обитания, что требует дальнейшего детального изучения.

Таблица 6. Лейкоцитарный состав периферической крови самцов гадюки обыкновенной из Самарской области

Показатель лейкограммы	Место отлова		Критерий Манна – Уитни (u, a)
	Национальный парк «Самарская Лука» (n = 14)	г. Самара (n = 19)	
Гетерофилы, %	11.14 ± 0.40	8.84 ± 0.69	**2.16, 0.03**
Эозинофилы, %	9.14 ± 0.31	8.05 ± 0.61	1.18, 0.23

Базофилы, %	6.71 ± 0.54	4.32 ± 0.63	**2.44, 0.01**
Азурофилы, %	9.78 ± 0.60	11.63 ± 0.67	1.78, 0.07
Моноциты, %	12.71 ± 0.69	6.79 ± 0.57	**4.42, 0.00001**
Лимфоциты, %	50.57 ± 1.08	60.37 ± 1.15	**4.33, 0.000015**
Индекс сдвига лейкоцитов, отн. ед.	0.34 ± 0.01	0.27 ± 0.02	**3.09, 0.001**

Примечание. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

В целом можно заключить, что мононуклеарные клетки в лимфоцитарно-гранулоцитарном составе периферической крови обыкновенной гадюки из Самарской области составляли 70–80 %; из них лимфоциты у самок – 56.50 ± 1.34 %, самцов – 51.59 ± 1.27 %, моноциты у самок – 8.00 ± 0.57 %, самцов – 9.33 ± 0.54 %, азурофилы у самок – 11.33 ± 0.62 %, самцов – 9.43 ± 0.48 %. Доля гранулоцитов составляла 20–25 %, из них гетерофильных у самок – 8.69 ± 0.49 %, самцов – 8.64 ± 0.48 %, эозинофильных у самок – 7.42 ± 0.40 %, самцов – 6.85 ± 0.36 %, базофильных у самок – 4.95 ± 0.62 %, самцов – 6.52 ± 0.70 %. Диаграмма диапазонов («коробочный график») наглядно демонстрирует сразу несколько параметров распределения клеток: центральные тенденции (среднее значение), характеристики рассеяния (минимальное и максимальное значения), – и свидетельствует о долевом преобладании лимфоцитов в крови гадюки обыкновенной (рис. 8).

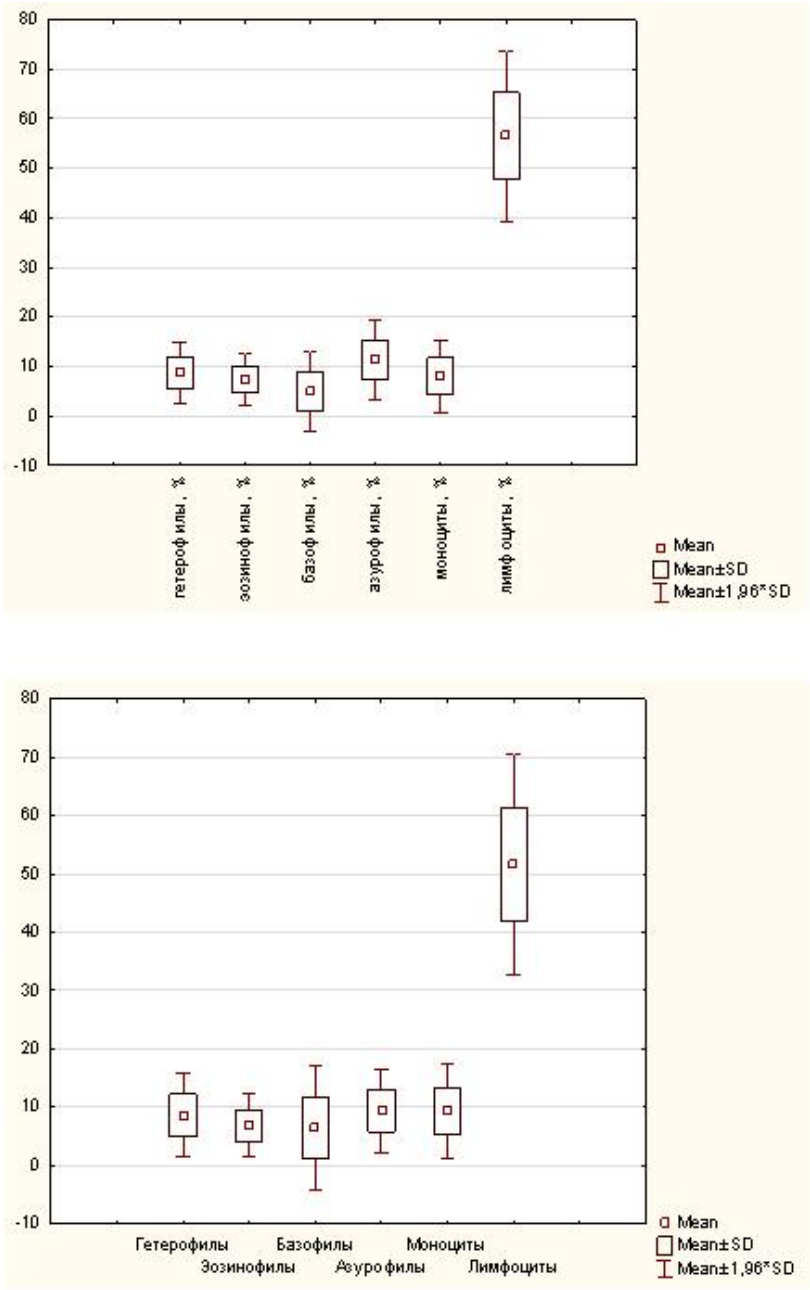


Рис. 8. Распределение количественных показателей лейкоцитарного состава периферической крови самок (А) и самцов (Б) гадюки обыкновенной из Самарской области: по оси ординат – доля клеток (%), по оси абсцисс – вид лейкоцитов

Fig. 8. The quantitative leucocyte composition distribution in peripheral blood of female (A) and male (B) V*ipera berus* from Samarskaya Oblast: y-axis - the proportion of cells (%), x-axis - the kind of white blood cells

Методом многомерного дисперсионного анализа было проведено сравнение по усредненным лейкоцитарным показателям выборок гадюки обыкновенной, различающихся по ряду факторов (полу, сезону, месту обитания). Полученное значение лямбды Уилкса ($\lambda_{Wilks} = 0.372, p < 0.001$) свидетельствовало о значимости различий по совокупности показателей лейкоцитарного состава крови между выборками охраняемой территории (Национальный парк «Самарская Лука») и урбанизированной территории (г. Самара).

По результатам лейкоцитарного состава крови был проведен анализ исследованных выборок из популяций гадюки обыкновенной методом главных компонент. При помощи графика каменистой осыпи были выделены две компоненты (два фактора) с качеством репрезентации 98.8 %. Первая главная компонента,

соответствующая максимальному собственному значению (6.73), описывает приблизительно 96.14 % общей вариации. Вторая компонента (0.18) описывает 2.68 % общей вариации. В первую главную компоненту наибольший вклад вносят эозинофилы (0.992), базофилы (0.999), гетерофилы (0.962), моноциты (0.977) и индекс сдвига лейкограммы (0.988). Вклад во вторую главную компоненту наиболее сильно коррелирует с содержанием азурофилов (0.281) (рис. 9).

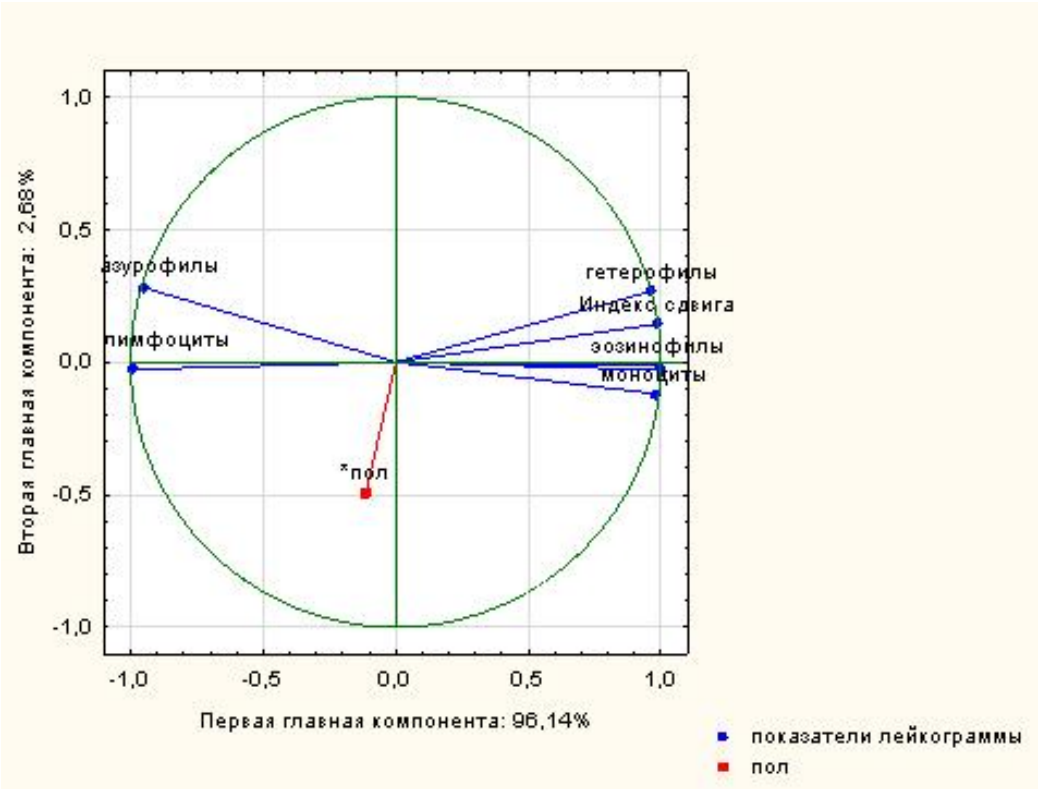


Рис. 9. График факторных координат, построенный на основе лейкоцитарных показателей крови гадюки обыкновенной

Fig. 9. Graph of factor coordinates based on the quantitative leucocyte composition of *Vipera berus*

График распределения исследованных выборок гадюки обыкновенной в пространстве двух главных компонент (рис. 10) визуализирует полученный результат. По первой главной компоненте популяция урбанизированной территории (г. Самара) противостоит популяции охраняемой территории (Национальный парк «Самарская Лука»). Гадюка обыкновенная охраняемой территории занимает первый (самцы) и четвертый (самки) квадранты. Гадюка обыкновенная урбанизированной территории – второй (самки) и третий (самцы) квадранты. Различия по полу выражены гораздо слабее, чем по местообитанию.

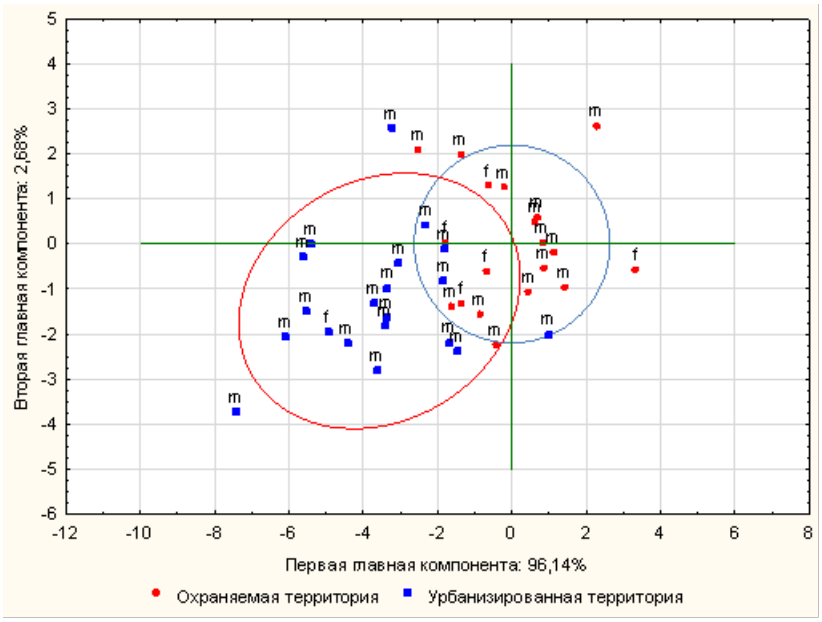


Рис. 10. Распределение выборок гадюки обыкновенной охраняемой и урбанизированной территорий (m – самцы, f – самки)
Fig. 10. Distribution of *Vipera berus* samples from the protected and urbanized areas (m – males, f – females)

Исследование линейной связи 15 анализируемых пар показателей лейкограммы корреляционным методом Спирмана (*r*) выявило различия в существовании и силе корреляционных взаимосвязей у самцов и самок гадюки обыкновенной. У самцов наличие статистически значимой корреляции установлено только в паре «базофилы – лимфоциты», показывающее, что возрастание доли лимфоцитов согласовано со снижением доли базофилов в периферической крови (табл. 7).

Таблица 7. Результаты корреляционного анализа для лейкоцитарных формул самцов гадюки обыкновенной (*r*, a)

Вид лейкоцитов	Гетерофилы	Эозинофилы	Базофилы	Азурофилы	Моноциты	Лимфоциты
Гетерофилы	–	-0.08, 0.718	0.04, 0.971	-0.08, 0.735	-0.15, 0.530	-0.45, 0.052
Эозинофилы	-0.08, 0.718	–	-0.19, 0.415	-0.13, 0.588	-0.13, 0.590	-0.23, 0.343
Базофилы	0.04, 0.971	-0.19, 0.415	–	0.001, 0.995	0.06, 0.785	**-0.50, 0.0288**
Азурофилы	-0.08, 0.735	-0.13, 0.588	0.001, 0.995	–	-0.21, 0.368	-0.35, 0.138
Моноциты	-0.15, 0.530	-0.13, 0.590	0.06, 0.785	-0.21, 0.368	–	-0.24, 0.314
Лимфоциты	-0.45, 0.052	-0.23, 0.343	**-0.50, 0.0288**	-0.35, 0.138	-0.24, 0.314	–

Примечание. Жирным шрифтом выделена статистически значимая корреляция.

Для самок гадюки обыкновенной число коррелирующих пар показателей было больше (3 из 15): лимфоциты – базофилы; лимфоциты – азурофилы; лимфоциты – моноциты. Таким образом, у самок гадюки возрастание доли лимфоцитов в крови было согласовано не только со снижением доли базофилов (r = -0.41, R^2 = 0.16, p = 0.022),

но и мононуклеарными клетками: азурофилами (r = -0.50, R^2 = 0.25, p = 0.005) и моноцитами (r = -0.56, R^2 = 0.31, p = 0.001) (табл. 8).

Таблица 8. Результаты корреляционного анализа для лейкоцитарных формул самок гадюки обыкновенной (r, а)

Вид лейкоцитов	Гетерофилы	Эозинофилы	Базофилы	Азурофилы	Моноциты	Лимфоциты
Гетерофилы	–	-0.33, 0.074	0.01, 0.921	-0.36, 0.05	-0.09, 0.622	-0.20, 0.289
Эозинофилы	-0.33, 0.074	–	-0.08, 0.642	-0.06, 0.741	-0.32, 0.078	-0.06, 0.724
Базофилы	0.01, 0.921	-0.08, 0.642	–	-0.12, 0.514	0.08, 0.65	**-0.41, 0.022**
Азурофилы	-0.36, 0.05	-0.06, 0.741	-0.12, 0.514	–	0.23, 0.221	**-0.50, 0.005**
Моноциты	-0.09, 0.622	-0.32, 0.078	0.08, 0.65	0.23, 0.221	–	**-0.56, 0.001**
Лимфоциты	-0.20, 0.289	-0.06, 0.724	**-0.41, 0.022**	**-0.50, 0.005**	**-0.56, 0.001**	–

Примечание. Жирным шрифтом выделена статистически значимая корреляция.

Заключение

Известно, что наличие корреляции между показателями вовсе не означает обязательной причинно-следственной связи между ними, и биологическая интерпретация установленных отношений связана с более выраженной у самок гадюк активацией адаптивного иммунитета. Для поддержания гомеостаза организма при действии различных стрессовых факторов среды (биотических и антропогенных) и самки, и самцы используют универсальный набор эффекторных клеток, среди которых азурофилы, моноциты, гетерофилы, базофилы и эозинофилы. Это компоненты врожденных иммунных реакций (Coico et al., 2003; Davis et al., 2008), они действуют, чтобы ограничить распространение инфекции, и активируют клетки адаптивного иммунитета, в первую очередь лимфоциты. Другими словами, реакции врожденного иммунитета создают условия для развертывания клеточно-опосредованного или гуморального адаптивного иммунитета, формирующегося при участии лимфоцитов. Для гадюки обыкновенной из левобережной популяции (лесопарковая зона г. Самары), по сравнению с правобережной популяцией (Национальный парк «Самарская Лука»), выявлено возрастание доли основных клеток агранулоцитарного ряда (азурофилов и лимфоцитов), свидетельствующее о повышении защитной функции крови. Установленные особенности лейкоцитарного состава связаны как с популяционно-генетическими особенностями, так и со спецификой среды обитания, накладывающей отпечаток на физиологическое состояние рептилий.

Библиография

Лисничая Е. Н., Ефимов В. Г. Особенности исследования морфологического состава крови рептилий // Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК. 2014. Т. 2. № 1. С. 61–74. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ndbnndc_2014_2_1_11.pdf (дата обращения 22.03.2016).

Минеева О. В., Минеев А. К. Нарушения лейкоцитарной формулы крови озерной лягушки Саратовского водохранилища // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2011. № 2. С. 94–97.

Павлов А. В., Юсупов Р. Х. Система крови // Бакиев А. Г., Гаранин В. И., Гелашвили

Д. Б. и др. Гадюки (Reptilia: Serpentes: Viperidae: *Vipera*) Волжского бассейна. Ч. 1 . Тольятти: Кассандра, 2015. С. 137–155.

Силс Е. А. Сравнительный анализ гематологических показателей остромордой (*Rana arvalis*, Nilsson, 1842) и озерной (*Rana ridibunda*, Pallas, 1771) лягушек городских популяций // Вестн. Оренбург. ун-та. 2008. № 10 (92). С. 230–235.

Соколина Ф. М., Павлов А. В., Юсупов Р. Х. Гематология пресмыкающихся: Методическое пособие к курсу герпетологии, большому практикуму и семинарам . Казань: Казан. ун-т, 1997. 31 с.

Хайрутдинов И. З., Соколина Ф. М. Характеристика крови рептилий и ее связь с условиями среды обитания . Казань: Казан. ун-т, 2010. 44 с.

Хамидов Д. Х., Акимов А. Т., Турдыев А. А. Кровь и кроветворение у позвоночных животных . Ташкент: Фан, 1978. 168 с.

Чернышова Э. В., Старостин В. И. Периферическая кровь лягушек рода*Rana* как тест-система для оценки загрязнения окружающей среды // Изв. РАН. 1994. Сер. биол. № 4. С. 656–660.

Arican H., Cicek K. Morphology of peripheral blood cells from various species of Turkish Herpetofauna // Acta Herpetologica. 2010. Vol. 5. № 2. P. 179–198.

Arican H., Cicek K. Haematology of amphibians and reptiles: a review // North-Western journal of zoology. 2014. Vol. 10. № 1. P. 190–209. URL: http://biozoojournals.ro/nwjz/index.html (дата обращения 22.03.2016).

Campbell T. W. Clinical pathology of reptiles // Reptile medicine and surgery. 2nd edition. St. Louis (MO): Saunders Publishing, 2006. P. 453–470.

Coico R., Sunshine G., Benjamini E. Immunology: A Short Course. Hoboken; NJ: Wiley-Liss Publications, 2003. 500 p.

Davis F. R., Maney D. L., Maers J. C. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists // Functional Ecology. 2008. Vol. 22. P. 760–772.

Frye F. L. Hematology as applied to clinical reptile medicine // Biomedical and surgical aspect of captive reptile husbandry. Vol. 1. Malabar, Florida: Krieger Publishing Co., 1991. P. 209–280.

Martinez-Silvestre A., Marco I., Rodriguez-Dominguez M. A., Lavin S., Cuenca R. Morphology, cytochemical staining, and ultrastructural characteristics of blood cells of the giant lizard E1 Hierro (*Gallotia simonyi*) // Research in Veterinary Science. 2005. Vol. 78. P. 127–134.

Saint Girons M. C. Morphology of the circulating blood cells // Biology of Reptilia. Vol. 3. London; New York: Academic Press, 2005. 1970. P. 73–91.

Stacy N., Alleman A. R., Sayler F. Diagnostic Hematology of Reptiles // Clin. Lab. Med. 2011. Vol. 31. P. 87–108.

Veterinary Hematology and Clinical Chemistry. 2nd edition. Wiley-Blackwell, 2012. 776 p.

Zimmerman L. M., Vogel L. A., Bowden R. M. Understanding the vertebrate immune system: insights from the reptilian perspective // J. Exp. Biol. 2010. Vol. 213. P. 661–671.

Благодарности

Авторы выражают признательность А. В. Павлову (Волжско-Камский заповедник) за ценные замечания.

