

УДК 579.6/9:504.74.054
doi:10.21685/2307-9150-2022-2-2

Влияние загрязненности среды на морфометрические и биохимические показатели *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771)

Д. М. Гамидова¹, А. И. Рабаданова²

^{1,2}Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

¹djamka_90@mail.ru, ²ashty06@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рост антропогенной нагрузки на водоемы из-за расширения агломераций способствует сокращению численности как редких, так и широко распространенных видов земноводных. Мы изучили особенности адаптаций озерной лягушки *Pelophylax ridibundus*, обитающей в городских водоемах, к антропогенному загрязнению на основе изучения ряда морфометрических и биохимических показателей. *Материалы и методы.* Для исследования использовали три водоема на территории г. Махачкалы с различной степенью загрязненности, на основе расчета коэффициента комплексности загрязненности среды. У половозрелых особей *P. ridibundus* после нереста снимали морфометрические промеры, измеряли массу тела, рассчитывали линейные индексы, определяли содержание общего белка, холестерина в тканях и глюкозы в крови. *Результаты.* В ходе исследования морфометрических параметров у *P. ridibundus* в загрязненной среде выявлено уменьшение морфометрических параметров тела, наличие размерно-весового полового диморфизма, отмечено увеличение размеров головы и конечностей у самок. Корреляционный анализ показал наличие отрицательной корреляции у самок между индексами $L/L.c.$ и F/T из загрязненных водоемов и положительную корреляцию из водоема с низкой степенью загрязнения. У самцов отмечена только положительная корреляция. По данным факторного дисперсионного анализа выявлено, что загрязнение среды влияет на снижение массы тела, содержание холестерина и глюкозы, а также повышение содержания общего белка в тканях *P. ridibundus* ($R^2 \geq 53 \%$, $p \leq 0,05$). На некоторые параметры влияет половая принадлежность, а также взаимодействие двух факторов. *Выводы.* Популяционная изменчивость массы тела и биохимических параметров у *P. ridibundus* в большей степени обусловлена загрязненностью среды, а изменчивость морфометрических показателей как внутри, так и между популяциями обусловлена комплексом факторов, где степень загрязненности среды влияет в меньшей степени.

Ключевые слова: *Pelophylax ridibundus*, адаптации, антропогенное загрязнение, морфометрические показатели, размерно-весовой половой диморфизм, биохимические показатели

Для цитирования: Гамидова Д. М., Рабаданова А. И. Влияние загрязненности среды на морфометрические и биохимические показатели *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 2. С. 12–25. doi:10.21685/2307-9150-2022-2-2

The effect of environmental pollution on *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) morphometric and biochemical parameters

D.M. Gamidova¹, A.I. Rabadanova²

^{1,2}Dagestan State University, Makhachkala, Russia

¹djamka_90@mail.ru, ²ashty06@mail.ru

Abstract. *Background.* The growth of anthropogenic pressure on water bodies due to the expansion of agglomerations contributes to the reduction in the abundance of both rare and widespread amphibian species. We studied the features of *Pelophylax ridibundus* adaptations living in urban water bodies to anthropogenic pollution based on the study of a number of morphometric and biochemical parameters. *Materials and methods.* For the study, three reservoirs were used on the territory of the city of Makhachkala with varying degrees of pollution, based on the calculation of the coefficient of complexity of environmental pollution. In mature *P. ridibundus*, after spawning, morphometric measurements were taken, body weight was measured, linear indices were calculated, and the content of total protein, cholesterol in tissues, and blood glucose was determined. *Results.* In the course of studying the morphometric parameters of *P. ridibundus* in a polluted environment, a decrease in the morphometric parameters of the body, the presence of size-weight sexual dimorphism, and an increase in the size of the head and limbs in females were noted. Correlation analysis showed the presence of a negative correlation in females between the *L/L.c.* and *F/T* indices from polluted water bodies and a positive correlation from a water body with a low degree of pollution. In males, only a positive correlation was noted. According to the factor analysis of variance, it was revealed that environmental pollution affects the decrease in body weight, cholesterol and glucose levels, as well as an increase in the total protein content in *P. ridibundus* tissues ($R^2 \geq 53\%$, $p \leq 0.05$). Some parameters are also affected by gender, as well as the interaction of two factors. *Conclusions.* The population variability of body weight and biochemical parameters in *P. ridibundus* is largely due to environmental pollution, while the variability of morphometric parameters both within and between populations is due to a complex of factors, where the degree of environmental pollution affects to a lesser extent.

Keywords: *Pelophylax ridibundus*, adaptation, anthropogenic pollution, morphometric indicators, size-weight sexual dimorphism, biochemical parameters

For citation: Gamidova D.M., Rabadanova A.I. The effect of environmental pollution on *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) morphometric and biochemical parameters. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(2):12–25. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-2-2

Введение

Оценка состояния видов и отдельных популяций, подвергающихся воздействию ксенобиотиков, с помощью методологических приемов является крайне важной в связи с наметившейся в последние годы тенденцией к сокращению численности многих видов животных [1–4]. Доминирующим фактором, вызывающим деградацию многих экосистем в биосфере, является техногенное загрязнение, которое рассматривается как мощный фактор отбора, формирующий адаптивные особенности организмов, в том числе земноводных [3–8]. Перспективными объектами биоиндикационных исследований считаются популяции бесхвостых земноводных [9–11]. Оценку их состояния можно осуществлять с использованием морфометрических и биохимических

