

gation: *Nyctea scandiaca*, *Asio otus*, *Otus sunia*, *Aegolius funereus*, *Athene noctua*, *Strux aluco*, *S. uralensis*. It is concluded that Owls on a level with traditional contour feathers fine structure

compartments have several specific contour feathers microstructural patterns have the taxonomic importance.

Key words: microstructure; definitive contour feathers; Owls.

УДК 579.6/9:504.74.054

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И УРБАНИЗАЦИИ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОПУЛЯЦИЙ ОЗЕРНОЙ ЛЯГУШКИ *RANA RIDIBUNDA* (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

© А.И. Файзулин, Ф.Ф. Зарипова

Ключевые слова: морфофизиологические показатели; озерная лягушка; техногенное загрязнение территории; Республика Башкортостан.

Представлены результаты исследований морфофизиологических показателей, проведенные в популяциях озерных лягушек, обитающих в условиях техногенного загрязнения. Установлено, что в местообитаниях с критическим загрязнением меди и цинка отмечается возрастание относительной массы органов: сердца, печени ($P < 0,01$), почек ($P < 0,01$), легких ($P < 0,01$), семенников – по сравнению с территорией с низким содержанием данных металлов.

ВВЕДЕНИЕ

Человеческая деятельность является мощным геологическим фактором, который вызывает существенные изменения потоков миграции элементов в биосфере, на что указывал В.И. Вернадский [1]. В отдельных случаях подобные воздействия приводят к загрязнению экосистем элементами, обладающими токсическими свойствами. Часть элементов активно включается в метаболизм, другие аккумулируются в живых организмах. К таким элементам относятся тяжелые металлы – группа элементов с атомной массой более 50 (Pb, Cd, Ni, Cr, Zn, Cu, Hg).

Амфибии тесно связаны с водоемами, где происходит концентрация тяжелых металлов как в условиях природного высокого фона, так и в результате техногенного загрязнения среды. Для оценки воздействия высокого содержания тяжелых металлов выбраны морфофизиологические показатели и проанализировано их накопление в отдельных органах.

Метод морфофизиологических [2] индикаторов использовался для исследования популяций земноводных урбанизированных территорий [1, 3–4] и районов с высоким антропогенным воздействием [3, 5–13], а также в экспериментальных условиях [14]. Для морфофизиологических показателей характерна также зависимость от пола [10] и возраста [1], отмечается сезонная и биотопическая изменчивость величины индексов [10].

В качестве объекта исследования нами выбрана озерная лягушка *Rana ridibunda* Pallas, 1771, обитающая в большинстве водоемов Зауралья Республики Башкортостан.

Цель нашего исследования – провести анализ морфофизиологических показателей популяций озерной лягушки в условиях техногенного загрязнения территории тяжелыми металлами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование проведено в Баймакском районе Республики Башкортостан в июле–августе 2008–2011 гг., камеральная обработка собранного материала проведена в 2012 г.

Выборки половозрелых особей производились из местообитаний в условиях различной урбанизации. С учетом классификации [15–16] нами в районе исследования выделены зоны по степени содержания тяжелых металлов в воде (табл. 1), с указанием ПДК – предельно допустимой концентрации, установленной для рыбохозяйственных водоемов – и ПДУ – предельно допустимого уровня для водоемов рекреационного пользования.

Оценку антропогенного воздействия проводили по результатам химического анализа проб воды из мест обитания и печени озерной лягушки по содержанию тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb). Анализы проводились атомно-абсорбционным методом на аппарате Contrl A (Германия).

Таналык – г. Баймак, р. Таналык, пруд предприятия «Баймакский литейно-механический завод». В пруду наблюдалось превышение нормы ПДК меди в 23 раза, цинка – в 45 раз. Отмечается высокий уровень кадмия, превышение ПДУ_{рекр.} в 5 раз по сравнению с установленным у водных объектов рекреационного водопользования. В 2008 г. для данного водоема отмечалось однократное превышение ПДК_{рыбхоз.} цинка в 165 раз, меди – в 35 раз [17].