ASSESSMENT OF LEUKOCYGRAM OF VIPERA BERUS FROM SAMARA REGION

ROMANOVA Elena Borisovna	*Nizhny Novgorod's Lobachevsky State University (23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russia), romanova@ibbm.unn.ru*
NIKOLAEV Vadim Yuryevich	*Nizhny Novgorod's Lobachevsky State University (23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russia), darthtiger@yandex.ru*
SOLOMAJKIN Evgenij Igorevich	*Nizhny Novgorod's Lobachevsky State University (23 Gagarin Av., Nizhny Novgorod 603950, Russia), e7v4gen5iy@yandex.ru*
BAKIEV Andrej Gennadyevich	*Institute of Ecology of the Volga River Basin of RAS(10 Komzin St., Togliatti 445003, Russia), herpetology@list.ru*
GORELOV Roman Andreevich	*Institute of Ecology of the Volga River Basin of RAS(10 Komzin St., Togliatti 445003, Russia), gorelov.roman@mail.ru*

Keywords:
Vipera berus, WBC (White blood cells), reptiles, peripheral blood

Reviewer:
V. A. Ilyukha

Received on:
19 June 2016
Published on:
14 December 2016

Summary: The leucogram of peripheral blood of the common adder Vipera berus inhabiting the national park "Samarskaya Luka" and the forested urban area of Samara were studied. In the adders from Samara the activation of immune processes, and the enhancement of the blood protective function were revealed. It was shown that the determined features of leucogram were connected with genetic characteristics of adders' population.

Симонов С. А., Матанцева М. В. Предварительные итоги сравнительного анализа массы, размеров и теплоизоляционных качеств гнезд певчих дроздов (Turdus philomelos) в центре и на севере гнездового ареала // Принципы экологии. 2016. № 5. С. 46–55. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5702

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
https://ecopri.ru

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
https://petrsu.ru

УДК 57.08:591.562:598.288.5

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА МАССЫ, РАЗМЕРОВ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ГНЕЗД ПЕВЧИХ ДРОЗДОВ (TURDUS PHILOMELOS) В ЦЕНТРЕ И НА СЕВЕРЕ ГНЕЗДОВОГО АРЕАЛА

СИМОНОВ Сергей Александрович — *к. б. н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук (185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11), ssaves@gmail.com*

МАТАНЦЕВА Мария Валерьевна — *к. б. н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук (185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11), mariamatantseva@gmail.com*

Ключевые слова: Turdus philomelos, чашеобразные гнезда, дендрофильные птицы, масса гнезд, размеры гнезд, теплоизоляция гнезд, географическая изменчивость, адаптации

Рецензент:
Т. Ю. Хохлова

Получена:
21 августа 2016 года
Подписана к печати:
01 декабря 2016 года

Аннотация. Основная цель исследования состояла в сравнении географически обусловленных адаптивных характеристик гнезд, определяющих эффективность теплоизоляции, на примере гнезд певчих дроздов (Turdus philomelos) на севере и в центре гнездового ареала. Материал собран в течение полевого сезона 2015 г. в Карелии (64º27’N, 30º17’E) и в 2016 г. в Мордовии (54º44’N, 45º30’E). На первом этапе исследования оценивали и сопоставляли основные размерные параметры и массу гнезд, а также расчетные величины – объем и плотность конструкций из разных частей ареала. На втором этапе проводили сравнительный анализ распределения тепловых полей по поверхности гнезд при предварительном прогреве внутренней части сферическим термостатом, что позволило провести прямое сравнение теплоизоляционных характеристик всех построек. Согласно полученным данным массовые и размерные характеристики гнезд в центре и на севере ареала статистически не различались, за исключением такого параметра, как высота гнезда. Высота гнезд на севере за счет увеличения толщины дна была достоверно больше высоты гнезд в центре ареала. Объем гнезд на севере также оказался достоверно большим, чем в центре ареала. Последнее, ввиду отсутствия различий в массе, можно объяснить перераспределением материала в пределах постройки за счет увеличения толщины дна и выявленного уменьшения общей плотности конструкций северных гнезд, что приводит к повышению их теплоизоляционной эффективности по сравнению с гнездами из более южного района.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Ареал певчего дрозда *Turdus philomelos* охватывает территорию от Испании и Ирана до 70° с. ш. и от Ирландии до Байкала (Tomiałojć, 1997), несколько варьируя в соответствии с изменением характера растительности и наличием труднопреодолимых преград к расселению (Tomiałojć, 1992). При этом более 75 % певчих дроздов мировой фауны гнездятся и зимуют в пределах Европейского континента (Harrison, 2003), при этом на значительной части территории, за исключением Великобритании и Юго-Западной Европы, обитают представители номинативного подвида. Таким образом, территория Российской Федерации дает возможность охватить как центральные участки ареала гнездования, так и его периферию. Значительная протяженность ареала позволяет использовать представителей вида в качестве модельных объектов изучения начальных стадий адаптивных изменений, включая этологическую адаптацию и, в частности, географическую специфику гнездостроительного поведения.

Наряду с этим актуальность исследования усиливают локально наблюдаемые изменения численности представителей вида. Так, на протяжении последних 25 лет в Великобритании отмечено 50 % сокращение численности певчего дрозда по причинам, в основном связанным с антропогенным преобразованием гнездопригодных участков (Gregory et al., 2002). В целом на территории Европы популяционный индекс певчего дрозда классифицируют как moderate decline – умеренно сокращающийся (Song Thrush…, 2016), что привлекает внимание орнитологов к представителям вида и обостряет актуальность подобных исследований.

Естественные различия условий обитания при перемещении в широтном и долготном направлениях согласно существующим концепциям, отражающим представления об адаптивном изменении признаков в географическом аспекте (Mayr, 1956), предполагают реакцию в виде адаптации для успешного обитания в каждой

конкретной точке ареала. Проявление адаптации следует ожидать в соответствии с одной из основных функций гнезда – создание оптимального микроклимата для развития потомства в условиях возможных проявлений факторов окружающей среды в районе гнездования (Mainwaring et al., 2004b). При этом возможность проследить характер адаптивных изменений на уровне теплоизоляционных характеристик построек появилась лишь в последние годы благодаря созданию высокочувствительной тепловизионной техники.

Цель нашей работы состояла в сравнении адаптивных характеристик гнезд, определяющих эффективность теплоизоляции. Для достижения цели проведен сравнительный анализ пространственной организации и показателей естественной и безводной массы гнезд в разных точках гнездового ареала. Сопоставлены тепловизионные изображения распределения тепловых полей по поверхности гнезд после прогрева лотка сферическим термостатом в полевых условиях для определения показателей, определяющих эффективность термоизоляции построек, и прямой оценки интенсивности теплопотерь через поверхности гнезда.

Материалы

Материалы исследований получены в ходе полевого сезона 2015 г. в Карелии, на территории Государственного природного заповедника «Костомукшский» (64º27’ N, 30º17’ E), и в 2016 г. в Мордовии, на территории национального парка «Смольный» (54º44’ N, 45º30’ E).

В местах исследований мы проводили массовый поиск гнезд певчего дрозда. Для проведения измерений из числа всех найденных построек мы отбирали лишь гнезда без видимых повреждений, относительно однотипно расположенные на деревьях, на высоте от 1,5 до 2,5 м, для компенсации влияния характера гнездового субстрата. Следует подчеркнуть, что в данной работе мы не обсуждаем вопрос выбора гнездовых субстратов, которые, несомненно, могут повлиять на теплоизоляционные качества примыкающих к ним участков гнезд. Учитывая высокую пластичность певчего дрозда в выборе гнездового субстрата, в том числе и непосредственно в пределах районов наших исследований (Яковлева, Хохлова, 2008; Хохлова, 2011), на данном этапе исследований участки плотного соприкосновения с гнездовым субстратом исключали из анализа распределения тепловых полей.

При проведении сравнительного анализа изымали гнезда, разоренные или брошенные на этапе кладки или первых дней жизни птенцов, с целью исключения влияния естественного изменения характеристик построек при росте птенцов и эксплуатации гнезд, а также по причине того, что работа в обоих регионах проводилась в пределах особо охраняемых природных территорий. При этом сбор гнезд проводили в начале сезона, чтобы избежать гнезд второго цикла и по возможности не включать в анализ постройки повторного гнездования, поскольку зачастую более поздние гнезда характеризуются более низким качеством и могут исказить результаты сравнительного анализа. С учетом всех приведенных выше условий отбора материала в Карелии было собрано и обработано 11 гнезд, в Мордовии – 9 построек. При этом на разных этапах анализа использованы данные только по гнездам, полностью соответствующим критерию однородности значимых признаков (*N* в каждом случае указано в иллюстрациях к материалам). В анализ распределения тепловых полей включены 77 тепловизионных изображений, формирующих панорамную термограмму всей поверхности каждого гнезда.

Методы

Измерение гнезд включало основные промеры: наружный и внутренний диаметр, высоту и глубину гнезд, и было проведено с помощью металлической линейки с точностью до 0.5 см (измерение с более высокой точностью считаем нецелесообразным ввиду естественной ассиметричности гнезд и отсутствия четкой границы в местах скругления края постройки). Крайние точки измерений отмечали по условной линии, в соответствии с которой проходит скругление более 80 % элементов

материала, образующих стенку гнезда. Отдельные элементы, выступающие за пределы основного массива материала, не учитывали. Объем гнезд вычисляли с использованием формулы, выведенной на основе уравнений объема сфероида, тора и цилиндра, производя соответствующие форме гнезда усечения элементов (Simonov, Matantseva, 2015).

После изъятия гнезда взвешивали при естественном уровне увлажнения и после высушивания в низкотемпературной печи до момента стабилизации массы образца для приведения гнезд в равные условия увлажнения материала с целью повышения репрезентативности сравнительного анализа массы построек и в последующем – их плотности.

Непосредственно после изъятия гнезд проводили количественное измерение термоизоляционных характеристик. Для этого гнездо устанавливали на горизонтальную площадку и помещали в чашу гнезда разработанный нами сферический термостат, представляющий собой стальную сферу, заполненную теплоносителем (сплав Розе) с лампой накаливания в центре сферы и термочувствительным элементом на поверхности сферы (Симонов, Матанцева, 2015). Время прогрева каждого гнезда певчего дрозда составляло 20 минут, температура сферического термостата 38 ± 0.5 °C.

По окончании прогрева проводили съемку гнезд с помощью тепловизора Testo 875i (рис. 1) с 4 позиций со смещением относительно оси гнезда на 90° с целью получения картины распределения тепловых полей по поверхности гнезд (рис. 2). Съемку проводили в горизонтальной плоскости с фиксированного и равного расстояния от оси гнезда до объективов тепловизора.

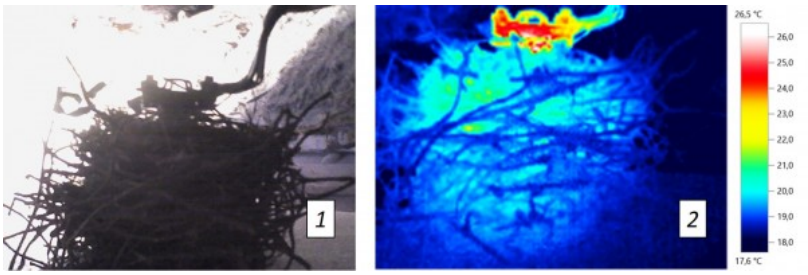


Рис. 1. Фотография гнезда певчего дрозда со сферическим термостатом внутри: *1* – видимый спектр, *2* – инфракрасное изображение

Fig. 1. Photography of a Song Thrush's nest with the spheroid thermostat inside:*1* – visible-light spectrum, *2* – infrared image

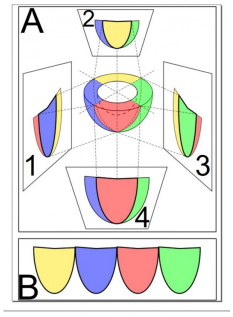


Рис. 2. A: 1–4 – четыре снимка гнезда со смещением 90° относительно оси; B – развертка объемной фигуры в плоскость

Fig. 2. A: 1–4 – four pictures of a nest according to the cardinal directions; B – 'unrolling' pictures onto the plane surface

Проведение тепловизионных исследований осуществляли непосредственно в полевых условиях, что гарантировало минимальное воздействие на функциональное

состояние построек процесса транспортировки. По естественным причинам условия съемки отдельных построек варьировали. Параметры окружающей среды при проведении съемки контролировали с помощью цифрового комплексного измерительного прибора Testo 410-2, определяющего скорость ветра, температуру и относительную влажность воздуха с точностью 0.1 м/с, 0.1 °C, 0.1 % rH соответственно. При этом в целом при проведении измерений выбирали периоды с относительно однородными условиями окружающей среды.

В основе сравнительного анализа изучаемых параметров гнезд использовали непараметрический аналог двухвыборочного критерия для независимых выборок – U-критерий Манна – Уитни. Связь между наблюдаемыми величинами оценивали с применением непараметрического корреляционного анализа (коэффициент ранговой корреляции Спирмена). Данный тип анализа был выбран по причине его независимости от формы распределения и низкой чувствительности к выбросам. Уровень значимости при проверке статистических гипотез составил 5 %. Статистический анализ проведен с помощью приложения MaxStat® Lite 3.06.

Результаты

На первом этапе сравнения теплоизоляционных качеств гнезд певчего дрозда, построенных в условиях разных широт, были сопоставлены их массовые и габаритные характеристики (табл. 1). В качестве основного параметра, определяющего эффективность термоизоляции, определена плотность гнездовых построек, рассчитываемая на основании измерения гнезд и определения их сухой массы. Согласно полученным данным (рис. 3), плотность гнезд певчего дрозда на более южном участке исследований выше, чем вблизи северной границы ареала (тест Манна – Уитни, $U = 68.5, p = 0.01, N_1 = 11, N_2 = 7$).

Таблица 1. Основные характеристики гнезд

	Северные гнезда ($N = 9$)			Южные гнезда ($N = 8$)		
	Медиана	Минимум	Максимум	Медиана	Минимум	Максимум
Наружный диаметр, см	16.5	13	19	15	13	19
Внутренний диаметр, см	9	8.5	11	8.5	8	10
Высота, см	12.5	11	15	9.5	8.5	12
Глубина, см	7	6	7.5	6.5	5.5	7
Сухая масса, г	82.5563	42.1407	109.2366	80.11	55.82	85.71

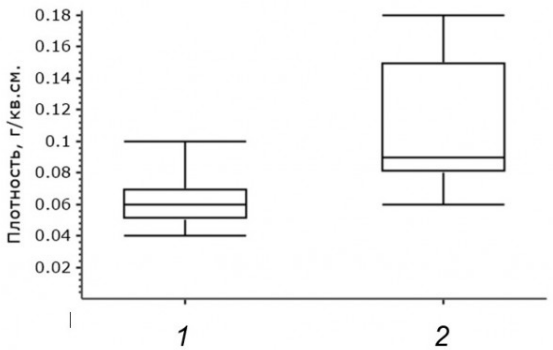


Рис. 3. Плотность гнезд: *1* – северные гнезда, *2* – южные гнезда
Fig. 3. Nest density: *1* – northern nests, *2* – southern nests

При этом географически обусловленных различий в массе в условиях естественного увлажнения и после обезвоживания построек в сушильном шкафу нами не обнаружено (см. табл. 1; тест Манна – Уитни, p во всех случаях больше 0.05). Таким образом, различия в плотности построек должны быть связаны с объемом гнезд. Действительно, объем гнезд, изъятых в Карелии, больше, чем объем гнезд, измеренных в Мордовии (тест Манна – Уитни, $U = 71.5, p = 0.01$). Причем внутренние промеры и внешний диаметр гнезд статистически не различаются (см. табл. 1; тест Манна – Уитни, p во всех случаях больше 0.05). Причина различий, наблюдаемых в плотности и объеме построек, заключается, очевидно, в том, что гнезда, построенные в Карелии, выше, чем гнезда, построенные южнее (см. рис. 4; тест Манна – Уитни, $U = 77.5$, $p = 0.001$).

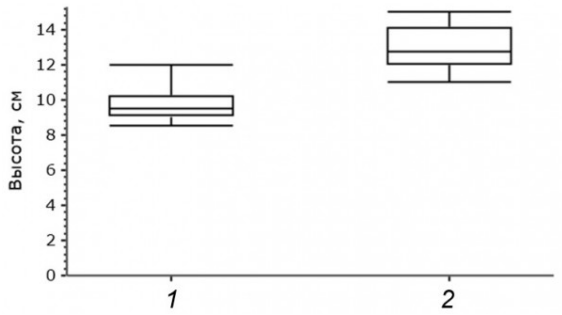


Рис. 4. Высота гнезд: *1* – северные гнезда, *2* – южные гнезда
Fig. 4. Nest height: *1* – northern nests, *2* – southern nests

Для более полной характеристики теплоизоляционных качеств исследуемых гнезд были сопоставлены серии тепловизионных изображений, характеризующие распределение тепловых полей по всей поверхности отдельных построек, полученные при прогревании внутренней поверхности гнезд сферическим термостатом. Комплекс параметров, непосредственно характеризующих распределение тепловых полей по поверхности гнезда, во всех случаях свидетельствует о лучших термоизоляционных свойствах гнезд, найденных на севере, в сравнении с гнездами, построенными на юге (табл. 2).

Таблица 2. Результаты сравнения параметров распределения тепловых полей по поверхности гнезд, тест Манна – Уитни

Прирост температуры*	Медиана на севере, °C ($N = 11$)	Медиана на юге, °C ($N = 7$)	U	p
Минимальный	0.5	2.0	73.0	0.002
Максимального по площади эквитермального участка	2.0	3.0	67.0	0.010
Максимальный	5.5	7.0	75.5	0.001

Примечание. * – градиент температуры в данном случае является разностью между температурой прогретого участка поверхности гнезда и температурой окружающих непрогретых поверхностей.

Сопоставление различных параметров, имеющих отношение к геометрии и термоизоляции гнезд, позволило определить, что более плотные гнезда характеризуются меньшим показателем наибольшей площади эквитермальных участков наружной поверхности постройки (ранговая корреляция Спирмена, r = –

0.719, $p = 0.008$). Как и следовало ожидать, теплоизоляционные характеристики менее плотных гнезд превышают таковые более плотных построек. Максимальные эквитермальные участки рыхлых построек больше, прирост температуры на этих участках ниже. Распределение тепловых полей по поверхности плотных построек более мозаичное, прирост температуры выше.

Обсуждение

Приступая к анализу отдельных рассматриваемых проявлений адаптации к условиям, сопровождающим репродуктивный период птиц, следует отметить, что в задачи исследования не входил анализ этологических адаптаций в виде изменения аттентивности (интенсивности обогрева содержимого гнезда), предшествующих проявлению физических адаптаций в виде изменения параметров построек.

Результаты, полученные на основе наших данных, свидетельствуют о различиях между физическими характеристиками гнезд двух рассматриваемых территорий. Географически обусловленные различия построек животных были неоднократно отмечены ранее (King et al., 1964; Deeming et al., 2012; Mainwaring et al., 2012 и др.). И если различия в целом, скорее всего, являются выражением географической адаптации к конкретным условиям среды, то причины каждого из них в отдельности могут быть различными.

В частности, относительно недавнее исследование гнезд черного дрозда *Turdus merula* в Великобритании показывает существенное увеличение всех основных размеров гнезд при движении в широтном направлении на 7 градусов (Mainwaring et al., 2014a). Различие между выбранными пунктами в нашем исследовании в широтном направлении превышало 10 градусов, дополнительно включая разницу в долготном направлении порядка 15 градусов. Однако, несмотря на значительное удаление пунктов исследования друг от друга, практически все габаритные характеристики построек оказались одинаковыми. Исключение составила высота гнезда за счет разницы в толщине дна постройки – на севере гнезда певчего дрозда имели более толстое дно. Преимущество увеличения толщины термоизоляционного материала очевидно – таким образом сокращаются энергопотери в любой термоизоляционной конструкции. Возможно, наблюдаемое соотношение параметров построек может быть обусловлено, помимо прочего, особенностями сезонов исследований, поскольку полевые работы в рассматриваемых районах проводились в разные сезоны. Однако фенологические условия проведения исследований существенно не различались, а строгий отбор гнездовых построек во многом компенсировал риск попадания в выборку поздних гнезд.

При этом возникает вопрос: за счет чего происходит увеличение толщины материала при отсутствии значимых различий в массе гнездовой постройки? По-видимому, причина этого заключается в характере доступного материала и его пространственной организации. Основание гнезд певчего дрозда в Карелии в местах проведения исследований построено с использованием тонких еловых веточек, в то время как гнезда в Мордовии построены с использованием тонких веточек сосны. Причина этого заключается в низком количестве ели в районе исследований в Мордовии. Характер ветвления фрагментов ели и сосны, используемых при постройке гнезда, значительно различается. Фрагменты веточек сосны в постройках практически лишены боковых отростков. Веточки ели, напротив, имеют большое число боковых отростков, образуя объемную пространственную структуру. Таким образом, укладка равной массы материала без дополнительного уплотнения образует массив различной толщины и плотности.