параметров [11, 12]. В ряде исследований получены противоречивые результаты о влиянии политоксикантов на размеры особей в популяциях загрязненных водоемов. Одни авторы отмечают уменьшение размеров тела [13, 14], другие – их увеличение в загрязненных биотопах [15]. Отмечено, что в антропогенно нарушенных местообитаниях у амфибий наблюдаются различные адаптивные реакции, связанные с изменением интенсивности обменных процессов [11]. Это также связывают с разным составом политоксикантов в каждом из загрязненных водоемов [16]. В связи с этим изучение адаптивных механизмов земноводных является актуальным [11, 16]. Накопление сведений по этой проблеме будет способствовать разработке приемов и методов сохранения популяций земноводных, населяющих различные биотопы и биоиндикации.

Озерная лягушка *Pelophylax ridibundus* является широко распространенным видом в Дагестане. Она населяет различные антропогенные и естественные водоемы. В последние десятилетия отмечено сокращение численности как редких, так и широко распространенных видов в ряде местообитаний [17]. Этому способствуют усиление аридизации региона и рост антропогенной нагрузки на водоемы из-за расширения агломераций. В связи с этим актуальным является вопрос о влиянии степени загрязненности среды обитания на адаптивные механизмы *P. ridibundus*.

Цель настоящего исследования – изучить особенности адаптации *P. ridibundus*, обитающих в городских водоемах, к антропогенному загрязнению на основе изучения ряда морфометрических и биохимических показателей.

Материалы и методы

Для исследования использованы три водоема на территории г. Махачкалы с различной степенью загрязненности, в которых отлавливали половозрелых особей *P. ridibundus*, в период размножения (табл. 1).

Таблица 1
Характеристика нерестовых водоемов озерной лягушки и объем материала

Номер водоема	Места отлова	Тип водоема	Год исследования	Число особей		K_{ff} (%)
				♀	♂	
1	Озеро Ак-Гель	Природный	2019/2020	12	10	18,4
2	ул. Гапцахская	Искусственный	2020/2021	14	12	38,9
3	ул. Коргмасова	Искусственный	2020/2021	16	20	11,1

Степень загрязненности водоемов определялась на основе расчета коэффициента комплексности загрязненности воды (K_{ff}) по формуле [18]

$$K_{ff} = \frac{N'_{ff}}{N_{ff}} \cdot 100 \%,$$

где N'_{ff} – количество нормируемых ингредиентов и показателей качества воды, содержание или значение которых превышают соответствующие им ПДК; N_{ff} – общее количество нормируемых ингредиентов и показателей качества воды, определенных в результате анализа.

Исследуемые водоемы являлись зимовальными и кормовыми для *P. ridibundus*, со средней площадью 45 м² и глубиной 1,5 м. Низкая степень загрязнения в третьем водоеме обусловлена поступлением пресной воды из близлежащих водопроводных труб. Второй водоем с высокой степенью загрязнения расположен рядом с многоэтажными новостройками. Источниками загрязнения в нем являлись отходы как бытового, так и промышленного характера. Первый водоем со средней степенью загрязнения вытекает из оз. Ак-Гель, в котором в последнее время специалистами обнаружен замор рыбы в связи со снижением концентрации кислорода в воде, причина которого пока не установлена.

Морфологические промеры снимали по стандартным методикам [19]. Для самок и самцов в каждом исследуемом водоеме получены морфометрические промеры (L – длина тела, $L.c.$ – длина головы, F – длина бедра, T – длина голени) с помощью электронного штангенциркуля Electronic Digital caliper "Deko" (Китай) с точностью 0,1 мм. Оценку линейных параметров проводили по индексам ($L/L.c.$, L/T , F/T , $L/F+T$). Массу тела половозрелых особей (самок после нереста) определяли на электронных весах «Масса-К», (Россия) с погрешностью 0,05 г. Для более точного результата массы тела оценивали наполненность желудков у особей при вскрытии.

Для выявления связи между изменениями пропорций тела и скорости разных видов обмена определяли количество общего белка [20], холестерина (мМ/г) [21] в 10 % гомогенате печени (соединительная ткань) и глюкозы (мМ/л) в крови экспресс-методом с помощью тест-полосок Accu-check.

Снятие морфометрических промеров и декапитация животных для изъятия печени были проведены сразу поле отлова, с соблюдением всех этических норм работы с животными, установленными Комиссией по биоэтике ДГУ.

Различия между самцами и самками в пределах одного водоема и между популяциями определяли в результате дисперсионного анализа данных в программе Excel 10 и Statistica 10. Достоверность различий оценивалась с использованием критерия Стьюдента (t), для выборок с нормальным распределением ($p < 0,05$). Рассчитывали среднее арифметическое по каждому морфометрическому параметру (Mean и стандартное отклонение SD). Нормальность распределения оценивали критериями Шапиро – Уилка, асимметрии и эксцесса. Для выборок, распределение которых не является нормальным, использовали непараметрический критерий Манна – Уитни. Рассчитанные значения приводили в виде медианы (Me). Рассчитывали коэффициент корреляции (r) и коэффициент вариации (CV). Влияние степени загрязненности на самок и самцов определяли на основе факторного дисперсионного анализа (ANOVA).