Худолаз – г. Сибай, р. Худолаз, городская плотина. Отлов амфибий проводился в небольшом заливаемом пруду под плотинной общим диаметром около 30 м. Водоем имеет подземное питание, и уровень воды в течение лета практически не меняется. Дно каменистое, илистое, берег, густо поросший макрофитами. Поверхность воды к середине лета зарастает ряской вплоть

Таблица 1

Показатели содержания (мг/л) тяжелых металлов местообитаний озерной лягушки в районе исследования

Выборка	Степень загрязнения/Застройка	Тяжелые металлы (мг/л)			
		Cu	Zn	Pb	Cd
Таналык	Критический/Промзона	0,0234*	0,4470*	0,0004	0,0029**
Худолаз	Высокий/Малозэтажная	0,0213*	0,3790*	0,00001	0,0030**
Исяново	Средний/Без застройки	0,0090*	0,0260	0,00001	0,0009
Казанка	Низкий/Зеленая зона	0,0026	0,0320	0,00001	0,0003
*ПДК _{рыбхоз.}		0,001	0,01	0,006	0,005
**ПДУ _{рекр.}		1,0	1,0	0,03	0,001

до отсутствия водного зеркала. В пробе воды, взятой из пруда, выявлено превышение ПДК меди в 21 раз, цинка – в 38 раз. Обнаружен высокий уровень кадмия, превышение ПДК в 5 раз по сравнению с установленным у объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Для данного объекта в 2008 г. также отмечено превышение ПДК_{рыбхоз.} цинка в 3 раза, меди – в 7 раз [17].

Исяново – Баймакского района, о. Талкас. Озеро расположено в узкой межгорной впадине между хребтами Ирендык и его отрогами, простирающимися с противоположной стороны. Оно находится на высоте 548,5 м н. у. м. Озеро продолговатое, вытянуто с севера на юг. Его длина – 4 км, наибольшая ширина – 1,3 км, глубина – 12 м. Анализы пробы воды показали незначительное накопление биогенных элементов, меди – в 9 раз, цинка – в 2,6 раза.

Казанка – р. Худолаз. Биотоп представлен участком р. Худолаз, находящейся выше по течению г. Сибай между населенными пунктами п. Казанка и п. Туяляс. Содержание меди в воде превышает нормы в 2,6 раза, цинка – в 3 раза.

Для выявления физиологического состояния амфибий рассчитывали индексы органов [2]. С помощью электронных весов определялась масса тела, затем производилось вскрытие и изъятие внутренних органов (сердца, печени, почек, легких, семенников), взвешивание их (с точностью до 0,001 г) на электронных весах Massa-K и ВК-150,1. Нами статистически значимые различия между самками и самцами по исследуемым морфофизиологическим параметрам (сердца, печени, почек, легких) в условиях контроля не выявлены.

Результаты измерений были пересчитаны относительно массы тела в индексах по формуле [11]: $C = P_1/P_0 \times 1000$, где C – относительный вес органов в промилле; P_1 – масса органа; P_0 – масса тела.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика морфофизиологических параметров представлена на рис. 1.

Сердце. Наибольшее значение индекса сердца отмечается в промышленной зоне с критическим загрязнением цинка и меди по сравнению с зоной с малозэтажным типом застройки ($F = 2,55$; $P < 0,01$). Наименьшее значение индекса сердца отмечается в условиях контроля, статистически достоверные различия отмечены в популяциях из зеленой зоны ($F = 2,16$;

$P < 0,05$) и на территории с малозэтажной застройкой ($F = 3,52$; $P < 0,01$).

Печень. Наиболее высокое значение индекса печени отмечено для промышленной зоны, различия достоверны с популяцией из зеленой зоны ($F = 5,22$; $P < 0,01$). Индекс печени ниже в зеленой зоне на статистически значимом уровне по сравнению с контролем ($F = 2,91$; $P < 0,01$) и малозэтажной застройкой ($F = 5,02$; $P < 0,01$). Индекс печени также достоверно ниже в условиях малозэтажной застройки относительно территории без застройки ($F = 1,73$; $P < 0,05$).