Последнее особенно важно в связи с тем, что наравне с основанием постройки большое значение для успешного выведения потомства должны иметь физические параметры стенок конструкций. В связи с особенностями гнезд дроздов, состоящих из внутренней плотной чаши и внешней более рыхлой оболочки, мы отдельно сопоставляли толщину и теплоизоляционные характеристики внутренних плотных чаш, однако никаких географически обусловленных различий в этих параметрах не

обнаружено. По-видимому, основная функция внутренней чаши состоит в сохранении формы постройки, защите от дождя и ветра, в то время как основную функцию теплоизоляции выполняет более рыхлый наружный слой. Поскольку внутренний слой не вносит существенного вклада в географически обусловленные различия теплоизоляционных качеств, в данной работе мы не представляем его отдельного обсуждения, и весь дальнейший анализ относится к гнездам целиком.

Согласно полученным данным, достоверных различий общей толщины стенок между гнездами разных районов не отмечено. При этом показатели термоизоляции северных гнезд выше, чем аналогичные параметры гнезд, построенных в более южных условиях. На фоне отсутствия различий в массе конструкций это может свидетельствовать о существовании перераспределения плотности укладки гнездового материала внутри конструкции. Перераспределение плотности материала позволяет увеличить объем воздуха, заключенного между отдельными конструктивными элементами и являющегося основным теплоизолятором построек. Таким образом, согласно предварительным заключениям, сделанным на основе полученных данных, гнезда, построенные на севере, при равных габаритных характеристиках стенок, построены более рыхло (точнее, их наружная часть, исключая плотный лоток) и, как следствие, менее интенсивно пропускают тепловое излучение. Если рассматривать такие постройки как отдельные физические тела, их центр тяжести несколько смещен книзу по сравнению с более компактными гнездами, построенными в более южных условиях. Подобное перераспределение материала и плотности может решать две задачи: приводить к улучшению теплоизоляционных свойств стенок за счет наполнения конструктивных элементов воздухом, а также приводить к снижению теплопотерь через основание гнезда за счет более рыхлой пространственной организации материала основания гнезда и увеличения его массы.

Заключение

Естественные ограничения репродуктивного периода, имеющие особенное значение в жизни мигрирующих животных, являются одним из факторов естественного отбора, приводящего к проявлению и закреплению адаптаций, повышающих успешность размножения. Давно известно, что этапу появления адаптаций на физиологическом уровне предшествует появление этологических адаптаций (Северцов, 1922; Tinbergen, 1953; Промптов, 1956; Hinde, 1970 и др.). Но должен существовать момент, когда этологические адаптации исчерпывают свою эффективность и возникает момент появления физических адаптаций. В этом отношении гнезда подставляют особый интерес, поскольку в определенном смысле занимают пограничное положение между двумя уровнями адаптаций, т. е. изменяется лишь гнездостроительное поведение, но не организм животного, а внешнее проявление поведенческих актов представляет собой законченную объемную структуру, обладающую уникальными свойствами, определяющими существование представителей вида в конкретных условиях. Характеристики гнездовой постройки должны соответствовать всем возможным климатическим явлениям в районе гнездования, причем технологические решения, определяющие адаптивные признаки гнезд, практически неизбежно должны быть свойством локального населения птиц и поддерживаться филопатрическими связями.

Предварительные итоги сравнительного анализа гнезд певчего дрозда свидетельствуют об адаптивном изменении свойств гнездовых построек. Гнезда, построенные вблизи северной границы ареала, имеют более рыхлую конструкцию и лучшие термоизоляционные качества конструктивных элементов; эквитермальные тепловые поля локализованы и структурированы, обеспечивают относительно равномерную теплоизоляцию. При этом теплоизоляционная эффективность более южных гнезд ниже, эквитермальные тепловые поля на поверхности построек распределены более мозаично, что не компенсирует теплопотерь всей плоскости. Дальнейшее накопление материалов по вопросам географической изменчивости габаритных и теплоизоляционных характеристик гнездовых построек позволит

провести более детальный сравнительный анализ адаптивных качеств гнезд.

Библиография

Северцов А. Н. Общие вопросы эволюции. Эволюция и психика // Собрание сочинений. М.: Изд-во АН СССР, 1922. Т. 3. 530 с.

Симонов С. А., Матанцева М. В. Анализ теплоизоляционных качеств гнезд птиц с использованием тепловизионной аппаратуры // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. URL: http://www.science-education.ru/128-22166 (дата обращения: 20.07.2016).

Промптов А. Н. Очерки по проблеме биологической адаптации поведения воробьиных птиц . М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 311 с.

Хохлова Т. Ю. Популяционные адаптации к условиям севера таежной зоны близкородственных видов птиц с полицикличным размножением (на примере дроздов рода *Turdus*): Дис. ... канд. биол. наук . СПб., 2011. 357 с.

Яковлева М. В., Хохлова Т. Ю. О влиянии хищников на продуктивность гнездования белобровика (*Turdus iliacus*) и певчего дрозда (*T. philomelos*) в южной Карелии // Труды Государственного природного заповедника «Кивач». Вып. 4. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. С. 135–144.

Deeming D. C., Mainwaring M. C., Hartley I. R., Reynolds S. J. Local temperature and not latitude determines the design of Blue Tit and Great Tit nests // Avian Biology Research. 2012. Vol. 5. №4. P. 203–208. DOI: 10.3184/175815512X13528874959581.

Gregory R. D., Wilkinson N. I., Noble D. G., Robinson J. A., Brown A. F., Hughes J., Proctor D. A., Glibbons D. W., Galbraith C.A. The population status of birds in the United Kingdom, Channel Islands and Isle of Man: an analysis of conservation concern 2002-2007 // British Birds. 2002. № 95. P. 410–450.

Harrison G. Song thrush *Turdus philomelos* // Warwickshire, Coventry and Solihull Local Biodiversity Action Plan. 2003. URL: http://www.warwickshire.gov.uk/biodiversity (дата обращения: 20.07.2016).

Hinde R. A. Animal behaviour. New York: McGraw-Hill, **(1966) 1970.** 876 p.

King J. A., Maas D., Weisman R. G. Geographic variation in nest size among species of Peromyscus // Evolution. 1964. Vol. 18. № 2. P. 230–234. URL: http://www.jstor.org/stable/2406395 (дата обращения: 20.07.2016).

Mainwaring M. C., Hartley I. R., Bearhop S., Brulez K., du Feu C. R., Murphy G., Plummer K. E., Webber S. L., Reynolds S. J., Deeming D. C. Latitudinal variation in blue tit and great tit nest characteristics indicates environmental adjustment // Journal of Biogeography. 2012. Vol. 39. Issue 9. P. 1669–1677. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2012.02724.x.

Mainwaring M. C., Deeming D. C., Jones C. I., Hartley I. R. Adaptive latitudinal variation in Common Blackbird *Turdus merula* nest characteristics // Ecology and Evolution. 2014a. Vol. 4. № 6. P. 851–861. DOI:10.1002/ece3.952.

Mainwaring M. C., Hartley I. R., Lambrechts M. M., Deeming D. C. The design and function of birds' nests // Ecology and Evolution. 2014b. Vol. 20. № 4. P. 3909–3928. DOI:10.1002/ece3.1054.

Mayr E. Geographical character gradients and climatic adaptation // Evolution. 1956. Vol. 10. № 1 P. 105–108. URL: http://www.jstor.org/stable/2406103?origin=JSTOR-pdf.

Simonov S. A., Matantseva M. V. The study of thermal insulation in bird nests: justification of used parameters // Science Almanac. 2015. Vol. 9. № 11. P. 1051–1055. DOI: 10.17117/na.2015.09.1051.

Song Thrush (*Turdus philomelos*) // EBCC Population index, 1980–2005, Europe. URL: http://www.ebcc.info/index.php?ID=271 (дата обращения: 20.07.2016).

Tinbergen N. Social Behaviour in Animals. London: Methuen, 1953. 150 p.

Tomiałojć L. Colonization of dry habitats by the Song Thrush *Turdus philomelos*: is the type of nest material an important constraint // Bull. Br. Ornithol. Club. 1992. Vol. 112. P. 27–34.

Tomiałojć L. Song Thrush *Turdus Philomelos* // The EBCC atlas of European breeding birds: their distribution and abundance / European Bird Census Council; Ed. by W. J. M.

Hagemeijer, M. J. Blair et al. London: T & A D Poyser, 1997. P. 548–549.

Благодарности

Мы очень признательны руководству и сотрудникам Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный заповедник "Костомукшский"» и Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный парк "Смольный"» за возможность проведения исследований на охраняемой территории и всестороннюю поддержку при организации и осуществлении полевых исследований. Особую благодарность мы выражаем д. б. н. Т. Ю. Хохловой за знакомство с рукописью статьи и ценные дополнения, а также рецензентам за предложенные рекомендации. Работа выполнена по гранту Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук (проект № МК-3599.2015.4).

Simonov S. A., Matantseva M. V. Preliminary results of the comparative analysis of the mass, size and thermal insulation of Song Thrush (Turdus philomelos) nests in the center and north of the breeding range // Principy èkologii. 2016. № 5. P. 46–55. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5702

PRELIMINARY RESULTS OF THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MASS, SIZE AND THERMAL INSULATION OF SONG THRUSH (TURDUS PHILOMELOS) NESTS IN THE CENTER AND NORTH OF THE BREEDING RANGE

SIMONOV Sergey Aleksandrovich — *PhD, Institute of Biology, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences (185910, Karelia, Petrozavodsk, Pushkinskaya street, 11), ssaves@gmail.com*

MATANTSEVA Maria Valer — *PhD, Institute of Biology, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences (185910, Karelia, Petrozavodsk, Pushkinskaya street, 11), mariamatantseva@gmail.com*

Keywords: Turdus philomelos, cup nests, dendrophilous birds, nest mass, nest size, thermal insulation of nests, geographic variability, adaptation

Reviewer: T. Hokhlova

Received on: 21 August 2016
Published on: 01 December 2016

Summary: The main aim of the investigation was to compare the adaptive characteristics variations of nests associated with their thermal insulation depending on geographical location. It was produced on the example of Song Thrushes' (Turdus philomelos) nests dwelling in the center and north of the breeding range. The data were collected in the Republic of Karelia, North-Western Russia (64º27'N, 30º17'E), in 2015, and in the Republic of Mordovia, Central Russia (54º44'N, 45º30'E) in 2016. At the first stage of the study, the main size parameters and mass of nests were estimated and compared as well as calculated values of volume and construction density from the different parts of the area. At the second stage, the comparative analysis of thermal fields distribution on the nest surface was carried out using special hitting of the inside part of the nest with a spheroid thermostat. This allowed to compare thermal insulation characteristics of all the constructions. Our preliminary results showed that the mass and size parameters of the nests from the centre and periphery of the breeding range were statistically identical except such parameter, as nest height. In the north, the nest height was significantly greater than in the centre, owing to increasing thickness of the nest bottom. The volume of the nests in the North was greater than in the central parts of the range, too. The latter, due to indistinction in mass, could be explained by the changes in distribution of nest materials within the whole construction as a result of increasing nest thickness and decreasing nests density in the North. This leads to the improvement of thermal insulation efficiency of northern nests as compared with the nests in a region to the South.

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

УДК 504.4.054(262.54+262.5)

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КРЫМСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

ТИХОНОВА Елена Андреевна	*к. б. н., ФГБУН ИМБИ (г. Севастополь, пр. Нахимова 2, 299011), tihonoval@mail.ru*
КОТЕЛЬЯНЕЦ Екатерина Александровна	*ФГБУН МГИ (г. Севастополь, ул. Капитанская, 2), plistus@mail.ru*
СОЛОВЬЁВА Ольга Викторовна	*к. б. н., ФГБУН ИМБИ (г. Севастополь, пр. Нахимова 2, 299011), kozl_ya_oly@mail.ru*

Ключевые слова: донные отложения, хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, тяжелые металлы, Черное море, Азовское море

Рецензент:
В. А. Даувальтер

Получена:
06 мая 2016 года
Подписана к печати:
26 декабря 2016 года

Аннотация. В рамках 83-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» проведены исследования прибрежных районов Крыма с различной степенью антропогенной нагрузки: акватории Черного и Азовского морей, а также Керченского предпроливья. Получены новые данные о концентрациях основных поллютантов в донных отложениях: хлороформ-экстрагируемых веществ, нефтяных углеводородов, микроэлементов и тяжелых металлов (As, Ti, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Fe, Mn). В настоящее время (2016 г.) донные осадки открытого черноморского побережья Крыма обладают свойствами, типичными для морских грунтов исследованного региона. Отмечена тенденция к постепенному увеличению содержания хлороформ-экстрагируемых веществ в Черноморском регионе, однако при этом донные осадки не загрязнены нефтепродуктами. Данный факт с учетом физико-химических показателей морских отложений свидетельствует о благополучном состоянии исследованных акваторий в целом. Содержание тяжелых металлов изменяется в широких диапазонах, и зоны их повышенных значений не всегда определяются близостью к источнику загрязнения. В Азовском море на большинстве станций полученные концентрации превышали таковые для черноморской акватории. Концентрации Zn, Co, Cr, V превышают их естественное содержание в осадках шельфа во всем районе проведения экспедиции, а Ni – в акватории Азовского моря, что указывает на наличие там источников антропогенного загрязнения.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

В последнее время из-за сложившейся в Крымском регионе ситуации в результате современной хозяйственной деятельности изменения состояния экосистемы Азово-Черноморского бассейна обусловлены не только естественными природными факторами, но и возросшим антропогенным прессом (Петренко и др.,

2015). Наряду с существующими проблемами (Петренко и др., 2015): загрязнение рек водосборного бассейна, поступление недостаточно очищенных производственно-бытовых стоков, морская газодобыча и эксплуатация биологических ресурсов, – в настоящее время интенсифицировался процесс использования акватории морским транспортом (особенно в акватории Керченской переправы), рекреацией и гидротехническим строительством (в частности, Керченского моста). А с учетом того, что Азово-Черноморский бассейн является внутренним водоемом с ограниченной ассимиляционной емкостью, такого рода антропогенные нагрузки, в конечном счете, могут привести к катастрофическим последствиям для его экосистемы.

Известно (Гуров и др., 2015), что одним из наиболее информативных объектов при экологическом мониторинге акваторий, особенно прибрежных, являются донные отложения. Поступающие в водоем на протяжении продолжительного времени загрязняющие вещества аккумулируются в донных осадках, являясь индикатором экологического состояния прибрежных экосистем и своеобразным интегральным показателем уровня загрязненности водных объектов. Кроме того, они активно участвуют в круговороте веществ и энергии и являются средой обитания многочисленных бентосных групп организмов.

Как максимально репрезентативные при экологической оценке качества исследуемых акваторий были выбраны прибрежные районы, в которых наиболее активна антропогенная деятельность, способствующая формированию в них особых экосистем Черного моря (Гуров и др., 2015). Изучение физических и химических свойств донных отложений Черноморского бассейна, а также процессов, проходящих в системе «вода – взвешенное вещество – донные осадки», является важной частью общей системы мониторинга прибрежных акваторий (Гуров и др., 2015). Для достаточно изученного Азовского моря, с учетом его замкнутости, небольшой глубины и усиленной антропогенной нагрузки, мониторинговые исследования являются едва ли не единственным способом принятия решений о сохранении его биопродуктивности.

Таким образом, целью работы стало исследование содержания в донных отложениях Азово-Черноморского бассейна (включая районы северо-западного шельфа, Южного берега Крыма (ЮБК), Керченского пролива, юго-западной части Азовского моря) хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ), нефтяных углеводородов (НУ), тяжелых металлов (ТМ).

Материалы

Пробы отбирались во время 83-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (январь – февраль 2016 г.) по сетке станций (рис. 1), расположенных вдоль крымского побережья Черного и Азовского морей. Глубина на точках отбора донных отложений в Черном море составляла от 24 до 83 м, за исключением глубоководной ст. 20 (1040 м). На станциях 16–19, расположенных в акватории Азовского моря, глубины не превышали 9–18 м.

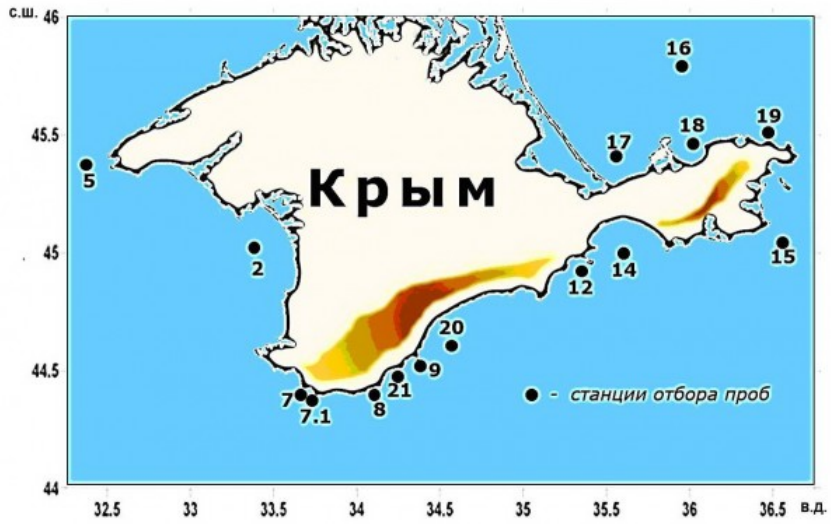


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб во время 83-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»
Fig. 1. Scheme of the location sampling stations during the 83 th voyage of SRS «Professor Vodyanitsky»

Донные отложения отбирали с помощью автоматического коробчатого дночерпателя (Box corer) с площади 25 × 25 см и дночерпателя «Океан-50». Для анализа использовали верхний 5 см слой. Все пробы упаковали в специальные контейнеры и маркировали. Всего отработано 11 проб в черноморской акватории (ст. 2–15, 20, 21) и 4 – в азовской (ст. 16–19).

Методы

В свежеотобранных пробах донных отложений на борту судна проводили измерение величин pH и Eh pH-метром-термометром «Нейтрон-pH». В лабораторных условиях осадки высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали в ступе и часть пробы просеивали через сита с диаметром ячеек 0.25 мм для определения концентраций НУ и ХЭВ; для ТМ – через нейлоновое сито 0.071 мм. В подготовленных таким образом пробах определяли общее количество ХЭВ – весовым методом, НУ – методом инфракрасной спектрометрии на спектрофотометре ФСМ-1201 (Руководство…, 1977), валовое содержание металлов As, Cr, Co, Ni, Pb, Zn, V, Sr и оксидов металлов TiO_2, MnO, Fe_2O_3 – методом рентгенофлуоресцентного анализа с применением спектрометра «Спектроскан Макс-G» (Методика…, 2002). Все полученные результаты для концентраций ХЭВ и НУ пересчитывали на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.).

Построение градуировочных характеристик для ТМ проводили с использованием аттестованных образцов состава почвы: чернозема типичного (комплект СЧТ), дерново-подзолистой супесчанной почвы (комплект СДПС), красноземной почвы (комплект СКР), а также почвы серозема карбонатного (комплект ССК). Для проверки правильности построения градуировочных характеристик использовали контрольные образцы (Методика…, 2002) – государственные стандартные образцы ДСЗУ 163.1-98 и ДСЗУ 163.2-98.

В настоящее время не существует ПДК для содержания ТМ в морских донных отложениях. Поэтому концентрации микроэлементов в донных осадках обычно сравниваются либо с их кларками, либо с фоновыми значениями для изучаемых морских систем (Митропольский и др., 1982; Методика…, 2002). Корреляционный анализ проведен в программе MS Excel 2003.

Результаты

По полученным данным содержание ХЭВ в донных отложениях Черного моря

колеблется в пределах от 10 до 110 мг/100 г возд.-сух. д. о., НУ на большинстве станций соответствовало следовым значениям (менее 5 мг/100 г) – от 1.7 до 10 мг/100 г. В Азовском море данные показатели несколько выше: для ХЭВ – от 107 до 187 мг/100 г, что соответствует III уровню загрязнения, тогда как НУ находились в тех же пределах, что и в Черном море (от 6.9 до 10.2 мг/100 г).

Наибольшие значения (табл. 1) содержания ТМ (цинка, кобальта, хрома) (44 % проб) в донных отложениях Черного моря отмечено на ст. 7, при этом количество стронция и мышьяка близко к максимальным значениям, отмеченным на предпроливной ст. 15. Максимальное количество стронция зафиксировано на ст. 15, что, скорее всего, связано с типом грунтов (ракушняк с примесью песка), а цинка – на ст. 21, в акватории канализационного коллектора г. Ялты. Тогда как свинец зафиксирован лишь на ст. 12 в районе Карадага. Минимальное содержание цинка, кобальта, хрома, ванадия и стронция отмечено на ст. 2 в акватории Каламитского залива, мышьяка – в заповедной акватории Карадага, никеля – в донных осадках ст. 15 перед входом в Керченский пролив.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях Черного и Азовского морей

Элемент, мг/кг	Пределы колебаний		Среднее значение	Содержание в осадках шельфа*
	минимум	максимум		
Черное море				
Zn мг/кг	50.1	144.0	81.0	48
Ni, мг/кг	24.7	49.0	40.1	42
Co, мг/кг	35.0	164.7	71.0	14
Cr, мг/кг	84.0	178.8	124.3	45–90
V, мг/кг	58.1	324.7	162.1	90
As, мг/кг	8.6	130.4	57.4	5
Sr, мг/кг	200.0	3085.0	666.1	300
TiO_2, %	0.606	1.618	0.987	0.6–0.8
Fe_2O_3, %	3.161	10.350	6.298	5.08
MnO, %	0.028	0.056	0.041	0.38
Азовское море				
Zn мг/кг	84.0	195.2	117.2	48
Ni, мг/кг	45.0	54.4	48.1	42
Co, мг/кг	30.8	300.3	115.5	14
Cr, мг/кг	103.7	259.7	155.2	45-90
V, мг/кг	98.6	421.3	200.3	90
As, мг/кг	0.5	60.7	42.2	5
Sr, мг/кг	174.6	433.0	276.2	300
TiO_2, %	0.796	2.195	1.225	0.6–0.8
Fe_2O_3, %	5.292	16.060	8.612	5.08
MnO, %	0.053	0.083	0.073	0.38

Примечание. * – данные о концентрациях по: Митропольский и др., 1982,

Добровольский, 2003.