Результаты исследования и обсуждение

Степень загрязненности обусловлена превышением предельно допустимой концентрации хлоридов, сульфатов, анионных поверхностно-активных веществ, солей тяжелых металлов, а также общей жесткостью воды. При этом стоит отметить, что во всех исследуемых водоемах была отмечена слабощелочная реакция воды ($pH = 7,7$). Так, по данным коэффициента комплексности загрязненности воды (K_{ff}) нами установлено, что самый вы-

сокий процент загрязненности наблюдается во втором водоеме (38,9 %), тогда как в первом и в третьем он значительно ниже (18,4 и 11,1 % соответственно) (табл. 1).

В табл. 2 приводятся данные морфометрических показателей самцов и самок трех исследуемых водоемов.

Таблица 2

Популяционная изменчивость массы тела (г),
и морфометрических показателей (мм), *Pelophylax ridibundus*
из различных мест обитания между выборками и особями разного пола

Водоемы		Параметры тела, $M \pm SD$				
		<i>m</i>	<i>L</i>	<i>L.c.</i>	<i>F</i>	<i>T</i>
1	♀	<u>28,5 ± 4,4</u>	78,9 ± 3,3*	22,9 ± 3,3*	38,3 ± 2,5*	29,3 ± 4,1
	♂	<u>31,2 ± 1,6*</u>	<u>79,1 ± 2,5*</u>	23,9 ± 5,4*	30,6 ± 2,7*	40,4 ± 4,2*
2	♀	26,9 ± 1,8	64,1 ± 5,8	19,4 ± 2,4	24,8 ± 3,5	30,9 ± 2,2
	♂	13,6 ± 2,1	49,5 ± 4,4*	17,2 ± 1,3	20,3 ± 3,2	26,3 ± 2,7
3	♀	42 ± 1,1*	77,4 ± 1,4*	21,5 ± 2,7*	29,8 ± 0,6*	33 ± 5,3
	♂	42,6 ± 1,3*	71,3 ± 4,6*	21,2 ± 0,4*	30,9 ± 6,6*	35,7 ± 6,5*

Примечания: *m* – масса тела; *L* – длина тела; *L.c.* – длина головы; *F* – длина бедра; *T* – длина голени; *M* – среднее значение; *SD* – стандартное отклонение. Жирным шрифтом выделены статистически значимые половые различия в пределах популяции, ($p < 0,05$); * – относительно второй популяции, ($p < 0,05$); _ относительно третьей популяции, ($p < 0,05$).

Как видно из табл. 2, достоверно значимые половые размерно-весовые различия по всем исследуемым показателям обнаружены во втором водоеме с высокой степенью загрязнения (38,9 %). При этом следует отметить, что достоверно крупными оказались самки. В первом водоеме со средней степенью загрязнения (18,4 %) различия отмечены только по показателям длины бедра и голени (табл. 2). Эти различия не были обнаружены у особей из третьего водоема с наименьшей степенью загрязнения (11,1 %), за исключением достоверно значимого увеличения длины туловища у самок. Это свидетельствует о наличии половых различий в размерно-весовых показателях между особями в загрязненных и отсутствии их в относительно чистых водоемах.

Сравнение морфологических промеров самцов и самок в исследуемых водоемах показало статистически значимые различия по большинству показателей у особей из второго водоема, с высокой степенью загрязнения (табл. 2, рис. 1). Так, длина туловища у особей из этого водоема ниже в среднем на 18,0 % у самок и 33,5 % у самцов. Длина головы ниже в среднем на 23 % у самцов и на 12,5 % у самок. Длина бедра у самок и самцов ниже на 16,7 и 34,3 %, чем в третьем, и на 33,2 %, чем в первом. Длина голени ниже в среднем на 31 % у самцов. Достоверно значимые отличия отмечены и при сравнении показателей массы тела особей из исследуемых популяций относительно третьего водоема. Так, масса самок в третьем водоеме выше на 32,3 и 37,0 %, а самцов на 26,7 и 68,0 %, чем в первом и втором соответственно. Большинство статистических отличий по исследуемым показателям свидетельствуют о быстром приспособлении лягушек к загрязненной среде изменением пропорций тела.

Для выявления связи между степенью загрязненности среды и размерно-весовыми показателями был проведен двухфакторный дисперсионный анализ (рис. 1).

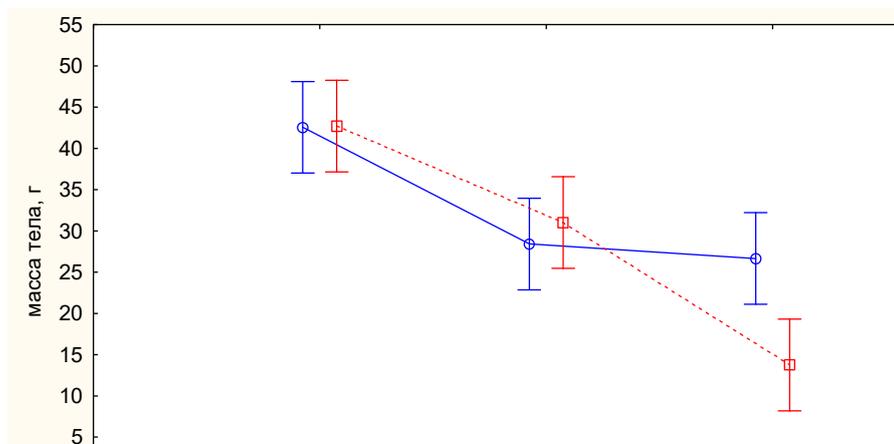


Рис. 1. Изменчивость массы тела (г) *Pelophylax ridibundus* в зависимости от степени загрязнения водоема ($p \leq 0,05$)