Легкие. Индекс легкого статистически значимо выше в районе промзоны относительно районов с малозэтажной застройкой ($F = 2,79$; $P < 0,01$) и зеленой зоной ($F = 9,57$; $P < 0,01$). Относительно контроля индекс легкого ниже в популяциях из зеленой зоны ($F = 7,35$; $P < 0,01$) и малозэтажной застройки ($F = 2,15$; $P < 0,01$). Также ниже индекс на участке с малозэтажной застройкой по сравнению с зеленой зоной ($F = 3,43$; $P < 0,01$).

Почки. Наибольшее значение индекса почек отмечается в промзоне, различия статистически значимы с малозэтажной застройкой ($F = 4,53$; $P < 0,01$), зеленой зоной ($F = 10,77$; $P < 0,01$) и контролем ($F = 13,21$; $P < 0,01$). В зоне малозэтажной застройки индекс почек выше относительно контроля ($F = 2,92$; $P < 0,01$) и ниже по сравнению с зеленой зоной ($F = 2,38$; $P < 0,01$).

Семенники. Индекс семенников озерных лягушек наибольшего значения достигает в промышленной зоне, при этом статистически достоверные различия отмечены только между зеленой зоной и участком с малозэтажным типом застройки ($F = 3,19$; $P < 0,01$).

На морфофизиологические показатели влияют как условия местообитания, так и накопление поллютантов в исследуемых органах [10]. Нами изучено накопление тяжелых металлов в печени озерной лягушки из двух популяций в условиях наибольшего антропогенного загрязнения тяжелыми металлами, а также в условиях низкого содержания (табл. 2).

В условиях Зауралья для популяции «Казанка» выявлено статистически достоверное увеличение индекса печени ($t = 2,70$; $P < 0,05$) с накоплением свинца ($r = 0,605 \pm 0,224$). Напротив, в условиях критического загрязнения промышленной зоны Зауралья (выборка «Таналык») отмечается отрицательная корреляция с накоплением меди и слабая отрицательная с накоплением свинца. Положительная корреляция отмечена с накоплением кадмия.