В Азовском море на большинстве станций полученные значения превышали таковые для черноморской акватории, в частности, на ст. 16 зафиксированы максимальные содержания ТМ в исследованном регионе. Минимальная концентрация ТМ отмечена на ст. 17 (50 % показателей), цинка и никеля – на ст. 19, а мышьяка – на ст. 18.

Обсуждение

Известно, что береговая полоса морского шельфа подвержена углеводородному загрязнению больше других фаций. Постоянное поступление аллохтонного материала из различных источников приводит к их концентрированию в донных отложениях. А характер пространственного распределения загрязняющих веществ, в частности тяжелых металлов, обусловлен комплексом природных и техногенных факторов. И в первую очередь наличием, мощностью и режимом функционирования источников загрязнения.

Исследованные нами в рамках 83-й экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» донные отложения соответствовали характерным для Крымского региона илистым осадкам с примесью ракушняка и песка, которые в значительной степени аккумулируют как природное органическое вещество, так и соединения аллохтонного происхождения. На некоторых станциях (ст. 9, 14, 16, 18, 20) был отмечен слабый запах сероводорода. Измельченность материала на черноморских станциях, слагающего донный осадок, закономерно увеличивалась с глубиной.

Активная реакция среды в донных отложениях Черного моря была слабощелочной, показатель pH колебался в пределах 7.53–7.82 (рис. 2), за исключением ст. 2 в районе Евпатории, где значение pH повышалось до 8.42, что, скорее всего, связано с типом осадков и близостью рекреационной зоны.

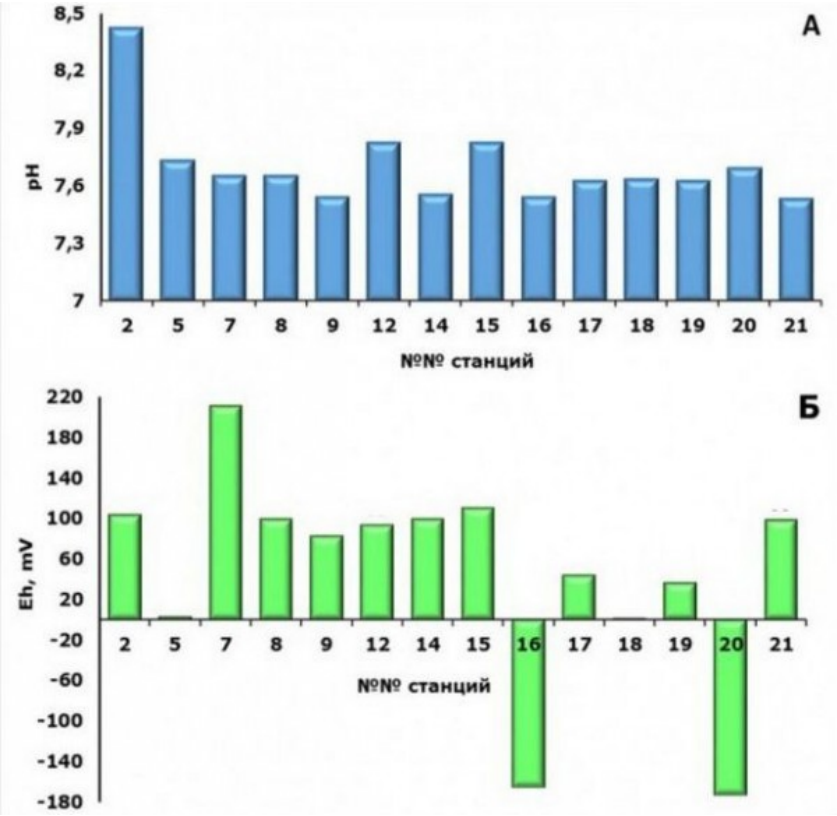


Рис. 2. Физико-химические показатели pH (А) и Eh (Б) донных отложений
Fig. 2. Physical and chemical parameters pH (A) and Eh (Б) in the sea bottom sediments

Окислительно-восстановительный потенциал непосредственно зависит от гранулометрического состава донных осадков (Миронов и др., 1992). Восстановительными условиями среды (отрицательным Eh) обладали донные отложения на двух станциях (ст. 16 – мелководная станция в Азовском море (11 м) и ст. 20 – самая глубоководная станция в Черном море (1040 м)) с показателями Eh -165 и -174 мВ соответственно (см. рис. 1). При этом морские грунты на ст. 16 отличались присутствием большого количества разложившейся органики и резким запахом сероводорода. Он также был отмечен и на ст. 20. Большинство донных осадков крымского побережья Черного моря имели окислительные условия среды: Eh = +82 … +210 мВ, за исключением ст. 5 со слабовосстановительными условиями (Eh = +3 мВ) в районе м. Тарханкут, что, по данным Миронова и др. (1992), является характерным для данного региона. Донные отложения Азовского моря имели слабовосстановленные условия среды (Eh = +1 … +44 мВ), за исключением, как было отмечено ранее, ст. 16. Данные условия способствуют накоплению углеводородов, т. к. при низком окислительно-восстановительном потенциале среды замедлены процессы преобразования битумоид.

Известно, что величина Eh зависит от pH. Для получения сравнимых данных в исследуемых донных осадках с различной величиной pH нами рассчитан показатель водородного потенциала (рис. 3) по формуле У. И. Кларка ($rH_2 = Eh/29 + 2pH$) (Ганжара, 2001).

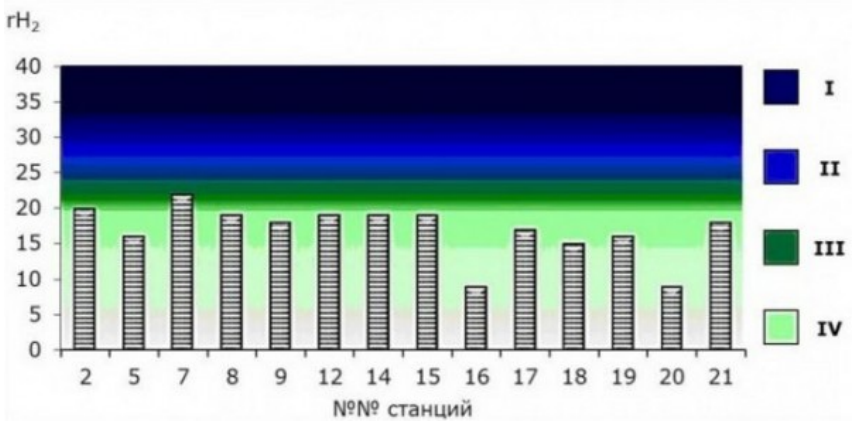


Рис. 3. Показатель водородного потенциала (rH_2) донных отложений Черного и Азовского морей: I – окислительные процессы, II – преимущественно окислительные процессы, III – преимущественно восстановительные процессы, IV – восстановительные процессы

Fig. 3. Indicator of the hydrogen potential (rH_2) in the sea bottom sediments of the Black and Azov Seas: I – oxidation processes, II – predominantly oxidation processes, III – predominantly restorative processes, IV – restorative processes

Существует градация (Ганжара, 2001), в соответствии с которой при rH_2 выше 27 преобладают окислительные процессы, при 22–25 – восстановительные, а ниже 20 – интенсивные восстановительные. В нашем случае данный показатель на исследуемых станциях выше 27 не зафиксирован, что указывает на низкий уровень преобладания окислительных процессов. Восстановительные реакции характерны для донных отложений ст. 7, а на остальных $rH_2 < 20$, т. е. происходят интенсивные восстановительные процессы (см. рис. 3).

Концентрация ХЭВ в донных осадках Черного моря колебалась от 10 до 110 мг/100 г возд.-сух. д. о. (рис. 4). Минимальные значения отмечены в акватории м. Ай-Тодор, а максимальные – на глубоководной ст. 20 и вблизи Ялтинского канализационного коллектора (ст. 21). Данные значения были практически идентичны и составили 110 и 106 мг/100 г соответственно. Полученные показатели в соответствии с концентрациями ХЭВ, по Миронову и др., (1986), относятся к III уровню загрязнения,

хотя и близки к нижней его границе. Однако это свидетельствует о поступлении аллохтонных углеводородов в исследуемую акваторию. При этом содержание НУ в воде, по данным отдела морской санитарной гидробиологии (ОМСГ) Института морских биологических исследований (ИМБИ), на ст. 20 близко к 0. Это акватория открытого моря, где доминируют волновое перемешивание, и морская среда в зависимости от метеоусловий может стать непоказательной для подобного рода анализа. Что касается акватории в районе коллектора, то и в придонном, и в поверхностном слоях воды зафиксированы НУ. И хотя их концентрация была ниже ПДК, все же можно говорить о наличии источника поступления НУ в данном районе. Более высокие значения ХЭВ были отмечены в донных осадках Азовского моря, где они достигали 187 мг/100 г, а также на ст. 15 (72 мг/100 г) на входе в Керченский пролив со стороны Черного моря. Данные показатели можно объяснить большим объемом антропогенной нагрузки.

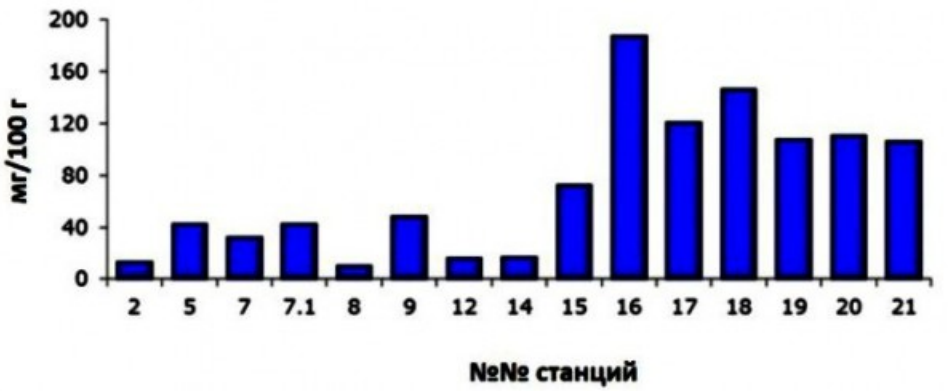


Рис. 4. Концентрация ХЭВ в донных отложениях крымского побережья
Fig. 4. Concentration of CES in the sea bottom sediments of the Crimean coast

Если же сравнивать полученные данные с материалами прошлых лет, то концентрации ХЭВ в донных отложениях вдоль побережья Крыма являются характерными для региона (Миронов и др., 1992). Однако, например, на ст. 12 в акватории Карадага ранее было отмечено содержание от 11 до 14 мг/100 г, тогда как нами – 16 мг/100 г. При этом ранее в литературных данных указывалось, что по сравнению с 1976 г. показатели завышены. То есть можно говорить, что повышенные (относительно 1976 г.) уровни ХЭВ сохраняются. При этом в целом донные осадки не загрязнены нефтепродуктами.

Для донных осадков Азовского моря максимальные зафиксированные значения (187 мг/100 г) соответствуют полученным нами в 2010 г. (186 мг/100 г) (Тихонова, Гусева, 2012). В целом концентрации ХЭВ не превышали отмеченных ранее и характерных для исследуемого района (для ракушняков – 20 мг/100 г, для пелитовых илов – до 230 мг/100 г (Миронов, 1996)). Полученные данные о характеристиках донных отложений соответствуют ранее описанным результатам и их можно характеризовать как природно-чистые (Крыленко, Крыленко, 2013; Тихонова и др., 2015).

Что касается нефтяного загрязнения, то оно минимально в акватории как Черного, так и Азовского морей. В основном на большинстве исследованных станций отмечены следовые количества (до 5 мг/100 г) (рис. 5). Однако в морских грунтах Азовского моря в 2010 г. лишь на 65 % обследованных станций концентрация НУ в донных осадках составляла менее 5 мг/100 г (Тихонова, Гусева, 2012), тогда как в настоящее время нами отмечены количества выше следовых на 100 % станций. Но данный уровень нефтяного загрязнения не превышал величин, характерных для чистых и слабозагрязненных акваторий Черного моря.

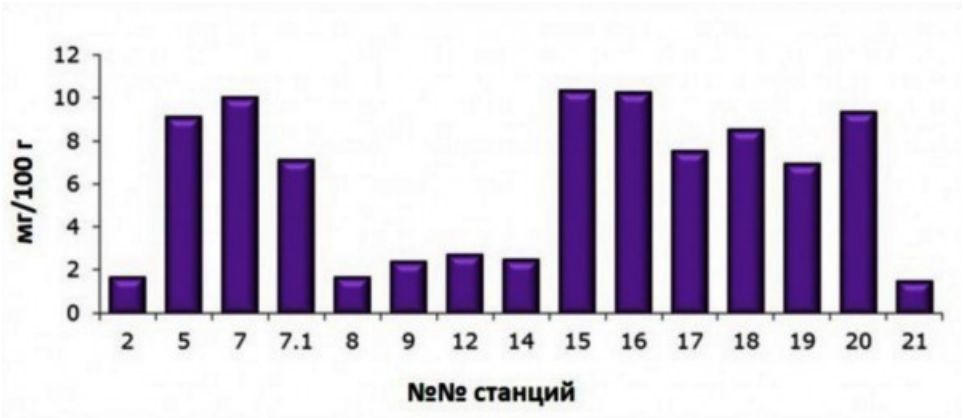


Рис. 5. Концентрация НУ в донных отложениях крымского побережья
Fig. 5. Cconcentration of OH in the sea bottom sediments of the Crimean coast

Максимальные значения НУ зафиксированы на ст. 15 (10.3 мг/100 г) при входе в Керченский пролив и на ст. 16 (10.2 мг/100 г) в Азовском море, что является закономерным для данной судоходной акватории. Если ранее в период 2007–2010 гг. (Тихонова, Гусева, 2012) отмечено некоторое снижение концентрации ХЭВ и НУ, то в настоящее время нами получены более высокие значения данных показателей. В причерноморском районе Керченского пролива содержание ХЭВ составило 72 мг/100 г, тогда как в 2010 г. – 30.2 мг/100 г; НУ – 10.3 мг/100 г, а в 2010 г. – 3.4 мг/100 г. То есть зафиксированные концентрации ХЭВ и НУ в 3 раза больше по сравнению с данными 2010 г. Это говорит о современных процессах накопления нефтяного загрязнения, связанных с хроническим поступлением нефтепродуктов в воды пролива и предпроливья.

Процентное содержание (рис. 6) НУ от ХЭВ колебалось в пределах от 1 до 31 %. Наибольшая доля НУ отмечена на ст. 5 и ст. 7, что говорит о том, что присутствующие углеводороды попали вследствие антропогенного воздействия. Это подтверждается и данными по концентрации НУ в поверхностном слое морской воды (данные ОМСГ ИМБИ), где в районах природоохранных объектов, в акватории м. Тарханкут отмечено превышение ПДК, а в районе м. Айя содержание нефтепродуктов было на уровне санитарной нормы. В акваториях других заповедников и заказников зафиксированы следовые количества НУ. Также хочется отметить, что в донных осадках Азовского моря соотношение НУ и ХЭВ одинаково на всех исследованных станциях и составляет 6 %.

Между содержанием ХЭВ и НУ также отмечена слабая корреляционная зависимость в донных отложениях Азово-Черноморской акватории (r = 0.5), тогда как при высоких их концентрациях в морских грунтах портовых акваторий эта зависимость более тесная (Рубцова и др., 2013).

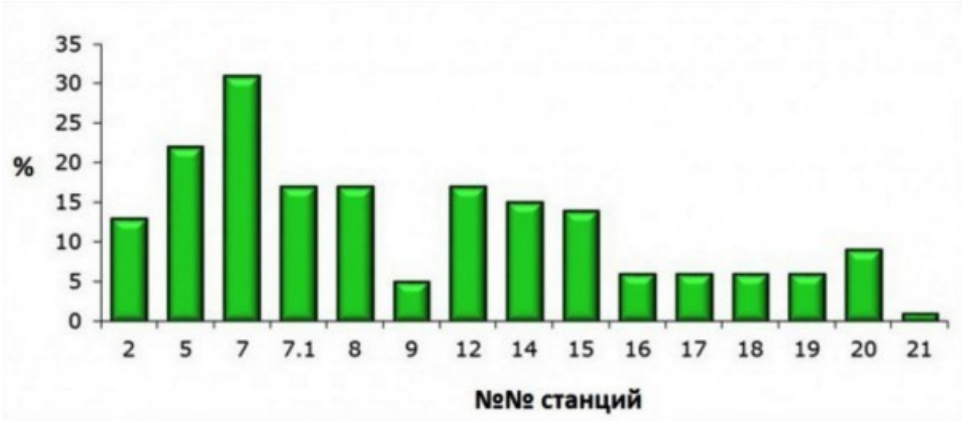


Рис. 6. Процентное содержание НУ от ХЭВ
Fig. 6. Percentage of OH from CES

Таким образом, учитывая полученные данные по содержанию ХЭВ, НУ, а также физико-химические показатели донных отложений, можно резюмировать, что в настоящее время (2016 г.) донные осадки открытого черноморского побережья Крыма обладают свойствами, типичными для морских грунтов исследованного региона, что свидетельствует о благополучном состоянии исследованных акваторий в целом. Донные отложения Черного моря менее загрязнены органическими веществами (I–II уровень), чем Азовского моря (III уровень). Исключение в черноморской акватории составили глубоководная ст. 20 и ст. 21 вблизи ялтинского канализационного коллектора. При этом полученные значения ХЭВ находились на нижней границе III уровня. В целом отмечена тенденция к постепенному увеличению ХЭВ в акватории черноморского побережья, однако при этом донные осадки не загрязнены нефтепродуктами.

На поступление и существование загрязняющих веществ техногенной природы в илистые донные отложения с примесью детрита указывают высокие концентрации в них и других поллютантов. Максимальные значения таких микроэлементов, как цинк, никель, кобальт и хром, зафиксированы на мелководной ст. 16 в Азовском море, где морской грунт был представлен как раз илами с большим количеством ХЭВ. Максимальное содержание Zn, которое составило 195 мг/кг, превышает его среднюю концентрацию (140 мг/кг) в донных отложениях шельфовой зоны (Митропольский и др., 1982). Ранее (Котельянец, Коновалов, 2012) содержание данного элемента в районе предпроливной зоны Керченского пролива (ст. 15) составляло 90 мг/кг, тогда как в настоящее время – почти в 2 раза меньше (51.2 мг/кг). С учетом того, что цинк является «универсальным загрязнителем», входящим в состав техногенных потоков почти всех источников (Емельянов и др., 2004), то в этой антропогенно-нагруженной акватории он фиксировался повсеместно (Совга и др., 2008). По данным авторов (Котельянец, Коновалов, 2012), минимальное содержание Zn в донных отложениях Керченского пролива по сравнению с 2005 г. увеличилось в 1.5 раза, хотя его максимальное содержание в 2007 и 2008 гг. не превышало показателей 2005 г. То есть можно говорить о неравномерном распределении данного элемента в указанной акватории. В Черном море зафиксировано превышение содержания Zn в донных отложениях шельфовой зоны на ст. 7, на остальных станциях средняя концентрация составила 73.97 мг/кг, что почти в 2 раза меньше относительно содержания в шельфе моря.

На 100 % станций в Азовском море отмечено превышение содержание Ni (с максимальным значением на ст. 16 – 54.41 мг/кг), средних концентраций в осадках шельфа (42 мг/кг) (Емельянов и др., 2004). Как известно, никель способен накапливаться в донных отложениях, в непосредственной близости от основных источников поступления (Мур, Рамамурти, 1987). Как указано в работе (Никаноров, 1989), накопление Ni в донных отложениях, особенно прибрежной зоны, коррелирует с активностью промышленных и бытовых источников загрязнения. В Черном море отмечено превышение данного показателя на 36 % станций, с максимальными показателями на ст. 7 (46 мг/кг) и ст. 21 (49 мг/кг). На предпроливной ст. 15, так же как и для цинка, зафиксировано некоторое снижение концентрации никеля (25 мг/кг против 37 мг/кг (Котельянец, Коновалов, 2012)). Слабая зависимость отмечена между концентрациями цинка и никеля в донных отложениях и ХЭВ ($r = 0.5$).

На всех исследованных станциях азово-черноморского побережья отмечено превышение концентраций кобальта над средними значениями для шельфа – 14 мг/кг (Митропольский и др., 1982). Повышенное содержание Co в верхнем слое донных отложений имеет место на ст. 7 (165 мг/кг), ст. 8 (122 мг/г), максимальное содержание данного микроэлемента (300 мг/кг) определено на ст. 16, что в 21 раз превышает его среднее содержание.