Следует отметить, что фактор – степень загрязненности среды проявляется в изменении массы тела с долей влияния $R^2 = 53\%$ ($p < 0,05$), но он не влияет на линейные параметры и индексы ($p > 0,05$). Как видно из рис. 1, с увеличением степени загрязненности отмечается достоверная тенденция снижения массы тела у самцов *P. ridibundus*. Вероятно, это напрямую обусловливает связь с включениями быстрых приспособительных механизмов для осуществления репродуктивной функции в данных условиях среды. А это в свою очередь может привести к изменению плодовитости как важного репродуктивного показателя.

Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. Так, по мнению А.Н. Мисюры [15], наступление половозрелости у лягушек на урбанизированных участках, подверженных наибольшему антропогенному воздействию, происходит раньше, чем на умеренно или слабо трансформированных участках. В связи с этим половозрелые животные не достигают больших размеров. Меньшие размеры амфибий в загрязненных водоемах Т. Ю. Пескова [16] объясняет накоплением токсических веществ в организме, а также и ухудшением кормовой базы, т.е. данные размеры являются следствием неблагоприятных условий существования.

Для более точной оценки изменений пропорций тела нами изучены морфометрические индексы у *P. ridibundus* из исследуемых водоемов (табл. 3, рис. 2).

Как видно из рис. 2, результаты исследования морфометрических индексов также показывают, что в исследуемых водоемах скорость роста отдельных линейных параметров разная. Так, индекс $L/L.c.$ показал, что во втором водоеме у самок достоверно увеличивается длина головы, а в первом и третьем преобладают достоверно коротконогие самки (L/T). Вероятно, увеличение размеров голени у самок в загрязненной среде носит приспособительный характер в связи с быстрым переходом к размножению с малыми размерами тела.

Морфометрические индексы тела *Pelophylax ridibundus*
из различных мест обитания между выборками и особями разного пола

Водоемы		Индексы тела, $M \pm SD$			
		<i>L/L.c.</i>	<i>L/T</i>	<i>F/T</i>	<i>L/(F + T)</i>
№ 1	♀	3,4 ± 0,3	2,6 ± 0,1	1,3 ± 0,4	1,2 ± 0,1
	♂	3,3 ± 0,2	1,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,1
№ 2	♀	3,3 ± 0,2	2,1 ± 0,3	0,8 ± 0,1	1,2 ± 0,2
	♂	2,8 ± 0,2	1,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1
№ 3	♀	3,6 ± 0,2	2,3 ± 0,2	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,1
	♂	3,3 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1

Примечания. *L* – длина тела; *L.c.* – длина головы; *F* – длина бедра; *T* – длина голени; *M* – среднее значение; *SD* – стандартное отклонение. Жирным шрифтом выделены статистически значимые половые различия в пределах популяции, ($p < 0,05$).

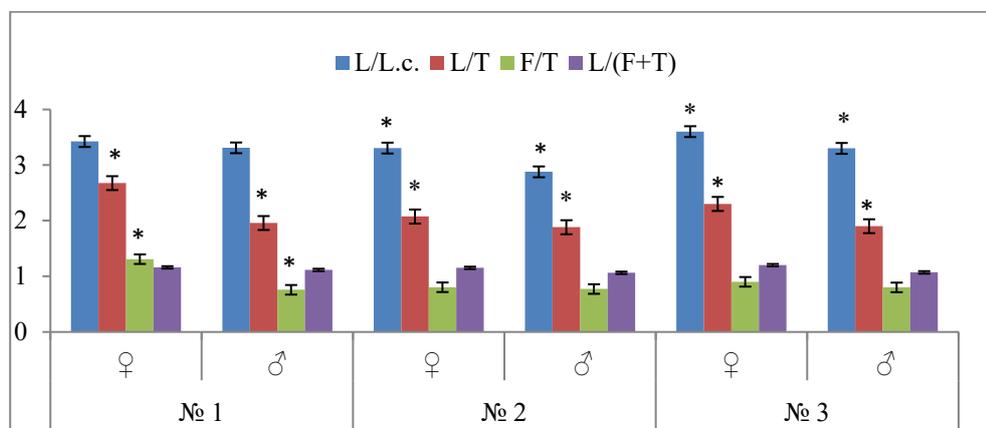
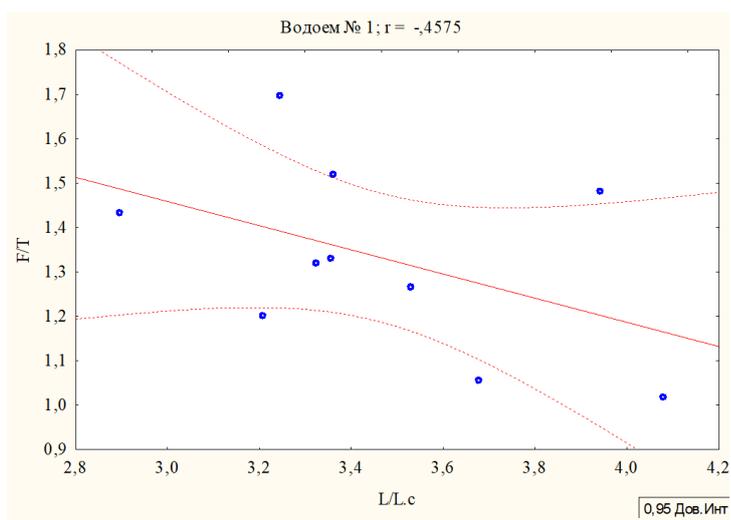