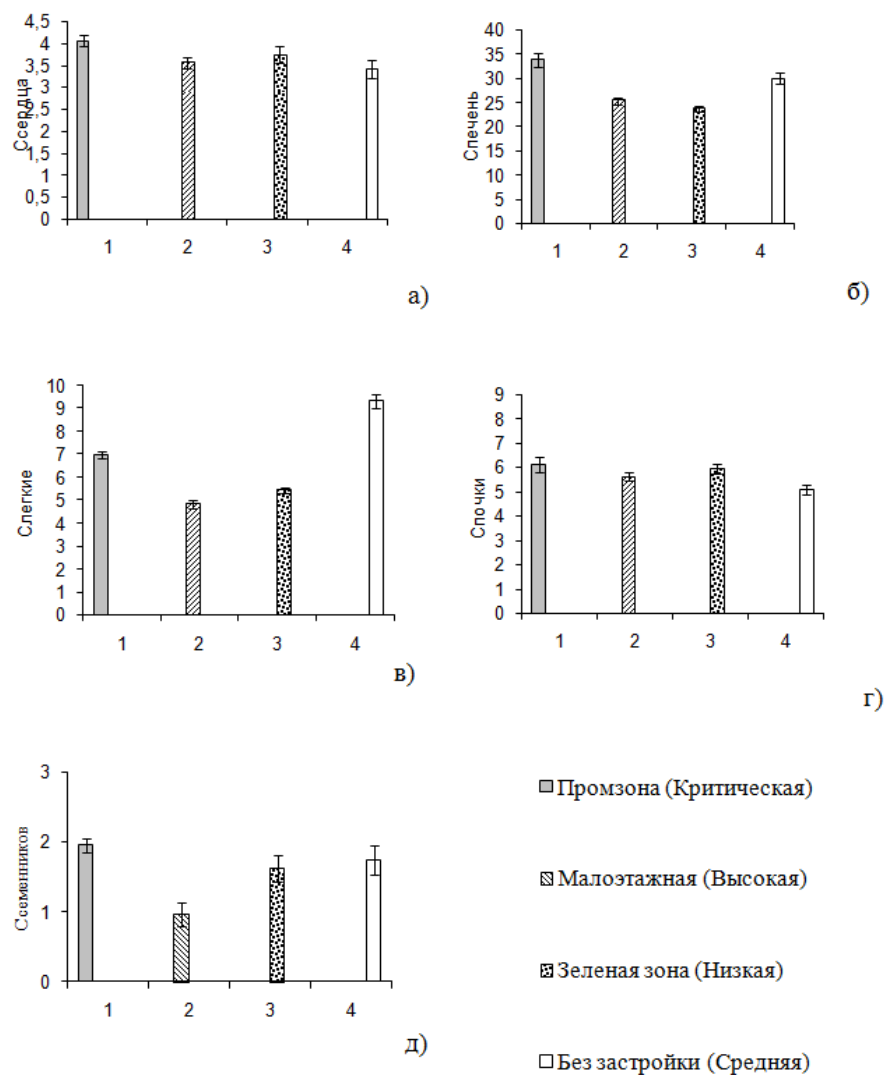


Рис. 1. Морфофизиологические индексы озерной лягушки в районе г. Баймак и г. Сибай: а) сердца, б) печени, в) легких, г) почек, д) семенников. Цифрами обозначены: 1. Таналык; 2. Худолаз; 3. Казанка; 4. Исяново

Таблица 2

Содержание ТМ в печени озерной лягушки (мг/кг сухой массы) и корреляция с индексом печени

Параметры	Медь	Свинец	Цинк	Кадмий
Таналык ($n = 10$), критический уровень загрязнения				
$M \pm S_m$	$167,85 \pm 43,831$	$1,31 \pm 0,390$	$879,17 \pm 151,67$	$6,05 \pm 1,020$
min-max	34,16–372,34	0,18–3,66	314,32–1695,41	2,26–13,93
$r \pm Sr$	$-0,384 \pm 0,270$	$-0,062 \pm 0,315$	$0,178 \pm 0,306$	$0,511 \pm 0,234$
Казанка ($n = 8$), низкий уровень загрязнения				
$M \pm S_m$	$190,31 \pm 41,540$	$0,64 \pm 0,090$	$652,54 \pm 108,45$	$4,55 \pm 1,500$
min-max	14,05–343,27	0,38–1,18	399,0–1171,15	0,07–12,94
$r \pm Sr$	$0,338 \pm 0,313$	$0,605 \pm 0,224$	$-0,002 \pm 0,354$	$0,083 \pm 0,351$

В целом, наши результаты согласуются с данными других исследований [7, 10–12]. При этом следует отметить, что в условиях критического воздействия тяжелых металлов наблюдается возрастание морфофизиологических индексов по сравнению с контролем.

Высокий индекс легкого в зоне без застройки, возможно, связан с высокой степенью инвазии легких гельминтами. В частности, в легких амфибий локализуются трематоды *Pneumonoeces variegatus*, *Skrjabinoeces similis*, *Skrjabinoeces volgensis* и нематоды *Rhabdias bufonis* [1–2, 18–20].