Распределения хрома и кобальта соответствуют друг другу. И концентрация Cr, так же как и Co, на всех станциях превышает средние значения шельфа (45–90 мг/кг), за исключением черноморской ст. 2, где его концентрация близка к верхней границе нормативных величин (84 мг/кг). Обычно рост содержания Cr характерен для мест

скопления плавсредств и в акваториях портов (Емельянов и др., 2004). Максимальное содержание хрома (260 мг/кг) определено на ст. 16. Максимальная концентрация данного металла превышает ориентировочные ПДК почти в 2.5 раза.

Повышенные концентрации ванадия в основном приурочены к прибрежным районам моря. Практически на всех станциях, кроме ст. 2, содержание V превышает значения данного элемента в шельфовой зоне Черного моря (Митропольский и др., 1982). Максимальная концентрация в Азовском море также отмечена на ст. 16 (421.3 мг/кг), а в Черном море – на ст. 7 (324.7 мг/кг).

Согласно Митропольскому и др., 1982, содержание мышьяка в верхнем слое донных отложений Черного моря от 0 до 130.4 мг/кг. Полученные данные соответствуют отмеченным ранее, однако нижний предел несколько выше – 8.6 мг/кг. Средние величины в Черном море больше, чем в Азовском, – 55.4 и 42.2 мг/кг соответственно. При этом на ст. 2, 12, 18 концентрация As была ниже предела обнаружения методом РФА (< 20 мг/кг). В то же время, согласно Перельман (1989), кларк мышьяка составлял 1 мг/кг, и поэтому исследованные пробы донных отложений Крымского региона можно считать обогащенными данным элементом, за исключением ст. 2, 12, 18. Максимальное содержание мышьяка в предпроливной зоне Керченского пролива характеризует антропогенную нагрузку на данную акваторию, возможно, в связи с влиянием дампинга в этом районе.

Концентрация стронция в черноморских донных отложениях колеблется в пределах 200 (ст. 2) – 647.4 (ст. 8) мг/кг, за исключением ст. 15, где было отмечено максимальное содержание – 3085 мг/кг, которое, возможно, связано с большей способностью мелкодисперсных осадков к накоплению различных контаминантов (Лукьянов и др., 2011). С учетом того, что, по Перельман (1989), кларк составляет 510 мг/кг, в Черном море величины выше данного показателя отмечены на 36 % станций, тогда как в Азовском не превышали его на 100 % станций.

В донных отложениях исследуемых акваторий концентрация свинца была ниже предела обнаружения методом РФА (Методика…, 2002). Однако в районе заповедника «Карадаг» он обнаружен, хотя и в минимальных концентрациях. Тем не менее, по данным Суровой, Кузнецовой (2002), в 2000 г. в пробах воды из источников Гяур-Чешме в Долине Роз, а также в пробах колодезной воды на территории биостанции было обнаружено превышение концентрации свинца более чем в 10 раз (ПДК 0.1 мг/л), тогда как исследования 2001 г. в пресной и морской водах не выявили его. То есть источник Pb является непостоянным. Но, несмотря на наличие данного вида загрязнения, в настоящее время Карадаг по сравнению с другими участками Черного моря характеризуется полнотой и разнообразием донных гидробионтов (Киселёва и др., 2002).

Среднее содержание Mn в донных отложениях Черного моря составило 0.041 %, максимум (0.056 %) был определен на глубоководной ст. 20, в Азовском – 0.073 % при максимуме 0.083 % на ст. 18. Но концентрация данного элемента существенно меньше его фоновых значений в донных осадках Черного моря (Митропольский и др., 1982).

Пространственное распределение Ti и Fe характеризуется минимальными концентрациями в акватории Каламитского залива (ст. 2) и повышенными в прибрежной акватории м. Айя (ст. 7), предпроливной части Черного (ст. 15) и Азовского морей (ст. 16). Среднее содержание Ti составляет в Черном море 0.987 %, а максимальное (1.618 %, ст. 7) на 39 % выше и превышает среднее на 36 % станций. В Азовском море концентрация Ti фактически на всех станциях выше его содержания в осадках шельфа. Тогда как содержание Fe в Азовском море, так же как и Ti, превышает предельные значения. В Черном море данные показатели несколько ниже. Что касается оксидов титана, если сравнивать с кларком титана в земной коре (0.56 %) (Чертко, Чертко, 2008), то в морских грунтах на всех станциях содержание оксидов титана выше. Титан накапливается преимущественно с железом и корреляционная зависимость между TiO_2 и Fe_2O_3 высокая ($r = 0.97$).

Процессы аккумуляции ТМ в донных отложениях обусловлены многими факторами, интенсивность которых зависит от химического, гранулометрического их

состава, pH, Eh среды и др. Соотношение окислительно-восстановительных процессов при этом является одним из ведущих факторов. Однако проведенный нами анализ зависимости концентрации ТМ в морских осадках и водородного показателя корреляционной связи не выявил (r < -0.4), тогда как для ХЭВ отмечена обратная зависимость (r = -0.75). При этом можно отметить, что на станциях с максимальными концентрациями ТМ отмечены отличные от других параметры Eh (ст. 7 в Черном море и ст. 16 в Азовском). На глубоководной ст. 20 такое явление не прослеживается.

По данным Мур, Рамамурти (1987), можно выделить соединения, в форме которых ТМ локализуются в донных отложениях. Например, основные запасы цинка ассоциированы с оксидами железа и марганца. Т. С. Папина (2001) и Т. А. Кремлёва с соавт. (2014) также считают, что основными путями накопления тяжелых металлов в донных осадках являются их соосаждения с гидроксидами железа и марганца.

В целом по показателям загрязнения ТМ в Азовском море на большинстве станций полученные значения превышали таковые для черноморской акватории. В акватории Черного моря по степени загрязненности грунтов выделяются донные отложения ст. 7, тогда как в Азовском – ст. 16. Но если в последнем регионе это закономерно с учетом уровня антропогенной нагрузки и природных условий (малые глубины, гранулометрический состав и т. д.), то для акватории заказника «Мыс Айя» это не является характерным. По-видимому, увеличение концентрации ТМ в донных осадках связано с техногенным загрязнением, привносимым субмаринной разгрузкой загрязненных подземных вод (Юровский и др., 2012). В районе м. Айя находятся подводные выходы грунтовых вод, ориентировочный суммарный дебит источников которых – 1915 м^3/сутки (Иванов и др., 2008). Дело в том, что в данных областях возникают геохимические барьеры, способствующие накоплению токсических веществ в системе «вода – порода». Широко известны примеры такого накопления тяжелых металлов в донных отложениях у о. Лонг-Айленд (США) (Юровский и др., 2012).

Заключение

1. В настоящее время донные осадки открытого черноморского побережья Крыма, в соответствии с содержанием ХЭВ и физико-химическими показателями, обладают свойствами, типичными для морских донных отложений. Это свидетельствует о благополучном состоянии исследованных акваторий в целом. Донные отложения Черного моря относятся к I–II уровням загрязнения по концентрации ХЭВ, за исключением глубоководных участков и акватории вблизи ялтинского канализационного коллектора, при этом полученные значения находятся на нижней границе III уровня, тогда как для Азовского моря характерен III уровень. В целом можно говорить о тенденции к постепенному увеличению содержания ХЭВ в акватории черноморского побережья, но при этом донные осадки не загрязнены нефтепродуктами.
2. Полученные концентрации ТМ свидетельствуют о том, что их содержание изменяется в широких диапазонах и зоны их повышенных значений не всегда определяются близостью к источнику загрязнения. В Азовском море на большинстве станций полученные концентрации ТМ превышали таковые для черноморской акватории, в частности, на некоторых полигонах зафиксировано их максимальное содержание в исследованном регионе. Концентрации Zn, Co и Cr, V превышают их естественное содержание в осадках шельфа во всех исследованных районах (за исключением акватории Каламитского залива), а Ni – в акватории Азовского моря, что указывает на наличие источников антропогенного загрязнения.

Библиография

Ганжара Н. Ф. Почвоведение . М.: Агроконсалт, 2001. 392 с.

Гуров К. И., Овсяный Е. И., Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Факторы формирования и отличительные особенности физико-химических характеристик донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) // Морской гидрофизический

журнал. 2015. № 4. С. 51–58.

Добровольский В. В. Основы биогеохимии . М.: Academia, 2003. 397 с.

Емельянов В. А., Митропольский А. Ю., Наседкин Е. И. и др. Геоэкология Черноморского шельфа Украины . К.: Академпериодика, 2004. 143 с.

Иванов В. А., Прусов А. В., Юровский Ю. Г. Субмаринная разгрузка подземных вод у м. Айя (Крым) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2008. № 3. С. 65–75.

Киселёва Г. А., Кулик А. С., Гаджиева В. В. Зооценоз цистозиры района Карадагского заповедника // Заповедники Крыма. Биоразнообразие на приоритетных территориях: 5 лет после Гурзуфа: Материалы 2-й научной конференции. Симферополь, 2002. С. 58–60.

Котельянец Е. А., Коновалов С. К. Тяжелые металлы в донных отложениях Керченского пролива // Морской гидрофизический журнал. 2012. № 4. С. 50–60.

Кремлёва Т. А., Шавнин А. А., Паничев С. А. Характер распределения микроэлементов в донных отложениях с низким содержанием органического вещества в озерах Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Химия. 2014. № 5. С. 26–35.

Крыленко М. В., Крыленко В. В. Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья // Отчет по НИР. 2013. Т. 7. Азовское море / Южное отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Геленджик, 2013. С. 1157.

Лукьянов С. А., Лебедев А. А., Шварцман Ю. Г. Гранулометрический состав донных отложений и его распределение в устьевой зоне р. Северной Двины // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 2. С. 13–19.

Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа, регламентированная в документе М049-П/02 . СПб.: ООО «Спектрон», 2002. 16 с.

Миронов О. Г. Санитарно-биологическая характеристика Азовского моря // Гидробиологический журнал. 1996. Т. 32. № 1. С. 61–67.

Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Дивавин И. А. Санитарно-биологические исследования в Черном море / АН УССР, Ин-т биологии южных морей. СПб: Гидрометеоиздат, 1992. 115 с.

Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 22. № 6. С. 76–78.

Митропольский А. Ю., Безбородов А. А., Овсяный Е. И. Геохимия Черного моря . К.: Наукова думка, 1982. 114 с.

Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах : Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 310 с.

Никаноров А. М. Гидрохимия . Л.: Гидрометиздат, 1989. 351 с.

Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем : Аналитический обзор. Сер. Экология. Вып. 62 / ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. Новосибирск, 2001. 58 с.

Перельман А. И. Геохимия . М.: Высшая школа, 1989. 528 с.

Петренко О. А., Жугайло С. С., Авдеева Т. М. Результаты многолетних исследований уровня загрязнения морской среды Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна // Труды ЮгНИРО. 2015. Т. 53. С. 4–18.

Рубцова С. И., Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Дорошенко Ю. В. Оценка экологического состояния севастопольских бухт по основным химическим и микробиологическим критериям // Морск. экол. журн. 2013. № 2. Т. XII. С. 38–50.

Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 118–131.

Совга Е. Е., Башкирцева Е. В., Степаняк Ю. Д. Экологическое состояние акватории

Керченского пролива до катастрофических событий ноября 2007 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2008. № 17. С. 184–193.

Сурова Н. А., Кузнецова Е. Ю. Исследование антропогенного загрязнения природных экосистем Карадага // Материалы 2-й научной конференции «Заповедники Крыма. Биоразнообразие на приоритетных территориях: 5 лет после Гурзуфа». Симферополь, 2002. С. 146–148.

Тихонова Е. А., Бурдиян Н. В., Соловьёва О. В., Дорошенко Ю. В. Химические и микробиологические показатели донных отложений Керченского пролива после аварии судна «Волгонефть-139» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. М.: ВНИИОЭНГ, 2015. № 4. С. 12–16.

Тихонова Е. А., Гусева Е. В. Динамика нефтяного загрязнения донных осадков и прибрежных наносов Керченского пролива после аварийного разлития мазута в ноябре 2007 г. // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: Материалы 7-й междунар. научн. конференции. Керчь, 2012. Т. 1. С. 253–255.

Чертко Н. К., Чертко Э. Н. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие . Минск: Издательский центр БГУ, 2008. 140 с.

Юровский Ю. Г., Юровская Т. Н., Прусов А. В. Проблемы оценки экологического состояния донных отложений и субмаринная разгрузка подземных вод // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Вып. 26 (1). С. 58–63.

EVALUATION OF THE CONTAMINATION LEVEL OF SEA BOTTOM SEDIMENTS ON THE CRIMEAN COAST OF THE BLACK AND AZOV SEAS

TIKHONOVA Elena *Ph.D., IMBR (Sevastopol, Nakhimov ave. 2, 299011), tihonoval@mail.ru*

KOTELYANETS Ekaterina Aleksandrovna *MHI (Sevastopol, Kapitanskaya, 2), plistus@mail.ru*

SOLOV Olga Victorovna *Ph.D., IMBR (Sevastopol, Nakhimov ave. 2, 299011), kozl_ya_oly@mail.ru*

Keywords: bottom sediments, chloroform-extractable substances, oil hydrocarbons, heavy metals, the Black Sea, the Sea of Azov

Reviewer: V. Dauvalter

Received on: 06 May 2016
Published on: 26 December 2016

Summary: Within the framework of the 83-rd cruise of the research vessel "Professor Vodyanitsky" (January-February 2016) a coastal area of the Crimea was investigated. The studied regions – water space of the Black and Azov Seas and pre-strait-area of the Kerch Strait - have varying degrees of the anthropogenic load. The aim of the work was to study the content of chloroform-extractable substances (CES), oil hydrocarbons (OH) and heavy metals (HM) in the sediments of the Azov-Black Sea basin including the areas of the north-western shelf of the southern coast of the Crimea, the Kerch Strait and the south-western part of the Azov Sea. Samples were obtained a t 21stations using an automatic dredge. In the Black Sea, bottom sediment sampling points were located at the depth from 24 to 83 m, with the exception of a deep-sea station (1040 m). At the stations located in the Azov Sea the depth did not exceed 9 - 18 m. In the prepared samples the total amount of CES was determined by gravimetric method, the content of OH was determined by the method of infrared spectrometry using spectrophotometer SPM-1201, the total content of metals As, Cr, Co, Ni, Pb, Zn, V, Sr, and metals oxides TiO_2, MnO, Fe_2O_3 using XRF spectrometer "Max Spectroscan-G». All the results for CES and OH concentrations were counted per 100 g of air-dried sediment (air.-dry.b.s.). According to the received data CES content in the sediments of the Black Sea ranges from 10 to 110 mg/100 g air.-dry.b.s. At the most stations OH concentration was in line with the trace values (less than 5 mg / 100 g) - from 1.7 to 10 mg / 100 g. In the Sea of Azov these figures were slightly higher and accounted for CES - from 107 to 187 mg /100 g, which corresponds to level III pollution, while OH - were in the same range as those in the Black sea (from 6.9 to 10.2 mg / 100 g). At the most stations in the Azov Sea the content of HM exceeded values obtained in the Black Sea. Now (2016) in the open Crimean coast bottom sediments of the Black Sea have properties typical for marine sediments of the studied area. There is an upward trend in the content of chloroform-extracted substances in the Black Sea region, but the sediments are not contaminated with oil products. Taking into account the physical-chemical characteristics of marine sediments, it can be stated that the condition the studied area as a whole is safe.

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
https://ecopri.ru https://petrsu.ru

УДК 574.52

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ЧУДСКО-ПСКОВСКОГО ОЗЕРА

ШАРОВ Андрей Николаевич — *к. б. н., Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (Санкт-Петербург, 197110, Корпусная, 18), sharov_an@mail.ru*

АНДРЕЕВА Ирина Витальевна — *ФГБУ "Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" (199106, Санкт-Петербург, В. О., 23-линия, д. 2а), ir-andr@yandex.ru*

Ключевые слова: фитопланктон, биомасса, видовой состав, хлорофилл «а», климатическая изменчивость

Получена: 23 июня 2016 года
Подписана к печати: 14 декабря 2016 года

Аннотация. В статье анализируются результаты исследования фитопланктона на 16 станциях Чудско-Псковского озера в весенний (май), летний (август) и осенний (октябрь) периоды 2012–2015 гг. В фитопланктоне идентифицировано 186 видов. Приводится список массовых таксонов. Отмечено, что биомасса фитопланктона имела широкую амплитуду среднегодовых значений: для оз. Чудского 0.3–23.0 мг/л, для оз. Псковского 0.4–34.0 мг/л и для оз. Теплого (август) 3.4–25.1 мг/л. По видовому составу, структурообразующим комплексам и уровню биомассы фитопланктона озеро, как и в предыдущие годы наблюдений, относится к водоемам мезотрофного типа с чертами эвтрофии. Качество вод на различных участках Чудско-Псковского озера соответствовало условно чистым водам (I класс качества) и слабо загрязненным (II класс качества). Обнаружена корреляция между характеристиками фитопланктона и факторами среды (температура, уровень воды, прозрачность, концентрация P и N в воде).

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Первые сведения о фитопланктоне Чудско-Псковского озера были опубликованы в начале прошлого века в работах зоолога Тартуского университета Н. А. Самсонова (1912, 1914). История изучения водорослей озера подробно описана Д. Н. Судницыной (2007). Особо следует выделить работы Р. А. Лаугасте (1966, 1968) и В. В. Ястремского (1986), заложившие основы систематических исследований фитопланктона Чудско-Псковского озера, которые с 1980 г. носят мониторинговый характер и продолжаются по настоящее время. Государственный гидробиологический мониторинг российской части Чудско-Псковского озера начал осуществляться с середины 90-х годов прошлого столетия единично, а начиная с 2004 г. на постоянной основе. В данной работе основное внимание уделено результатам, полученным на 16 станциях мониторинга в период открытой воды 2012–2015 гг.

Пространственно-временная неоднородность распределения структурных и функциональных показателей планктона больших озер формируется в зависимости от ряда глобальных факторов, в первую очередь таких, как изменение климата и антропогенное воздействие. Несмотря на ряд публикаций, свидетельствующих о

влиянии климатической изменчивости на различные водные экосистемы Европы (Adrian et al., 1995, Adrian et al., 1999; Nõges and Nõges, 1998; Markensten, 2006; Jeppesen et al., 2009, Филатов и др., 2012, Sharov et al., 2014 и др.), немногие из них касаются реакции фитопланктона на изменение климата, особенно в больших озерах. Основной целью данной работы является анализ современного состояния и реакции фитопланктона Чудско-Псковского озера на изменения окружающей среды.

Материалы

Чудско-Псковское озеро (Peipus) — крупный озерный комплекс на границе между Эстонией и Псковской и Ленинградской областями России. Относится к бассейну Балтийского моря и состоит из трех частей: северное Чудское озеро – площадь 2611 км² (73 %); южное Псковское озеро – площадь 708 км² (20 %); срединное Теплое озеро – площадь 236 км² (7 %). Площадь Чудско-Псковского озера составляет 3555 км², объем – 25 км³. Средняя глубина – 7.1 м, наибольшая – 15 м.

Пробы фитопланктона отбирали в мае, августе и октябре 2012–2015 гг. на 16 станциях, выбранных в соответствии со схемой (рис. 1), утвержденной совместной Российско-Эстонской комиссией по охране и рациональному использованию трансграничных вод для организации мониторинга. Всего было отобрано 165 количественных проб.



Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб в Чудско-Псковском озере
Fig. 1. Schematic map of the sampling stations in the Lake Peipus

Температура воды в августе 2004–2015 гг. была в диапазоне 18.8–25.8 ºС (21.3 ± 0.3 ºС). Исключение составило очень жаркое лето 2010 г., когда температура воды достигала 28 ºС. Прозрачность воды в августе варьировала от 0.5 до 2.5 м (1.2 ± 0.1 м). Среднегодовое колебание уровня воды (разница максимального и минимального уровня) составило 137 см. Величина стандартного отклонения от среднего уровня воды в 2014–2015 гг. – 27.4 см.

Содержание азота (N) и фосфора (P) в воде Псковского озера закономерно выше, чем в Чудском. В период наших исследований в Чудском озере содержание биогенных элементов относительно стабильно (N 0.54 ± 0.13 мг/л, P 0.018 ± 0.004 мг/л). В Псковском озере отмечается незначительная тенденция к уменьшению концентрации P (0.031 ± 0.006 мг/л) и такая же слабая тенденция к росту содержания N (0.71 ± 0.18).

Методы

Пробы воды отбирали батометром Руттнера интегрально через один метр от поверхности до глубины утроенной прозрачности (по диску Секки), на мелководье – до дна. Интегральная проба воды помещалась в 10-литровую пластиковую емкость и перемешивалась.

Часть пробы (0.5 литра) наливали в темную пластиковую бутылку, фиксировали раствором Люголя и после концентрирования осадочным методом (Методические рекомендации..., 1988) использовали для подсчета и видовой идентификации водорослей в микроскопе проходящего света «Ломо МБИ-6» при увеличении х250-800. Для подсчета численности водорослей использовали счетную камеру Нажотта (0.02 мл). При расчете численности и биомассы фитопланктона учитывали рекомендации для определения объемов клеток водорослей (Olenina et al., 2006). К доминирующим относили виды, составляющие более 10 % от общей численности и биомассы в пробе. Для оценки сапробности воды использовали метод индикаторных организмов Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sládeček, 1973). Оценку качества воды производили согласно РД 52.24.309-2011.