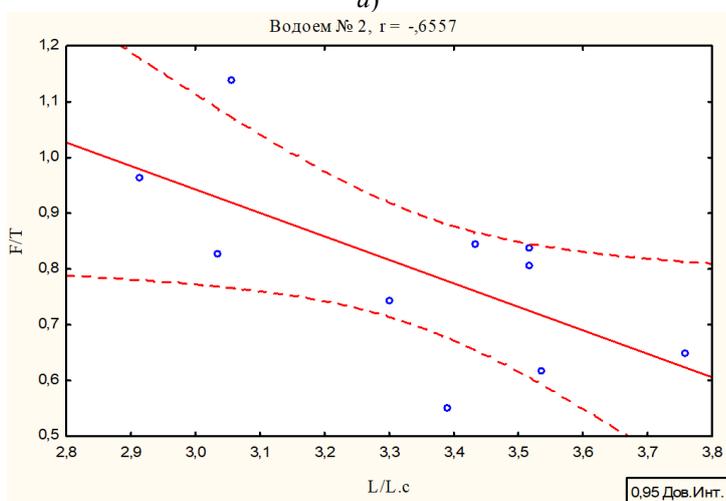
Рис. 2. Изменчивость морфологических индексов *Pelophylax ridibundus* из исследованных (1–3) водоемов: * – обозначены достоверные половые различия согласно критерию Стьюдента ($p < 0,05$)

В связи с выявленными достоверно значимыми отличиями между морфометрическими параметрами и индексами тела в исследуемых водоемах нами был проведен корреляционный анализ между линейными индексами *L/L.c.* и *F/T* для выявления взаимосвязи в соотношении роста параметров тела и конечностей (рис. 3).

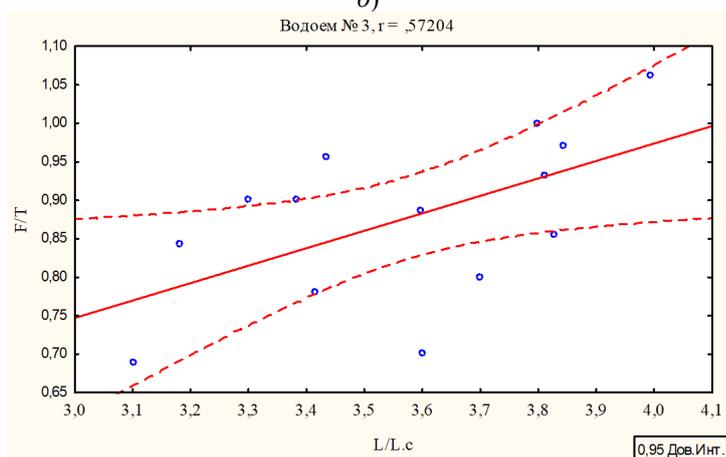
Как видно из рис. 3, корреляционный анализ между индексами *L/L.c.* и *F/T* *P. ridibundus* показал среднюю отрицательную линейную корреляцию у самок в водоемах со средней и высокой степенью загрязнения ($r = -0,5$; $-0,7$, ($p < 0,05$)) и положительную корреляционную связь в водоеме с низкой степенью ($r = 0,6$, ($p < 0,05$)). У самцов отмечалась средняя положительная корреляция ($r = 0,5$, ($p < 0,05$)) во всех исследуемых водоемах. Появление отрицательной корреляционной связи в загрязненной среде также подтверждает наличие быстрых приспособительных механизмов у самок (увеличение размеров голени в ответ на уменьшение размеров туловища) для улучшения репродуктивных показателей. По имеющимся литературным данным разные формы антропогенного воздействия могут вызвать разнонаправленные реакции в популяциях одного вида [16].



а)



б)



в)

Рис. 3. Корреляционный анализ между $L/L.c$ и F/T у самок *Pelophylax ridibundus* из исследованных (1–3) водоёмов

В трех исследуемых водоемах нами обнаружена разная интенсивность протекания белкового, жирового и углеводного обменов. Результаты по исследованию содержания общего белка, холестерина и глюкозы представлены в табл. 4.