Так, в зоне без застройки и при среднем уровне содержания тяжелых металлов – Исяново отмечены наивысшие показатели экстенсивности ($96,00 \pm 3,92 \%$) и индекс обилия (37,48 экз.) для трематоды *Pneumocoes variegatus*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буракова А.В. Особенности морфофизиологических индексов и показателей паразитарной инвазии *Rana arvalis* Nilss. в зонах с разным уровнем антропогенного воздействия // Биосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее: материалы конф. молодых ученых, 21–25 апреля 2008 г. Екатеринбург, 2008. С. 33-39.
2. Чихляев И.В., Файзулин А.И., Замалетдинов Р.И. Гельминты съедобной лягушки *Rana esculenta* Linnaeus, 1758 (Anura, Amphibia) Среднего Поволжья // Поволжский экологический журнал. 2009. № 3. С. 270-274.
3. Вершинин В.Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 1997.
4. Жукова Т.И., Пескова Т.Ю. Некоторые популяционные характеристики озерной лягушки при обитании в чистом и загрязненном пестицидами водоемах // Экология и охрана окружающей среды: тез. докл. 4 Междунар. конф. Рязань, 1998. С. 34-35.
5. Атаханова К.Я., Айтбаева Б.Т., Байназарова З.А. Биомониторинг реки Нура (Центральный Казахстан) // Вестник Днепрпетровского университета. Биология и экология. Днепрпетровск, 1993. Вып. 1. С. 111-112.
6. Жукова Т.И., Кубанцев Б.С., Бурлаченко Т.Л. Некоторые реакции популяций озерной лягушки на пестицидное загрязнение водоемов // Антропогенные воздействия на популяции животных. Волгоград, 1986. С. 61-81.
7. Ковылина Н.В. Использование озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.) для оперативной индикации техногенного загрязнения водоемов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Волгоград, 1999.
8. Косарева Н.А., Васюков И.Л. Влияние антропогенных факторов на земноводных Волго-Ахтубинской поймы // Антропогенные воздействия на природные комплексы и экосистемы. Волгоград, 1976. С. 84-93.
9. Мисюра А.Н. Некоторые эколого-биохимические аспекты адаптации озерной лягушки к техногенным факторам // Вопросы герпетологии. Л., 1985. С. 143-144.
10. Мисюра А.Н. Экология фоновых видов амфибий центрального стеного Приднепровья в условиях промышленного загрязнения водоемов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Днепрпетровск, 1989.
11. Мисюра А.Н., Залитуха И.Н. Влияние отходов предприятий уранодобывающей промышленности на эколого-физиологические показатели земноводных // Вісник Дніпрпетровського університету. Біологія. Екологія. 2006. Вип. 14. Т. 2. С. 113-117.
12. Пескова Т.Ю. Морфологические и морфофизиологические изменения земноводных при обитании в условиях загрязнения // Известия вузов. Северо-Кавказский Регион. Естественные науки. 2004. № 1. С. 60-64.
13. Пескова Т.Ю. Адаптационная изменчивость земноводных в антропогенно загрязненной среде: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тольятти, 2004.
14. Пястолова О.А. Влияние условий развития личинок *Rana arvalis* Nilss на некоторые морфофизиологические особенности сеголеток // Экология. 1978. № 3. С. 59-63.
15. Вернадский В.И. Размышления натуралиста // Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1977. 192 с.
16. Замалетдинов Р.И., Хайрутдинов И.З. Земноводные и пресмыкающиеся // Экология города Казани. Казань: «Фэн», 2005. С. 191-204.
17. Зарипова Ф.Ф., Юмагулова Г.Р., Файзулин А.И. Характеристика состояния популяции озерной лягушки *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) в Республике Башкортостан по полиморфизму рисунка окраски спины // Изв. Самар. НЦ РАН. 2009. Т. 11. № 1. С. 78-82.
18. Зарипова Ф.Ф., Файзулин А.И., Юмагулова Г.Р. Содержание тяжелых металлов в печени озерной лягушки *Rana ridibunda* Pallas, 1771 Башкирского Зауралья // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2009. № 6. С. 145-146.
19. Пястолова О.А., Трубецкая Е.А. Некоторые морфологические и цитологические особенности печени сеголеток *Rana arvalis* в условиях техногенного ландшафта // Экология. 1989. № 5. С. 57-62.
20. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. Т. 58. 387 с.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы благодарят инженера Э.М. Сиражитдинову за помощь при подготовке проб. Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-04-31774).

Поступила в редакцию 25 сентября 2012 г.

Faizulin A.I., Zaripova F.F. INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC HEAVY METAL POLLUTION AND URBANIZATION ON POPULATION FIGURES OF MORPHOLOGICAL INDICATORS MARSH FROG *RANA RIDIBUNDA* (REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

The results of investigations of morphological indicators in marsh frogs' populations in conditions of industrial pollution are presented. It is found that the mass ratio of heart, liver ($P < 0.01$), kidneys ($P < 0.01$), lungs ($P < 0.01$) and testicles increases compared to the areas with low contents of copper and zinc in the habitats with critical pollution of these metals.

Key words: morphological indicators; marsh frog; industrial pollution of areas; Republic of Bashkortostan.