Вторую часть пробы воды для определения хлорофилла «а» (1.0 литр) помещали в матовую пластиковую бутылку не фиксировали и фильтровали (в течение часа после отбора) через мембранные фильтры № 5 (Мытищи) с диаметром пор 1.2 мкм по 1–2 фильтра на одну пробу воды (насос HIBLOW 0.15–0.2 атм). Экстрагирование пигментов осуществляли 96 % этанолом в темноте в пластиковых пробирках в течение 18–24 часов. Пробы центрифугировали (центрифуга СМ-6М ELMI) в течение 20 минут при 4000 оборотах. Измерение оптических плотностей этаноловых экстрактов проводили на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ на длинах волн 750 и 665 нм в кварцевых кюветах. Расчет концентрации хлорофилла «а» осуществляли в соответствии с рекомендациями ХЕЛКОМ (HELCOM, 1988) и согласно РД 52.24.784-2013.

Для выявления общих глобальных и региональных особенностей климата и изменений экосистем озера в результате его вариаций были проанализированы ряды наблюдений (2004–2015 гг.) Росгидромета. Для оценки влияния климатической изменчивости был использован метод непараметрической корреляции Спирмена. Рассчитаны коэффициенты связи между характеристиками фитопланктона и региональными факторами (температурой, уровнем воды, прозрачностью, P и N в воде), а также глобальными показателями климатической изменчивости (индексы североатлантического колебания NAO). Значения индекса NAO были взяты с интернет-сайта http://climatedataguide.ucar.edu.

Результаты

В период исследований в фитопланктоне Чудско-Псковского озера нами обнаружено 186 видов: Cyanobacteria – 43, Dinophyta – 2, Cryptophyta – 9, Chrysophyta – 2, Xanthophyta – 1, Bacillariophyta – 44, Chlorophyta – 84, Euglenophyta – 1. По числу видов в планктоне всех трех частей озера преобладали зеленые водоросли, наибольшим богатством отличались хлорококковые водоросли. Максимальное видовое разнообразие отмечено для родов *Scenedesmus* и *Clocterium*. Практически во всех пробах встречались *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová 1969, *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson in Brébisson & Godey 1835, *S. sempervirens* Chodat 1913, *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini 1840, *P. duplex* Meyen 1829. Из диатомовых водорослей наиболее разнообразными были рода *Aulacoseira* и *Fragilaria*. Почти на всех станциях в планктоне трех озер часто встречались *Asterionella formosa* Hassall 1850, виды родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*. Довольно часто встречались крупные водоросли из родов *Surirella* и *Gyrosigma*. В планктоне всех изученных водоемов было отмечено значительное видовое разнообразие мелкоклеточных колониальных цианобактерий из порядка Chroococcales. Почти на всех станциях встречались виды *Aphanocapsa planctonica* (G. M. Sm.) Komárek & Anagn. 1995, *Aphanocapsa delicatissima* West & G. S. West 1912, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886, *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) J. Komárková-Legnerová & G. Cronberg 1992,

Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing 1846 и *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin 1933. Среди динофитовых было идентифицировано два вида – *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin 1841 и *Peridinium* sp. Криптомонады *Komma caudat*a (Geitler) Hill 1991 и виды родов *Chroomonas* и *Cryptomonas* присутствовали во всех пробах, составляя иногда (в 2015 г.) более 10 % общей биомассы фитопланктона. Желто-зеленая водоросль *Tribonema affine* (Kützing) G. S. West 1904 встречалась в планктоне исследованных озер практически на всех станциях водной системы в августе, хотя и не входила в состав доминантов.

Анализ видового состава фитопланктона исследованных озер показал, что в Чудско-Псковском озере он довольно однороден (коэффициент видового сходства Сёренсена 71–76 %). Значение индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанное по биомассе фитопланктона, варьировало от 2.03 до 4.36 бит/г. Средние величины индекса Шеннона 2.87 ± 0.18 бит/г. Максимальные значения индекса разнообразия было в оз. Псковское.

В период исследования фитопланктона Чудско-Псковского озера преобладали виды-индикаторы олиго- и b-мезосапробных условий. Оценка качества вод по индексам сапробности (по численности) водорослей фитопланктона свидетельствует о том, что качество вод на различных участках Чудско-Псковского озера соответствовало условно чистым водам, I класс качества, и слабо загрязненным, II класс качества (табл. 1).

Таблица 1. Оценка качества вод (РД 52.24.784-2013) Чудско-Псковского озера по индексам сапробности фитопланктона (2014–2015 гг. по численности)

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Индекс сапробности	Станции
Май			
I	Условно чистая	до 1.5	51, 57, 91, 10, 5
II	Слабо загрязненная	> 1.5 до 2.5	22, 52, 27, 56, 7
Август			
I	Условно чистая	до 1.5	51
II	Слабо загрязненная	> 1.5 до 2.5	22, 52, 27, 56, 57, 16, 17, 43, 91, 92, 10 5, 7, 2, 4, 38
Октябрь			
I	Условно чистая	до 1.5	–
II	Слабо загрязненная	> 1.5 до 2.5	22, 52, 51, 27, 56, 57, 91, 10, 5, 7

Биомасса фитопланктона имела широкую амплитуду пространственно-временных значений: для оз. Чудское 0.3–23.0 мг/л, для оз. Псковское 0.4–34.0 мг/л и для оз. Теплое (август) 3.4–25.1 мг/л. Максимальная биомасса цианобактерий была в августе 2014 г.: в Псковском озере достигала 1.96 мг/л (ст. 52), в Чудском – 16.5 мг/л (ст. 56) и в Теплом 12,8 мг/л (ст. 17). Цианобактерии составляли от 4 до 66 % от общей биомассы фитопланктона, доминируя в Псковском озере в 2013 и 2014 гг., а в Чудском – в 2014 и 2015 гг. (рис. 2).

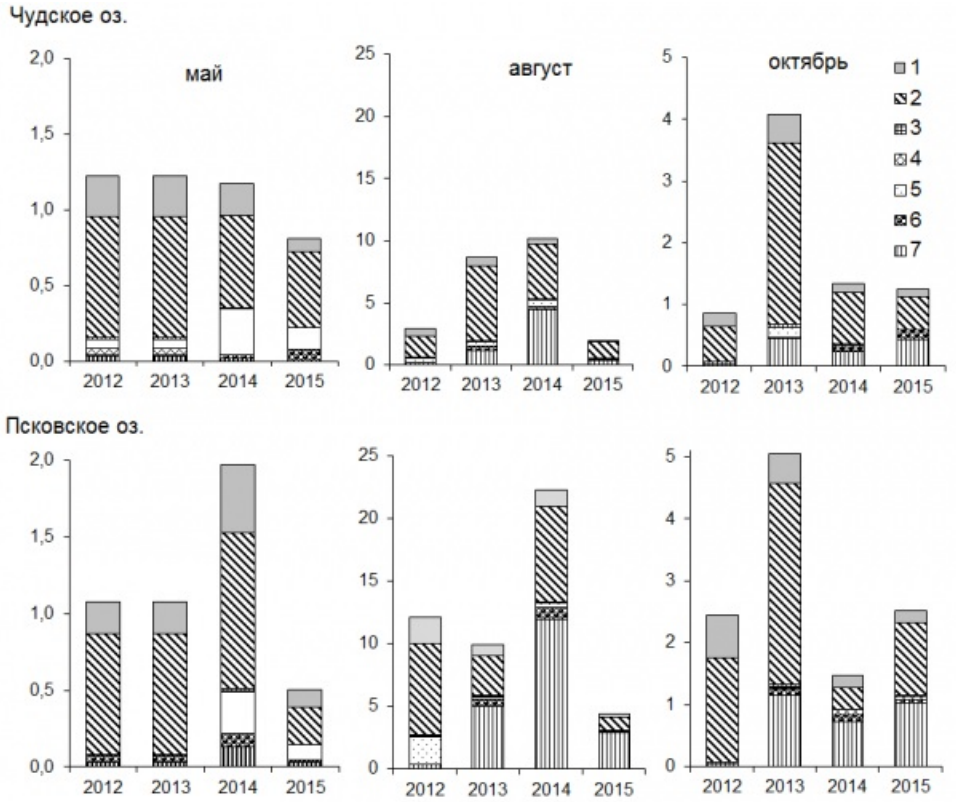


Рис. 2. Структура биомассы (мг/л) фитопланктона в Чудском и Псковском озерах в разные сезоны 2012–2015 гг.: 1 – Chlorophyta, 2 – Bacillariophyta, 3 – Xanthophyta, 4 – Dinophyta, 5 – Chrysophyta, 6 – Cryptophyta, 7 – Cyanobacteria

Fig. 2. The structure of phytoplankton biomass (mg/l) of in the lakes Peipus and Pskov in different seasons of 2012–2015: 1 – Chlorophyta, 2 – Bacillariophyta, 3 – Xanthophyta, 4 – Dinophyta, 5 – Chrysophyta, 6 – Cryptophyta, 7 – Cyanobacteria

Обсуждение

Среднее значение биомассы фитопланктона в период наблюдений (2012–2015 гг.) составляло в Чудском озере 2.1 ± 0.2 мг/л, в Псковском озере 5.4 ± 1.4 мг/л и в Теплом озере 6.1 ± 1.2 мг/л и было значительно ниже, чем в период с 2006 по 2011 г. (рис. 3).

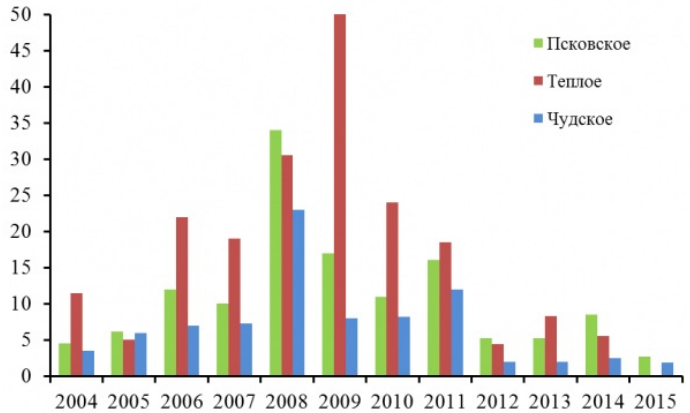


Рис. 3. Межгодовая изменчивость биомассы (мг/л) фитопланктона в различных частях Чудско-Псковского озера в 2004–2015 гг. (2004–2011 гг. по: Ежегодник..., 2005–2012)

Fig. 3. The interannual variability of phytoplankton biomass (mg/l) in different parts of the Peipsi Lake in 2004–2015

На протяжении многих лет исследований в фитопланктоне Чудско-Псковского озера по биомассе преобладали диатомовые, криптофитовые, динофитовые водоросли

и цианобактерии (Ежегодник..., 2002–2014). С 2008 по 2013 г. из состава фитопланктона практически исчезли криптофитовые водоросли, достаточно обильные в предыдущие годы. В 2014 г. криптофитовые водоросли *Komma caudata, Chroomonas* sp., *Cryptomonas marsonii* Skuja 1948, *Katablepharis ovalis* Skuja 1948 и *Cryptomonas* sp. встречались практически во всех пробах, составляя до 6 % общей биомассы, а в 2015 г. *Komma caudata* и *Cryptomonas* sp. были обычными и даже доминировали по биомассе в планктоне Чудского озера весной и осенью.

Таксономическая структура в 2012–2015 гг. в целом была сходна с наблюдаемой в предыдущие годы, и состав доминантного комплекса изменился незначительно. По видовому составу, структурообразующим комплексам и биомассе фитопланктона Чудско-Псковское озеро, как и в предыдущие годы наблюдений, относится к водоемам мезотрофного типа с чертами эвтрофии.

Наблюдается значительная межгодовая изменчивость биомассы фитопланктона, что, возможно, связано с антропогенными и природными факторами. Это подтверждает результаты более ранних наблюдений (Лаугасте, 1966; Ястремский, 1986), в которых отмечались межгодовые различия сезонной динамики биомассы в зависимости от климатических особенностей года. Кроме того, в последнее время биомасса фитопланктона в оз. Псковское не всегда выше по сравнению с другими частями системы, как это было в 1970–1980 гг. (Ястремский, 1986).

Интенсивное развитие водорослей планктона было замечено еще в конце XIX и в XX вв. в разных частях Чудско-Псковского озера (Laugaste et al., 2001). По данным Кангура с соавторами (Kangur et al., 2003), структура фитопланктона значительно изменилась и его биомасса (в частности цианобактерии) имела тренд к увеличению в оз. Чудское в период 1992–2001 гг. Характерной особенностью фитопланктона в 2015 г. (как и в 2014 г.) было массовое развитие цианобактерий *Aphanizomenon flos-aquae*. Высокие значения численности клеток фитопланктона в 2015 г. по сравнению с предыдущими исследованиями связаны с обилием мелких колониальных видов цианобактерий: *Aphanocapsa delicatissima* и *Aphanocapsa planctonica*, на долю которых приходилось до 55 % от суммарной численности.

Прямая зависимость биомассы фитопланктона от уровня воды ранее была отмечена для больших неглубоких озер (Nõges and Nõges, 1998). Для Чудско-Псковского озера данные о слабых положительных корреляционных связях среднегодовых значений Северо-Атлантического индекса NAO с температурой воды вегетационного периода ($R = 0.28$, $p = 0.046$) и биомассой фитопланктона в оз. Псковское ($r = 0.38$, $p = 0.027$) и отрицательной корреляции с уровнем воды в вегетационный период ($r = -0.48$, $p = 0.011$) были отмечены Лаугасте с соавторами (Laugaste et al., 2001).

Среднегодовой уровень воды в 1885–1902 и 1918–1921 гг. был реконструирован на основе среднего уровня воды летом в районе г. Тарту (Eipre, 1964). Амплитуда колебания среднего объема воды Чудско-Псковского озера в последние 100 лет изменялась от +11 до -15 % (Kapanen et al., 2007). P'erez-Peraza с соавторами (2005) показали связь между объемом воды Чудско-Псковского озера и солнечной активностью. Внешние факторы могут быть одной из определяющих, что подтверждают вариации индекса Североатлантического колебания (NAO). Индекс NAO, начиная с конца 1960-х годов, свидетельствует о достоверном 8-летнем колебании (Appenzell et al., 1998). Для Чудско-Псковского озера имеются многолетние данные о среднегодовом объеме воды и расчет скользящей средних с 8-летнем его колебанием на основе данных гидрометрической станции Tiirikoja. Цикличные периоды изменения объема воды продолжительностью 2–3, 5–6, 10–11, 21–22, 26–28, 33 и 80–90 лет с использованием разных методов ранее были выделены для Чудско-Псковского озера (Догановский, 1982; Glazačeva, 1977).

Содержание хлорофилла «a» (Chl a) в 2013–2014 гг. в Чудском озере изменялось от 5.12 до 26.91 мкг/л (в среднем 13.4 ± 1.5 мкг/л) и было меньше, чем в Псковском озере, где значения варьировали от 14.16 до 84.54 мкг/л (34.8 ± 6.9 мкг/л).

В период исследования 2012–2015 гг. выявлены близкие корреляционные связи

между Chl *a*, биомассой фитопланктона ($R = 0.63, p = 0.001$) и прозрачностью воды ($R = -0.83, p = 0.000$). Биомасса диатомовых водорослей в августе имеет отрицательную связь с температурой воды ($R = -0.80, p = 0.001$) и глубиной станций мониторинга ($R = -0.76$, p = 0.002). Среднегодовое содержание N связано с уровнем воды в озере ($R = 0.74$, p = 0.002). Очевидно, что в маловодные годы с водосбора поступает меньше биогенных веществ в озеро, чем в многоводные годы. Однако для P достоверная связь с уровнем воды не обнаружена.

Отмечены тесные положительные связи ($R = 0.64–0.83, p < 0.002$) между концентрацией P в воде в августе и летним индексом NAO, а отрицательные с NAO в марте ($R = -0.82, p = 0.001$). Индекс NAO отражает крупномасштабный атмосферный процесс, определяющий климатическую изменчивость в Северном полушарии. При положительных значениях индекса преобладают сильные западные ветры, несущие теплый и влажный воздух на север Европейского континента, что особенно ярко проявляется в зимнее время. При положительном индексе NAO увеличиваются осадки, которые повышают сток в озеро с водосбора. Ясная погода в марте (отрицательный индекс NAO) приводит к интенсивному таянию снега и выносу биогенов. Уровень воды в Чудском озере связан ($R = 0.54, p = 0.003$) со среднемесячным индексом NAO в августе.

Заключение

Структура фитопланктона Чудско-Псковское озера в 2012–2015 гг. в целом была сходна с предыдущими годами исследования, состав доминантного комплекса изменился незначительно. По видовому составу, структурообразующим комплексам и уровню биомассы фитопланктона озера, как и в предыдущие годы наблюдений, относятся к водоемам мезотрофного типа с чертами эвтрофии. Средняя биомасса фитопланктона составляла в Чудском оз. 2.1 ± 0.2 мг/л, Псковском – 5.4 ± 1.4 мг/л, Теплом – 6.1 ± 1.2 мг/л. Оценка качества воды озер по индексам сапробности фитопланктона свидетельствует о том, что на различных участках Чудско-Псковского озера в 2014–2015 гг. оно соответствовало условно чистым водам (I класс качества) и слабо загрязненным (II класс качества).

Наличие достоверных связей между климатическими, гидрохимическими, гидрологическими и биологическими показателями свидетельствует о заметных влияниях климатических колебаний на экосистемы озера. Климатические изменения влияют на фитопланктон Чудско-Псковского озера преимущественно опосредованно через изменение концентрации биогенных веществ и температуры воды.

Библиография

Догановский А. М. Циклические колебания уровня воды в озерах в течение прошлого века // География и природные ресурсы. 1982. Вып. 3. С. 152–156.

Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России (по гидробиологическим показателям) . Росгидромет, 2002–2014.

Лаугасте Р. А. Данные об альгофлоре и сезонной динамике водорослей Чудско-Псковского озера // Гидробиология и рыбное хозяйство Псковско-Чудского озера. Таллин: Валгус, 1966. С. 49–68.

Лаугасте Р. А. Фитопланктон Чудско-Псковского озера : Автореф. дис. … канд. биол. наук. Тарту, 1968. 30 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 1988. 32 с.

РД 52.24.309-2011. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши . Ростов н/Д: Росгидромет: ФБГУ «ГХИ», 2011. 67 с.

РД 52.24.784-2013. Руководящий документ. Массовая концентрация хлорофилла «а». Методика измерений спектрофотометрическим методом с экстракцией этанолом .

Ростов н/Д: Росгидромет: ФБГУ «ГХИ», 2013. 14 с.

Самсонов Н. А. Планктон Псковского водоема. Весенний и летний планктон // Труды промыслово-научной экспедиции по изучению Псковского водоема, 1. Вып. 4. 1914. С. 1–18.

Самсонов Н. А. Планктон Псковского водоема. Зимний планктон // Труды промыслово-научной экспедиции по изучению Псковского водоема, 1. Вып. 1. 1912. С. 15–30.

Судницына Д. Н. Разнообразие водорослей озер и рек Псковской области // Доклады Академии наук РАН. 2012. Т. 444. № 5. С. 554–557.

Ястремский В. В. Закономерности формирования пространственно-временной структуры и продуктивности фитопланктона пелагиали крупных мелководных озер Северо-Запада (на примере Псковско-Чудского водоема) : Автореф. дис. … канд. биол. наук. Л., 1986. 23 с.

Adrian R., Deneke R., Mischke U., Stellmacher R., Lederer P. A long-term study of the Heiligensee (1975–1992). Evidence for effects of climatic change on the dynamics of eutrophied lake ecosystems // Arch. Hydrobiol. 1995. Vol. 133. P. 315–337.

Adrian R., O'Reilly C., Zagarese H., Baines S. B., Hessen D. O., Keller W., Livingstone D. M., Sommaruga R., Straile D., Donk E. V., Weyhenmeyer G. A., Winder M. Lakes as sentinels of climate change // Limnol. Oceanogr. 2009. Vol. 54. № 6. P. 2283–2297.

Appenzeller C., Stocker T., Anklin M. North Atlantic Oscillation Dynamics Recorded in Greenland Ice Cores // Science. 1998. Vol. 282. P. 446–449.

Eipre T. State of Lake Peipsi // Estonian Geographical Union annual book 1963. Tallinn, 1964. P. 34–54.

Glazačeva L. I. Cycles of natural processes and water levels of the lakes and rivers. Riga, 1977. 50 p.

HELCOM Guidelines for the Baltic monitoring programme for the third stage. Part D. Biological determinants // Baltic Sea Environment Proceedings. 1988. 27D. P. 1–161.

Jeppesen E., Kronvang B., Meerhoff M., Sondergaard M., Hansen K. M., Andersen H. E., Lauridsen T. L., Beklioglu M., Ozen A. O., Olesen J. E. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations // J. Environ. Qual. 2009. Vol. 38 (5). P. 1030–1041.

Kangur K, Möls T., Milius A., Laugaste R. Phytoplankton response to changed nutrient level in Lake Peipsi (Estonia) in 1992–2001 // Hydrobiologia. 2003. Vol. 506–509. P. 265–272.

Kapanen G. Punning J.-M., Blinova I., Kangur K. The Roles of Natural and Anthropogenic Factors of Ecological State in the Lake Peipus // International Journal of Applied Science, Engineering and Technology. 2007. Vol. 7. P. 133–138.