Таблица 4

Популяционная изменчивость биохимических параметров *Pelophylax ridibundus* из различных мест обитания ($n = 10$)

Водоемы		Общий белок, (ммоль/г)	Холестерин, (ммоль/г)	Глюкоза, (ммоль/л)
№ 1	♀	$Me = 15,8^*$ (63 %)	$M \pm SD$ $4,4 \pm 0,4^*$	$Me = 1,5$ (1 %)
	♂	$Me = 19,4^*$ (96 %)	$M \pm SD$ $4,7 \pm 0,4^*$	$Me = 1,4$ (5 %)
№ 2	♀	$M \pm SD$ $19,4 \pm 0,3$	$M \pm SD$ $3,4 \pm 0,3$	$Me = 3,0$ (16 %)
	♂	$M \pm SD$ $17,4 \pm 0,2$	$M \pm SD$ $3,3 \pm 0,1$	$Me = 1,9$ (21,9 %)
№ 3	♀	$Me = 14,5^*$ (92 %)	$M \pm SD$ $5,5 \pm 0,4^*$	$M \pm SD$ $4,0 \pm 1,3^*$
	♂	$Me = 15,7^*$ (92 %)	$M \pm SD$ $5,6 \pm 0,1^*$	$M \pm SD$ $4,7 \pm 1,5^*$

Примечания: M – среднее значение; SD – стандартное отклонение; Me – медиана; % – коэффициент вариации (CV). Жирным шрифтом выделены статистически значимые половые различия, ($p < 0,05$); * – относительно второй популяции, ($p < 0,05$); _ – относительно третьей популяции, ($p < 0,05$)

Как видно из табл. 4, достоверные отличия между популяциями отмечены по всем параметрам, за исключением содержания глюкозы в крови у самок из второго водоема. Достоверные отличия по содержанию общего белка между особями отмечены во всех исследуемых водоемах и имеют разнонаправленный характер. Следует отметить, что средняя корреляционная связь между содержанием общего белка и массой тела отмечена только у самок из третьего водоема ($r = 0,6$, $p < 0,05$).

Сравнение показателя общего белка между самцами и самками в трех исследуемых водоемах показало значимые различия с достоверно повышенными значениями этого параметра в загрязненной среде в большей степени у самок, чем у самцов. Так, значения были выше у самок на 34,4 % во втором водоеме, а у самцов на 26,6 и 14,2 % в первом и втором водоеме соответственно (см. табл. 3). Значимые отличия по содержанию холестерина и глюкозы выявлены между водоемами с достоверно пониженными значениями в первом и втором. Так, у лягушек в этих водоемах содержание холестерина и глюкозы в печени уменьшается почти в два раза (табл. 3). Такие показатели могут носить компенсаторный характер приспособлений во всех сравниваемых средах, что обеспечивает лучшее выживание лягушек. Влияние загрязненности среды на биохимические показатели *P. ridibundus* подтверждается данными дисперсионного анализа. Однако следует отметить, что изменения содержания общего белка связаны еще и с половыми различиями, а также взаимодействием этих двух факторов. Изменения содержания холестерина также обусловлены взаимодействием степени загрязненности и пола (рис. 4).

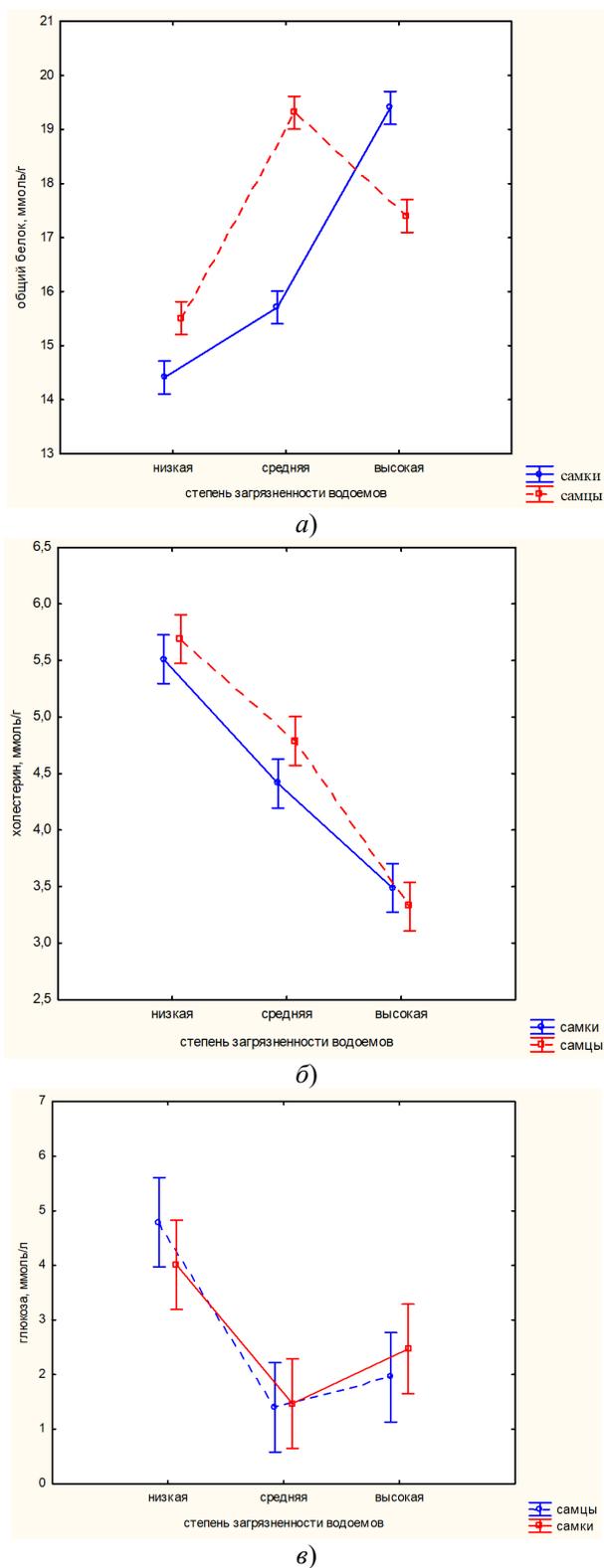


Рис. 4. Изменчивость общего белка (а), холестерина (б) и глюкозы (в) *Pelophylax ridibundus* в зависимости от степени загрязненности среды, ($p \leq 0,05$)