Laugaste R., Noges T., Noges P., Jastremskij V., Milius A., Ott I. Algae // Lace Peipsi Flora and Fauna. 2001. Tartu, 2001. P. 31–49.

Markensten H. Climate effects on early phytoplankton biomass over three decades modified by the morphometry in connected lake basins // Hydrobiologia. 2006. Vol. 559. P. 319–329.

Nõges P., Nõges T. The effect of fluctuating water level on the ecosystem of Lake Võtrsjärv, central Estonia // Proceedings of the Academy of Sciences, Estonia. 1998. Ecology Series 47. P. 98–113.

Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Göbel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. 2006. № 106. 144 p.

Perez-Peraza J., Leyva-Contreras A., Valdes-Barron M., Libin I., Yudakhin K., Jaani A. Influence of solar activity on hydrological processes // Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss. 2005. Vol. 2. P. 605–637.

Sharov A. N., Berezina N. A., Nazarova L. E., Poliakova T. N., Chekryzheva T. A. Links between biota and climate-related variables in the Baltic region using Lake Onega as an example // Oceanologia. 2014. Vol. 56 (2). P. 291–306.

Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Adv. Limnol.

1973. Vol. 7. P. 1–28.

SPATIO-TEMPORAL ORGANIZATION OF PHYTOPLANKTON IN PEIPSI LAKE

SHAROV Andrey — *PhD, Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, 197110, Korpusnaya st.18), sharov_an@mail.ru*

ANDREEVA Irina — *North-West Administration Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation (2a, 23th Line, St Petersburg, 199026, Russia), ir-andr@yandex.ru*

Keywords: phytoplankton, biomass, species composition, chlorophyll «a», climatic variability

Received on: 23 June 2016
Published on: 14 December 2016

Summary: In the article, the results of the study of phytoplankton received a t 16 stations of the Lake Peipsi in the spring (May), summer (August) and autumn (October) within the period of 2012–2015 were analyzed. 186 phytoplankton species were found. The list of mass taxa is given. It was noted that phytoplankton biomass had wide amplitude of annual average values in different lakes: Lake Peipsi/Chudskoe 2.1 ± 0.2 (0.3–23.0) mg / L; Lake Pihkva/Pskovskoe 5.4 ± 1.4 (0.4–34.0) mg / L and Lake Lämmijärv/Teploe 6.1 ± 1.2 (3.4–25.1) mg / l. According to species composition, structure and biomass of phytoplankton the lake belongs to the mesotrophic reservoirs with eutrophic features, as it was in previous years of observation. The water quality in the different parts of Lake Peipsi corresponded to conditionally pure water (1st quality class) and slightly polluted one(2nd quality class). Correlation between characteristics of phytoplankton and the environmental factors (temperature, water level, transparency, N and P concentration in water) was detected.

Кожевников А. Ю., Косяков Д. С., Варакин Е. А., Майоров И. С. Разработка экспериментального аппаратно-программного комплекса для экологического мониторинга загрязнения арктической территории опасными химическими элементами и соединениями // Принципы экологии. 2016. № 5. С. 81–90. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5824

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

УДК 543.31, 543.38, 502.05, 502.36

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ОПАСНЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ И СОЕДИНЕНИЯМИ

КОЖЕВНИКОВ Александр Юрьевич	*к. х. н., Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17), akozhevnikov@mail.ru*
КОСЯКОВ Дмитрий Сергеевич	*к. х. н., Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17), kosyakov@mail.ru*
ВАРАКИН Евгений Александрович	*Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17), varakin.ev@yandex.ru*
МАЙОРОВ Илья Сергеевич	*к. т. н, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17), ilmay@mail.ru*

Ключевые слова: Арктика, экологический мониторинг, автоматизация, визуализация, база данных, геоинформационная система

Рецензент: В. В. Вапиров

Получена: 05 октября 2016 года

Подписана к печати: 07 декабря 2016 года

Аннотация. В ходе данной работы предложено использовать экспериментальный аппаратно-программный комплекс (ЭАПК) для автоматизации комплексного эколого-аналитического контроля состояния объектов окружающей среды при осуществлении экспедиционных и исследовательских работ. Комплекс осуществляет представление полученных данных на картографической основе в ГИС ArcView 10.1. ЭАПК использует результаты анализов токсикантов в морских водах, снеге, льде и донных отложениях. Автоматизированные функции комплекса существенно сокращают время по обработке, визуализации и анализу данных, полученных в результате экологического мониторинга природных объектов Арктики.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Развитие Арктического региона в настоящее время является приоритетной задачей России (Юшкин и др., 2006). Особую антропогенную нагрузку испытывает западный сектор Арктики в связи с высокой концентрацией промышленного потенциала на Европейской территории России, а также активной реализацией проектов по добыче углеводородного сырья на Арктическом шельфе (Стоун, 1998). Для эффективного контроля и успешной борьбы с негативным влиянием на природу Арктических регионов необходима интеграция усилий российских исследовательских групп, работающих по данному направлению, создание мощной научной инфраструктуры, включающей наиболее современное и высокопроизводительное оборудование, а также создание дополнительного методического обеспечения.

В связи с этим целью настоящей работы является разработка экспериментального аппаратно-программного комплекса для экологического мониторинга загрязнения арктической территории опасными химическими элементами и соединениями и его апробация с использованием проб объектов окружающей среды.

Традиционные методы исследований

Под экологическим мониторингом понимается система регулярных наблюдений природных сред, выполняемых по определенной программе, которые позволяют выделить изменения в их состоянии, происходящие, в том числе, под влиянием антропогенной деятельности. Результаты таких работ позволяют оценить состояние экосистем и динамику их изменений, создать предпосылки по выработке мер минимизации неблагоприятного воздействия на окружающую среду и в перспективе осуществить разработку природоохранных мероприятий.

Значительная часть данных об экологическом состоянии арктических территорий поступает при производстве гидрологических и гидрохимических работ. Выполнение химического анализа морских вод при экологическом мониторинге подробно расписано в ряде руководств и носит обязательный характер. Кроме того, существует ряд ведомственных руководств, которые или обеспечивают большую точность анализов, или определяют необходимость специализированных наблюдений (Сапожников, 1988; Руководство..., 2003).

Требования к качеству вод регламентируются в местах водопользования населения и изложены в СанПиН 2.1.5.2582-10. В перечень контролируемых химических и физико-химических показателей внесены pH, биогенные элементы, растворенный кислород, биохимическое и химическое потребление кислорода (БПК и ХПК), остаточный хлор. При этом, в отличие от регулярных наблюдений, проводимых на стационарной сети наземных береговых и островных станций, сеть океанографических наблюдений можно характеризовать как нестационарную во времени и нерегулярную в пространстве, базирующуюся на данных, получаемых с морских судов, автономных буев и арктических экспедиций.

В связи с перспективами дальнейшего освоения шельфа и растущими объемами транспортных перевозок в Западном секторе Арктики при оценке состояния морской среды повышенное внимание следует уделять контролю не только общих гидрохимических показателей, но и мониторингу загрязнения морских вод, снежного покрова, донных отложений. При этом для ряда гидрохимических показателей (биогенные вещества, нефтепродукты) методическое обеспечение удовлетворяет требованиям точности, воспроизводимости и чувствительности, в то время как для идентификации важнейших суперэкотоксикантов общего органического углерода, полиароматических углеводородов, хлорированных углеводородов, тяжелых металлов требуется разработка высокоточных чувствительных методов.

Для накопления информации о концентрации вышеописанных токсикантов с последующим комплексным анализом необходима организация соответствующих обширных баз данных. Это позволит не только определить вклад характерных для конкретной акватории источников загрязнений и факторов окружающей среды

(климатических, гидрологических, геолого-морфологических), влияющих на распространение загрязнений, но и обеспечить интеграцию полученных результатов с существующими и разрабатываемыми системами федеральных органов исполнительной власти для оперативного принятия управленческих решений.

Оригинальные методы исследований

Современным актуальным направлением развития экологических исследований является автоматизация процессов обработки и накопления данных о концентрации токсикантов в объектах окружающей среды с последующим представлением информации на картооснове. Визуализация получаемых данных количественного химического анализа позволит в значительной мере упростить комплексный анализ распространения экотоксикантов в Западном секторе Российской Арктики при осуществлении эколого-аналитического мониторинга.

В процессе выполнения данной работы был создан ЭАПК, позволяющий сократить время обработки, анализа и визуализации данных о концентрации токсикантов в природных объектах Западной Арктики. Предварительно были разработаны методики высокочувствительного детектирования опасных химических элементов и соединений в морских водах и в донных отложениях Арктической зоны РФ, а именно:

– методика определения тяжелых металлов в морских водах (Боголицын, 2014). Согласно данной методике, возможно одновременное и экспрессное измерение концентрации семи тяжелых металлов в морской воде. Методика основана на их экстракционном концентрировании в виде диэтилдитиокарбаматных комплексов с последующим рентгенофлуоресцентным определением. Использование экстракционного разделения позволяет устранить затруднения метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии полного внешнего отражения, связанные с большим содержанием солей в морской воде. За счет снижения рассеяния и матричных эффектов достигается повышение чувствительности анализа. К существенным преимуществам предложенного метода относятся малый объем пробы, необходимый для анализа, и возможность выполнения измерений в условиях судовой лаборатории;

– методика определения хлорфенолов в морской воде и донных отложениях (Боголицын, 2014). При применении данной методики происходит одновременное и экспрессное определение 13 токсичных фенолов и хлорфенолов в почвах, донных отложениях, природных, питьевых и морских водах. Методика основана на применении быстрого хроматографического разделения с высокочувствительным тандемным масс-спектрометрическим детектированием. Оптимизированные условия хроматографического разделения и масс-спектрометрического детектирования позволяют разделять 15 аналитов за 12 минут анализа. Использование тандемного масс-спектрометрического детектирования позволило отказаться от одного из этапов пробоподготовки без потери чувствительности и качества разделения аналитов. При разработке методики были построены градуировочные характеристики в диапазоне концентраций от 50 до 10000 мкг/л. Достигнуты (без учета концентрирования проб) пределы обнаружения ниже 1 мкг/л. Разработанные процедуры пробоподготовки позволили достичь пределов обнаружения (с учетом концентрирования) ниже 1 мкг/кг для твердых объектов и ниже 1 нг/л для морской воды. Данные пределы обнаружения значительно ниже ПДК, что позволяет применять данную методику для анализа всего спектра объектов, включая воды рыбохозяйственных водоемов;

– методика определения общего органического углерода в морской воде (Боголицын, 2014). Методика основана на предварительном подкислении и отдувке общего неорганического углерода, находящегося в пробе воды, каталитическом окислении соединений углерода при температуре от 800 °С в присутствии кислорода до диоксида углерода (IV) и последующем определении общего органического углерода с использованием детектора инфракрасного излучения. Предложенный метод учитывает особенности объекта исследования (морской воды) по сравнению с традиционными объектами исследования (поверхностные воды суши, очищенная вода, сточные воды);

– методика одновременного и экспрессного определения шестнадцати важнейших представителей класса полициклических ароматических углеводородов в снеге, ледяном покрове и почве (Боголицын, 2014). Методика основана на применении высокоэффективного хроматографического разделения с последующим тандемным масс-спектрометрическим детектированием. Новизна предложенных подходов заключается в использовании сочетания фотохимической ионизации аналитов при атмосферном давлении с детектированием в режиме мониторинга заданных реакций с выбором идентичных ионов-предшественников и продукт-ионов, а также применении диссоциации, активированной соударениями, для снижения матричных эффектов, повышения чувствительности и селективности анализа. Предложенная методика превосходит по чувствительности более чем на порядок известные и применяемые в настоящее время подходы, базирующиеся на использовании хроматомасс-спектрометрии с химической ионизацией, а также тандемной масс-спектрометрии. Достигаемые пределы обнаружения лежат в диапазоне 0.6–40 мкг/кг без применения предварительного концентрирования проб, что не уступает результатам, получаемым с использованием флуоресцентного детектирования при несопоставимо более высокой селективности анализа, исключающей получение ошибочных данных. Для наиболее токсичного компонента – бенз(а)пирена – достигаемый предел обнаружения в три раза ниже предельно допустимой концентрации для водных объектов (в том числе снега и льда) и более чем в 30 раз ниже в случае почв и донных отложений.

В соответствии с разработанными методиками, в качестве аппаратной части разрабатываемого комплекса использовали научное оборудование для высокочувствительного детектирования опасных химических элементов, в частности:

– рентгенофлуоресцентный спектрометр полного внешнего отражения S2 Picofox в модификации с модулем автоматической загрузки проб;

– газовый хроматомасс-спектрометр Agilent 7890/7000B, состоящий из газового хроматографа Agilent 7890A и тандемного масс-спектрометрического детектора с тройным квадруполем Agilent 7000;

– элементный анализатор MultiEA 5000;

– ВЭЖХ-МС/МС-система, состоящая из тандемного гибридного масс-спектрометра QTRAP 3200, оснащенного источником фотохимической ионизации при атмосферном давлении Photospray, и жидкостного хроматографа Ultimate 3000.

Также при разработке ЭАПК применяли ранее созданную базу данных, предназначенную для хранения информации, полученной в ходе измерений распространения и распределения опасных химических элементов и соединений в морских водах и донных отложениях (Боголицын, 2014).

При создании ЭАПК было принято решение использовать модульную структуру с четким разделением выполняемых функций. В процессе функционирования комплекса автоматизированные процедуры обмена данными между модулями осуществляются при помощи разработанного программного обеспечения. Были определены следующие функциональные модули, входящие в состав ЭАПК:

– программный модуль управления;

– программный модуль визуализации и управления режимами отображения выходных данных;

– программный модуль управления обработкой и хранением усвоенной информации;

– программный модуль представления данных в ГИС ArcView 10.1.

После выполнения анализов проб объектов окружающей среды, в соответствии с разработанными методиками, протоколы количественного химического анализа (протоколы измерений) сохраняются в специальный каталог сервера ЭАПК посредством локальной сети. Сотрудник, ответственный за отбор проб, сохраняет информацию о пробах (координаты отбора, время, тип пробы и т. д.) в виде xls-файла в специальный каталог сервера ЭАПК. Далее разработанные функциональные модули ЭАПК обеспечивают возможность последовательного выполнения следующих процессов:

– программный модуль управления импортирует данные, полученные из файлов протоколов измерений, распознает их с помощью уникального алгоритма, соотносит с информацией о местах отбора проб и добавляет в базу данных;

– программный модуль управления обработкой и хранением усвоенной информации включает в себя базу данных опасных химических элементов и соединений. Модуль предназначен для управления базой данных, а именно – для редактирования и/или удаления отдельных записей информации о концентрации опасных химических элементов и соединений в проанализированных пробах объектов окружающей среды;

– программный модуль визуализации и управления режимами отображения выходных данных осуществляет выборку информации из базы данных согласно запросу пользователя с помощью специального диалогового окна и на ее основе формирует шаблон представления для ArcGIS;

– программный модуль представления данных в ГИС ArcView 10.1 предназначен для визуализации данных распространения и распределения опасных химических элементов. Позволяет автоматически управлять отображением информации, полученной из базы данных, с возможностью построения изолиний, зон, векторов, которые далее отображаются в ГИС.

В качестве каналов связи служит локальная сеть, обеспечивающая поступление данных количественного химического анализа от научного оборудования к серверу с установленным ЭАПК. В соответствии с функциональными возможностями, в ЭАПК реализована следующая схема организационной структуры, приведенная на рис. 1.

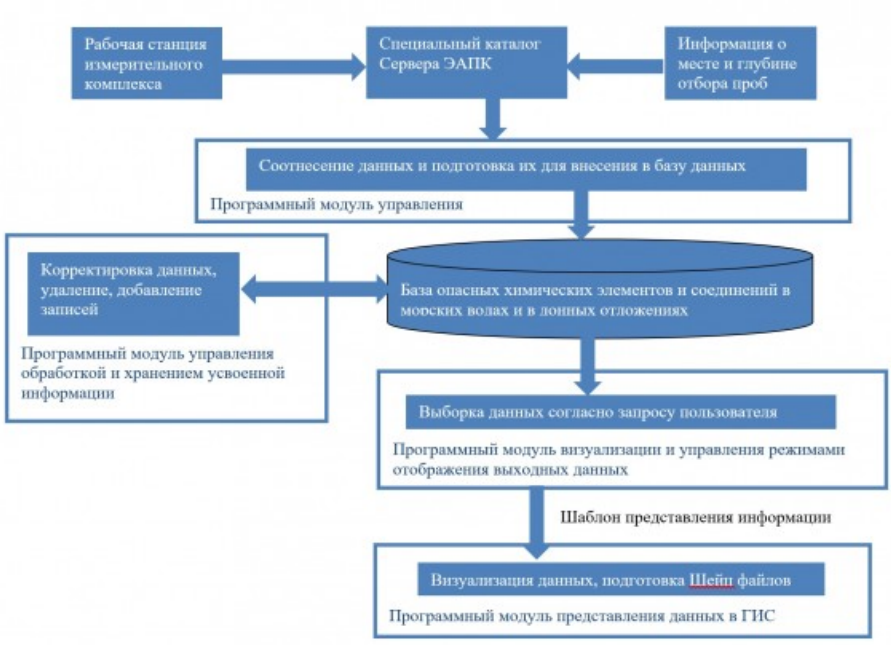


Рис. 1. Функциональная схема работы экспериментального аппаратно-программного комплекса

Fig. 1. Functional scheme of the experimental hardware and software complex

Основная сложность при разработке ЭАПК состояла в реализации автоматического считывания данных количественного химического анализа, получаемых с аналитического оборудования. Данный подход позволил исключить возможность случайной или умышленной ошибки со стороны лаборанта, производящего количественный химический анализ, а также исключить ручное соотнесение результатов с местами отбора проб. Экологи, ученые-исследователи, контролирующие органы и т. д. являются непосредственными потребителями информации, полученной с помощью ЭАПК.

Для апробации комплекса проводили исследовательские испытания. Тестировали

ЭАПК, используя результаты количественного химического анализа, накопленные в базе данных по результатам экспедиций в рамках проекта «Арктический плавучий университет 2013–2016 гг.». Проверяли работу всех программных модулей, а также последовательные автоматизированные функции комплекса, начиная от проведения количественного химического анализа, заканчивая визуализацией полученных данных.

Комплекс позволяет представлять в ГИС информацию о загрязнителях с отображением концентрации заданного элемента или соединения либо доли превышения ПДК. Представление данных реализовано в виде окружностей или изолиний. На рис. 2 представлен пример интерфейса программного модуля визуализации и управления режимами отображения выходными данными ЭАПК.

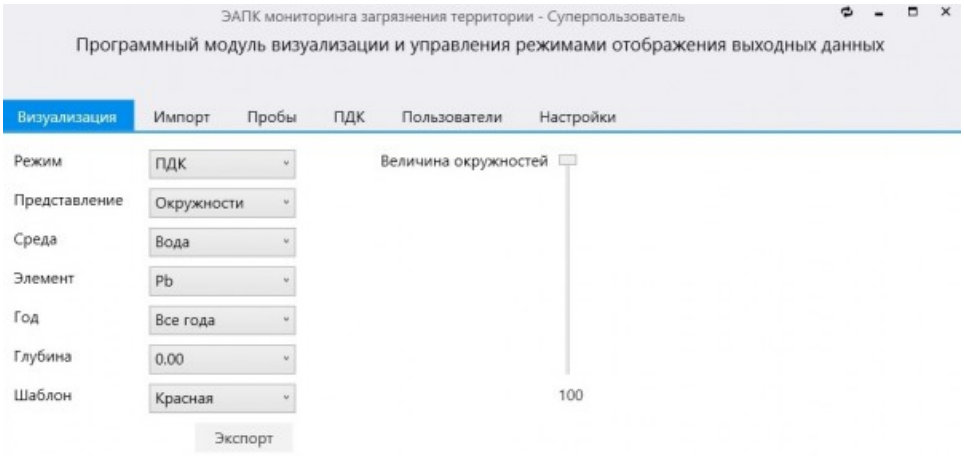


Рис. 2. Пример работы программного модуля визуализации и управления режимами отображения данных

Fig. 2. An example of the work of the software module for visualization and data display mode control

На рис. 3 представлен пример визуализации данных о распределении свинца в морской воде (поверхностный слой) акватории Белого моря. Информация о превышении концентрации данного элемента представлена на картооснове ГИС ArcView 10.1 в долях ПДК.



Рис. 3. Пример визуализации данных превышения содержания свинца в морской воде Белого моря (поверхностный слой)

Fig. 3. An example of data visualization showing excess lead content in sea water in the

White sea (surface layer)

Часть результатов представлена в виде океанологических разрезов: «мыс Канин Нос – мыс Святой Нос», «мыс Зимнегорский – Ивановы Луды», «Двинской залив». Превышения ПДК изображены на карте овалами, которые выделены цветом в зависимости от величины превышения. Точками показаны отобранные пробы, в которых концентрация свинца находится в пределах нормы.

В большей части проанализированных проб выявлены превышения концентрации свинца. Известно, что основным источником загрязнения Белого моря являются речные стоки, содержащие загрязняющие вещества предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, судов речного и морского флота. Особую опасность представляют сточные воды промышленных предприятий. Наибольшую опасность для локальных районов Белого моря (Двинской залив, Кандалакшский залив, устьевая область и дельта р. Северная Двина) представляет загрязнение тяжелыми металлами, нефтяными углеводородами, фенолами (Коршенко и др., 2010). Меньше всего превышений ПДК свинца присутствует в пробах, отобранных на океанологическом разрезе: мыс «Канин Нос – мыс Святой Нос». Данный район Белого моря подвергается загрязнению в меньшей степени вследствие интенсивного притока незагрязненных баренцевоморских вод и отсутствия местных крупных источников сброса загрязняющих веществ.

Заключение или выводы

В ходе данной работы разработан ЭАПК, служащий для автоматизации комплексного эколого-аналитического контроля состояния объектов окружающей среды. Показана возможность использования данного комплекса при проведении анализов проб объектов окружающей среды, в частности арктических территорий. Новизна данной разработки заключается в автоматическом распознавании результатов количественного химического анализа, соотнесении полученных данных с координатами отбора проб, устранении человеческого фактора при обработке информации. Исследовательские испытания комплекса показали его эффективную работу при проведении комплексного экологического мониторинга природных объектов Арктики.

Библиография

Юшкин В. Е., Фортов Ю. Г., Леонова Н. П. Арктика в стратегии реализации топливно-энергетических перспектив . М.: Наука, 2006. 254 с.

Стоун Д. Загрязнение Арктики. Доклад о состоянии окружающей среды Арктики . АМАП: Программа Арктического мониторинга и оценки. СПб: Гидрометеоиздат, 1998. 188 с.

Сапожников В. В. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов . М.: Изд-во ВНИРО, 1988. 118 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов мирового океана / Под ред. В. В. Сапожникова. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

Боголицын К. Г. Создание новых методов и средств мониторинга загрязнения территории и акватории архипелага Шпицберген: Отчет о ПНИЭР № ГР 114103140060 . Архангельск, 2014. 260 с.

Коршенко А. Н., Матвейчук И. Г., Плотникова Т. И., Панова А. И., Иванов Д. Б., Кирьянов В. С., Крутов А. Н., Кочетков В. В., Ермаков В. Б. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2010 . Обнинск: ОАО «ФОП», 2010. 198 с.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме «Создание новых методов и средств мониторинга

гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне Российской Федерации» (Соглашение о предоставлении субсидии от 20.10.2014 № 14.610.21.0006, уникальный идентификатор ПНИЭРRFMEFI61014X0006) с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» САФУ.

Kozhevnikov A., Kosyakov D., Varakin E., Majorov I. Development of the experimental hardware and software complex for environmental monitoring of pollution of the Arctic territory with dangerous chemical elements and compounds // Principy èkologii. 2016. № 5. P. 81–90. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5824

DEVELOPMENT OF THE EXPERIMENTAL HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF POLLUTION OF THE ARCTIC TERRITORY WITH DANGEROUS CHEMICAL ELEMENTS AND COMPOUNDS

KOZHEVNIKOV Aleksandre	*M.V.Lomonosov's Northern (Arctic) Federal University (Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, Russia; 163002), akozhevnikov@mail.ru*
KOSYAKOV Dmitriy	*PhD, M.V.Lomonosov' s Northern (Arctic) Federal University (Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, Russia; 163002), kosyakov@mail.ru*
VARAKIN Evgeniy	*M.V.Lomonosov's Northern (Arctic) Federal University (Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, Russia; 163002), varakin.ev@yandex.ru*
MAJOROV Il	*PhD, M.V.Lomonosov's Northern (Arctic) Federal University (Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, Russia; 163002), ilmay@mail.ru*

Keywords: Arctic, environmental monitoring, automation, visualization, data base, geographic information system

Reviewer: V. V. Vapirov

Received on: 05 October 2016
Published on: 07 December 2016

Summary: In the course of the work, it has been proposed to use the experimental hardware and software complex (EHSC) for the automation of the complex environmental analitical monitoring during expeditions and research. The complex presents data in a cartographic mode in GIS ArcView 10.1. EHSC allows to present the data of toxicants analysis in sea water, snow, ice and bottom sediments. The novelty of this design lies in the automatic recognition of quantitative chemical analysis results, correlation of obtained data with sampling coordinates, elimination of the human factor during information processing. Automated functions of the complex significantly reduce the time of processing , analysis and visualization of the data obtained as a result of environmental monitoring of the natural objects in the Arctic.

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

ПАМЯТИ ОЛЬГИ МИХАЙЛОВНЫ ИВАНОВОЙ-КАЗАС (15 ДЕКАБРЯ 1913 – 17 ЯНВАРЯ 2015)

ЛИННИК Юрий Владимирович

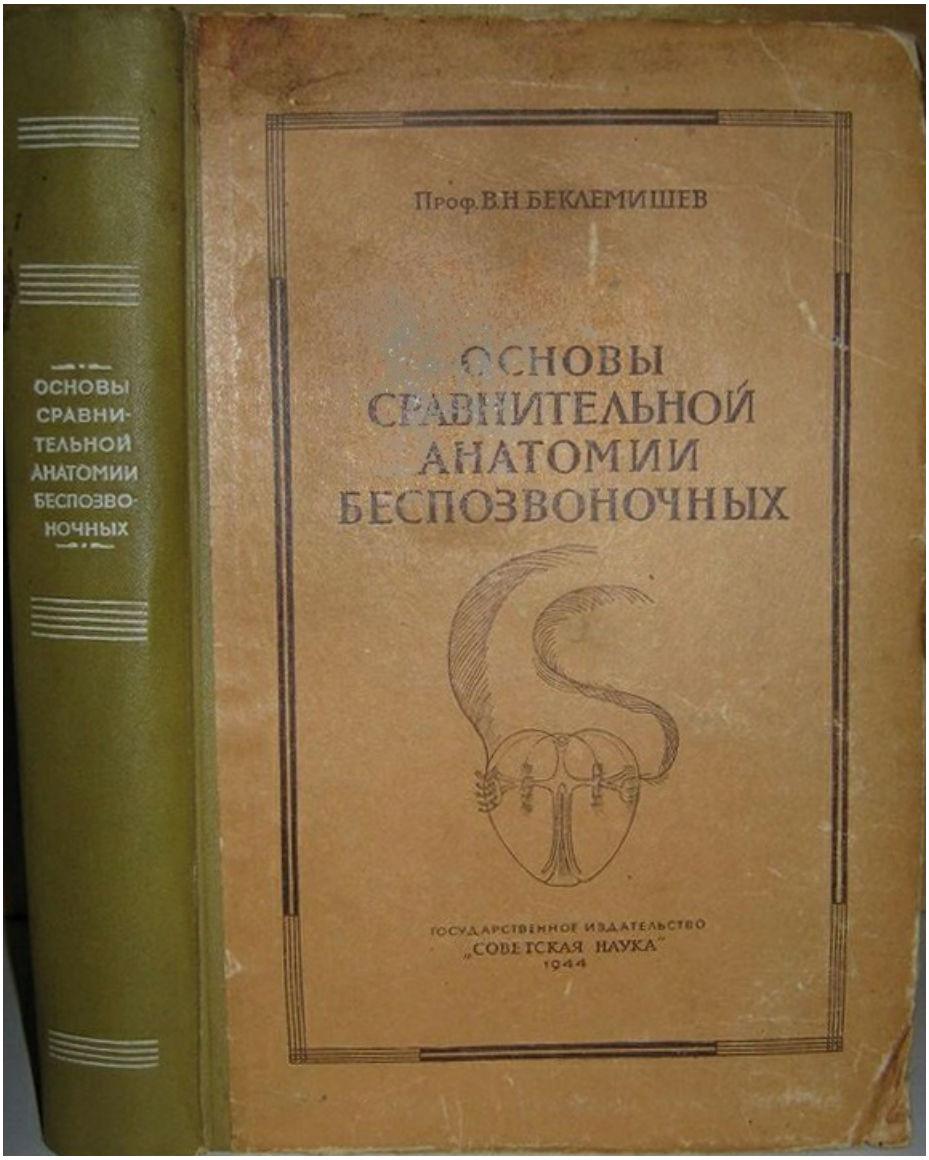
Петрозаводский государственный университет (185640, Карелия, Петрозаводск, Ленина, 31), yulinnik@yandex.ru

Подписана к печати:
14 декабря 2016 года

Не знаю, как и почему в моем сортавальском доме оказалась эта сугубо специальная монография Владимира Николаевича Беклемишева – она стала спутником моего детства.

Я любил ее не меньше Топелиуса.

Она сыграла роль своего рода *импринтинга* – исподволь заложила в душу нечто значительное.



Я и эта книга родились в один год

Планы строения беспозвоночных я воспринимал как что-то фантастическое, сказочное.

Теперь бы сказал – *инопланетное!*

Тогда эта интенция уже зрела в бессознательном ребенке.

Она получила развитие в моих книгах, посвященных беспозвоночным, – «Прозрачность», «Параллельная Вселенная», «Лесной театр».

Часами рассматривал рисунки в чудесной книге.

И теперь они для меня – как мандалы.

Как проявления фундаментальных архетипов!

В. Н. Беклемишев – друг А. А. Любищева.

Считаю Александра Александровича своим учителем.

Оба ученых стали предметом моего философского интереса.

Это были аспирантские годы.

Тогда в поле зрения оказались и книги Ольги Михайловны.



Я ведь гетеанец!

Люблю морфогенезы!

Считай – превращения.

В науку тут вклинивается поэзия.

Кто лучше Ольги Михайловны разбирался в метаморфозах развития?

Она здесь была дока.

Реальные превращения получают свое органичное продолжение в превращениях воображаемых.

Ольге Михайловне было уже за 90, когда вышла в свет ее ошеломительная «Мифологическая зоология».

В Полимусейоне царит культ *миксантропных* существ – сфинксов и русалок, сиринов и кентавров, тритонов и нагов.

Ольга Михайловна относила их к числу *мифозоев.*

Этот замечательный термин – ее придумка.

Она изучала *мифозоев* как биолог.

Разрабатывала их морфологию – систематику – эволюцию.

Истинная *Das Glasperlenspiel!*



Супруги-ученые О. М. Иванова-Казас и А. В. Иванов

Артемий Васильевич (1906–1992) – классик биологии.

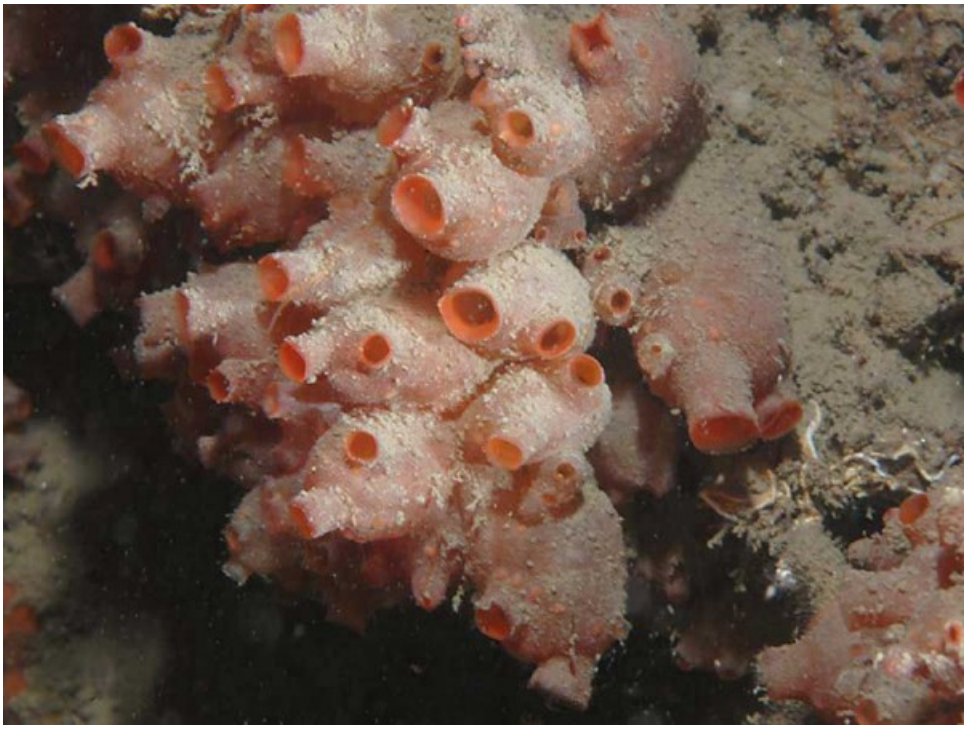
Он внове открыл мир погонофор.

Показал: это самостоятельный тип.

Его монография «Пауки, их строение, образ жизни и значение для человека» (1965) – доселе моя настольная книга.

Ольга Михайловна была связана с Карелией.

В юные годы она изучала на Белом море *Dendrodoa grossularia* – причудливую *Асцидию* (пишу с большой буквы – в старорежимном духе – как это делала Ольга Михайловна).



Dendrodoa grossularia (http://www.marlin.ac.uk/species/detail/1660)

О. М. Иванова-Казас имела талант художника.
Вот ее рисунок, сделанный в Карелии.



Процитирую статью А. В. Ересковского, написанную к 90-летию ученого:

«Первая печатная работа О. М. Казас – "Неотения", подготовленная еще в бытность студенткой, вышла в академическом журнале "Природа" в 1936 году. Это была первая в мировой литературе сводка по данной проблеме. Следующая подобная сводка по неотении вышла лишь в 1997 году из-под пера профессора О. М. Ивановой-

Казас».

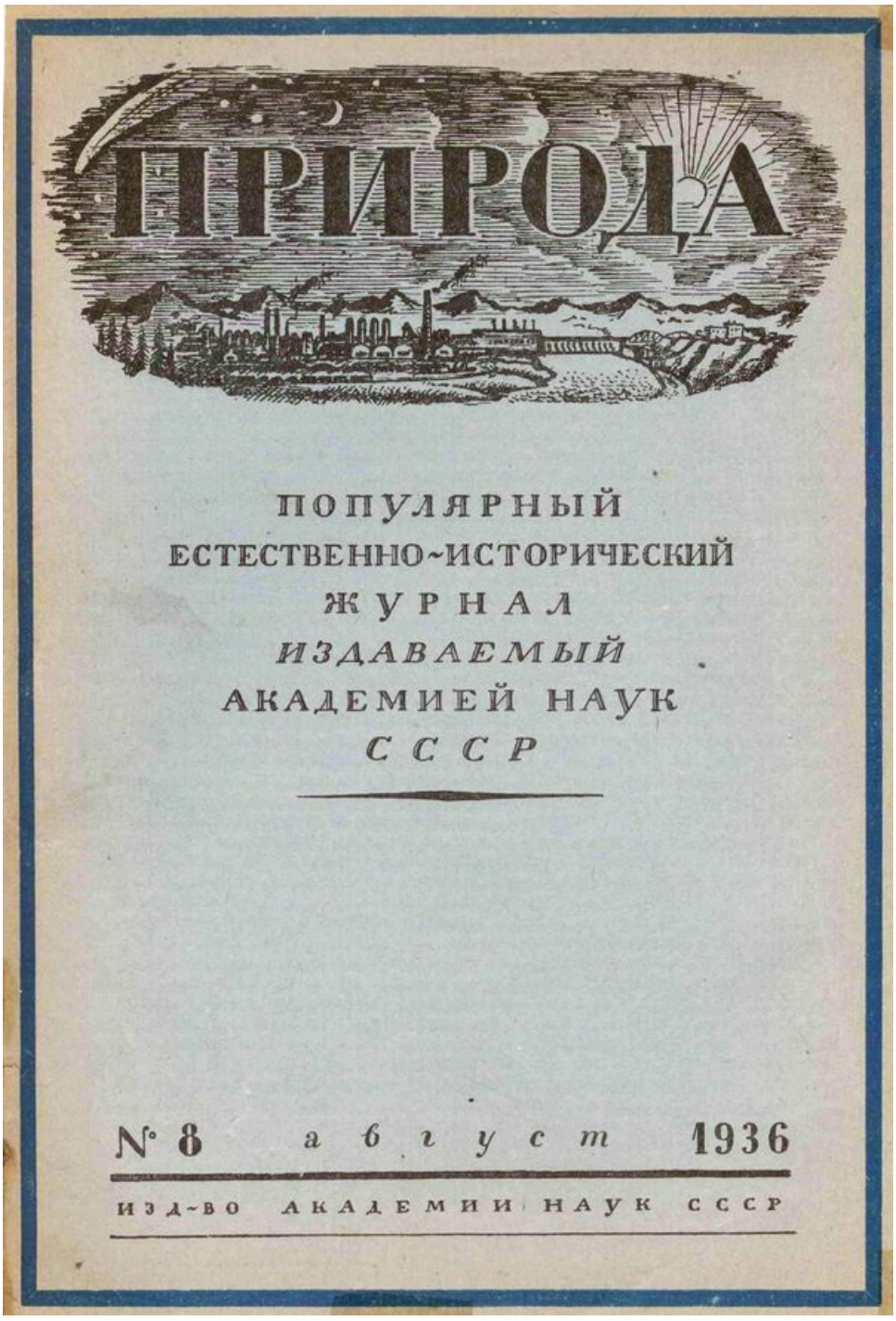
Неотения!

Это для меня еще одна точка пересечения с Ольгой Михайловной.

Биологическое понятие я стараюсь поднять на уровень философски значимой категории.

Неотения является важнейшим механизмом эволюции.

Организм как бы возвращается в детство, снимая с себя бремя специализации, – открывает новые пути развития.



Этот номер – жемчужина моей библиотеки. Здесь опубликована статья 23-летней О. М. Казас-Ивановой о неотении

Неотения – радикальное обновление.

Неотения – шаг назад, который оборачивается мощным рывком вперед.

Нечто подобное имеет место в ноосфере.

Вспомним наивное искусство.

Или парадоксальное: «*...истинно говорю вам, если не обратитесь и не будете как дети, не войдете в Царство Небесное*» (Матф. 18:3).

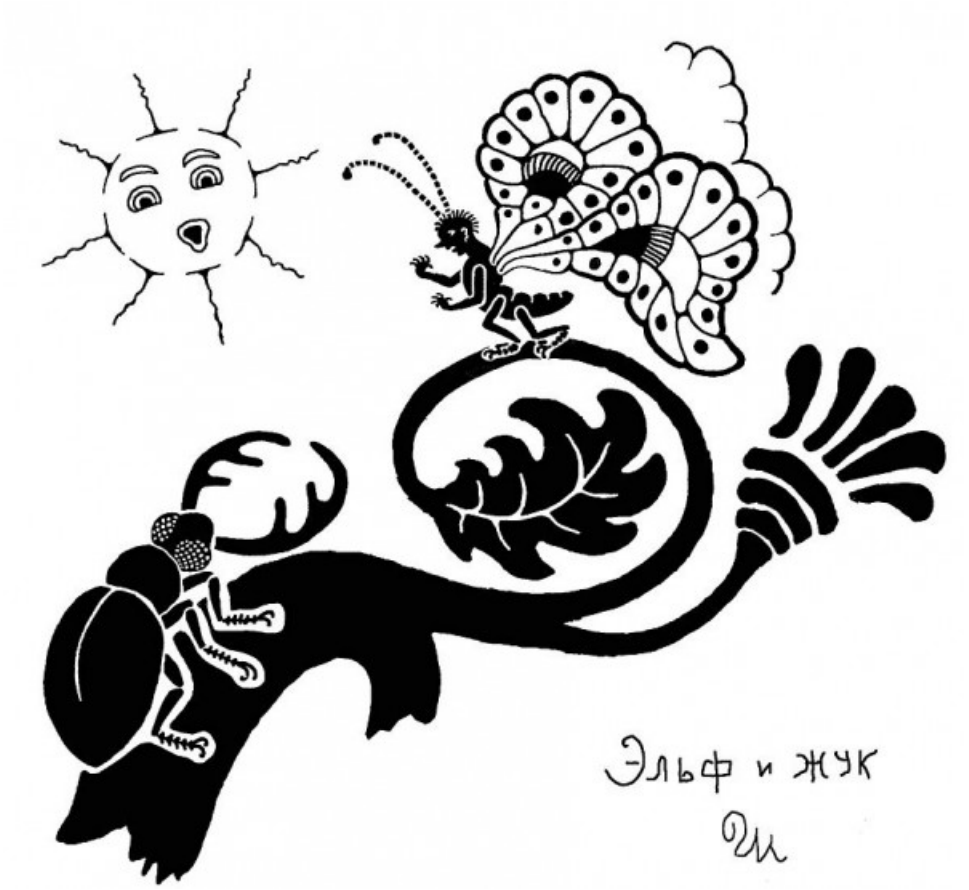
По сути тут речь идет о *социальной неотении.*

Другой пример – *протестантизм:* возвращаясь к простоте первых веков христианства, он сбросил тяжеловесную лепнину католицизма – вера вздохнула легко и свободно.

Травы – это побеги деревьев, восставшие против взросления.

Грандиозный по своей значимости пример *неотении!*

На могилу Ольги Михайловны – наши карельские травы.



О. М. Иванова-Казас. Эльф и жук.

Конечно же, Ольга Михайловна была в душе поэтом – тому свидетельство этот рисунок.

IN MEMORY OF OLGA IVANOVA-KAZAS (15 DECEMBER 1913 – 17 JANUARY 2015)

LINNIK Yury *PetrSU (185640, Karelia, Petrozavodsk, Lenin st., 31), yulinnik@yandex.ru*

Published on:
14 December 2016