Результаты наших данных подтверждаются литературными, по которым известно, что увеличение концентрации общего белка происходит при адаптации к загрязненной окружающей среде, стабилизации метаболизма и некотором уровне адаптации амфибий к фактору загрязнения [22], при обезвоживании организма, а также острых и хронических инфекционных поражениях тканей [23]. Помимо этого, установлено, что увеличение количества белков и холестерина в мембранах клеток органов и тканей способствует меньшему проникновению токсикантов в организм за счет увеличения массы мембран клеток кожи [12]. Снижение глюкозы может свидетельствовать о некачественной кормовой базе лягушек из загрязненных сред обитания [16].

Заключение

Таким образом, степень загрязненности среды напрямую влияет на изменения массы тела, содержание общего белка, холестерина и глюкозы у *P. ridibundus*, что отражается в результатах дисперсионного анализа ($R^2 \geq 70\%$, $p \leq 0,05$). Для параметров массы тела, общего белка и холестерина эти изменения также обусловлены взаимодействием степени загрязненности среды и половых различий ($p \leq 0,05$). Все остальные изменения: уменьшение морфометрических параметров тела, наличие размерно-весагового полового диморфизма в загрязненной среде – проявляются под воздействием другого комплекса факторов. На возникновение приспособлений в загрязненной среде, связанных с изменением пропорций тела у самок, указывает наличие отрицательной корреляционной связи между линейными индексами $L/L.c.$ и F/T , в то время как в относительно чистой среде она положительная. Из вышесказанного следует, что популяционная изменчивость массы тела и биохимических параметров у *P. ridibundus* в большей степени обусловлена загрязненностью среды, а изменчивость морфометрических показателей как внутри, так и между популяциями обусловлена комплексом факторов, где степень загрязненности среды влияет в меньшей степени.

Список литературы

1. Вершинин В. Л., Терешин С. Ю. Физиологические показатели амфибий в экосистемах урбанизированных территорий // Экология. 1999. № 4. С. 283–287.
2. Blaustein A. R., Kiesecker J. M. Complexity in conservation: Lessons from the global decline of amphibian populations // Ecology Letters. 2002. № 5. P. 598–608.
3. Скоркина М. Ю., Липунова Е. А. Система крови как скрининг-тест экологического состояния окружающей среды // Проблемы региональной экологии. 2009. № 1. С. 147–150.
4. Hayes T. B., Falso P., Gallipeau S., Stice M. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective // Journal of Experimental Biology. 2010. № 213. P. 921–933.
5. Houlahan J. E., Findlay C. S., Schmidt B. R. [et al.]. Quantitative evidence for global amphibian population declines // Nature. 2000. Vol. 404. P. 752–755.
6. Gardner T. Declining amphibian populations: a global phenomenon in conservation biology // Animal Biodiversity and Conservation. 2001. № 24. P. 25–44.
7. Файзулин А. И. Влияние техногенного загрязнения тяжелыми металлами и урбанизации на морфофизиологические показатели популяций озерной лягушки (*Rana ridibundus*) // Вестник Томского государственного университета. 2013. Т. 18, № 3. С. 122–134.
8. Романова Е. Б., Рябинина Е. С., Ляпков С. М. Размерные, Возрастные, Фенетические, Морфофизиологические И Цитогенетические Характеристики Популяций

- Озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*) (Amphibia, Ranidae) Загрязненных Термальных Водоемов Камчатки // Зоологический журнал. 2020. Т. 99, № 8. С. 924–937.
9. Шварц С. С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. 386 с.
 10. Baraquet M. Intraspecific variation in erythrocyte sizes among populations of *Hypsibos cordobae* (Anura: Hylidae) // Acta Herpetologica. 2013. № 8. P. 93–97.
 11. Замалетдинов Р. И., Назаров Н. Г., Свинин А. О. [и др.]. Биохимические особенности периферической крови особей прудовой лягушки *Pelophylax lessonae* (Camerano, 1882) из популяций, населяющих водоемы города Казани // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2019. № 1. С. 41–49.
 12. Романова Е. Б., Николаев В. Ю., Гелашвили Д. Б. Экологические аспекты организации иммунной системы амфибий // Современная герпетология. 2014. Т. 14, № 3/4. С. 126–133.
 13. Кубанцев Б. С., Жукова Т. И. Некоторые экологические результаты антропогенных воздействий на популяции и среду обитания озерной лягушки // Экология. 1982. № 6. С. 46–51.
 14. Жукова Т. И., Кубанцев Б. С., Бурлаченко Т. Л. Некоторые реакции популяций озерной лягушки на пестицидное загрязнение водоемов // Антропогенные воздействия на популяции животных. Волгоград : Изд-во Волгоград. гос. пед. ин-та, 1986. С. 61–81.
 15. Мисюра А. Н. Некоторые морфофизиологические и экологические особенности зеленой жабы в условиях урбанизации // Вестник Днепропетровского университета. Биология и экология. 2004. Т. 2, № 11. С. 99–104.
 16. Пескова Т. Ю. Морфологические и морфофизиологические изменения земноводных при обитании в условиях загрязнения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2004. № 1. С. 60–64.
 17. Аскендеров А. Д. Земноводные Дагестана: распространение, экология, охрана : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Аскендеров А. Д. Махачкала, 2017. 223 с.
 18. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д., 2002. 56 с.
 19. Ищенко В. Г. Метод морфофизиологических индикаторов: руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев, 1989. С. 92–100.
 20. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent // Journal of Biological Chemistry. 1951. Vol. 193. P. 265–275.
 21. Прохорова М. И. Методы биохимических исследований: липидный и энергетический обмен. Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1982. С. 272.
 22. Залипухина И. Н. Биохимические показатели амфибий из водоемов с различным уровнем поступления отходов уранодобывающей промышленности // Биология. Экология. 2009. Т. 1, № 17. С. 87–94.
 23. Аджиев Д. Д. Функциональные показатели пойкилотермных гидробионтов из природных и искусственных водных биоценозов // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. С. 337–347.

References

1. Vershinin V.L., Tereshin S.Yu. Physiological indicators of amphibians in ecosystems of urban areas. *Ekologiya = Ecology*. 1999;(4):283–287. (In Russ.)
2. Blaustein A.R., Kiesecker J.M. Complexity in conservation: Lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters*. 2002;(5):598–608.
3. Skorkina M.Yu., Lipunova E.A. The blood system as a screening test of the ecological state of the environment. *Problemy regional'noy ekologii = Issues of regional ecology*. 2009;(1):147–150. (In Russ.)

4. Hayes T.B., Falso P., Gallipeau S., Stice M. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *Journal of Experimental Biology*. 2010;(213):921–933.
5. Houlihan J.E., Findlay C.S., Schmidt B.R. [et al.]. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*. 2000;404:752–755.
6. Gardner T. Declining amphibian populations: a global phenomenon in conservation biology. *Animal Biodiversity and Conservation*. 2001;(24):25–44.
7. Fayzulin A.I. The effect of technogenic pollution with heavy metals and urbanization on the morphophysiological parameters of populations of the lake frog (*Rana ridibundus*). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Tomsk State University*. 2013;18(3):122–134. (In Russ.)
8. Romanova E.B., Ryabinina E.S., Lyapkov S.M. Size, age, phenetic, morphophysiological and cytogenetic characteristics of lake frog (*Pelophylax ridibundus*) (Amphibia, Ranidae) populations in polluted thermal reservoirs of Kamchatka. *Zoologicheskii zhurnal = Zoological journal*. 2020;99(8):924–937. (In Russ.)
9. Shvarts S.S. *Metod morfofiziologicheskikh indikatorov v ekologii nazemnykh pozvonochnykh = Method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates*. Sverdlovsk, 1968:386. (In Russ.)
10. Baraquet M. Intraspecific variation in erythrocyte sizes among populations of *Hypsiboas cordobae* (Anura: Hylidae). *Acta Herpetologica*. 2013;(8):93–97.
11. Zamaletdinov R.I., Nazarov N.G., Svinin A.O. [et al.]. Biochemical features of the peripheral blood of pond frogs *Pelophylax lessonae* (Camerano, 1882) from populations inhabiting the reservoirs of the city of Kazan. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2019;(1):41–49. (In Russ.)
12. Romanova E.B., Nikolaev V.Yu., Gelashvili D.B. Ecological aspects of the organization of the amphibian immune system. *Sovremennaya gerpetologiya = Modern herpetology*. 2014;14(3/4):126–133. (In Russ.)
13. Kubantsev B.S., Zhukova T.I. Some ecological results of anthropogenic impacts on the populations and habitat of the lake frog. *Ekologiya = Ecology*. 1982;(6):46–51. (In Russ.)
14. Zhukova T.I., Kubantsev B.S., Burlachenko T.L. *Nekotorye reaktsii populyatsiy ozernoy lyagushki na pestitsidnoe zagryaznenie vodoemov. Antropogennye vozdeystviya na populyatsii zivotnykh = Some responses of lake frog populations to pesticide pollution of water bodies. Anthropogenic impacts on animal populations*. Volgograd: Izd-vo Volgograd. gos. ped. in-ta, 1986:61–81. (In Russ.)
15. Misyura A.N. Some morphophysiological and ecological features of the green toad in the conditions of urbanization. *Vestnik Dnepropetrovskogo universiteta. Biologiya i ekologiya = Bulletin of Dnepropetrovsk University. Biology and ecology*. 2004;2(11):99–104. (In Russ.)
16. Peskova T.Yu. Morphological and morphophysiological changes in amphibians living in conditions of pollution. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. North Caucasus region. Natural sciences*. 2004;(1):60–64. (In Russ.)
17. Askenderov A.D. *Zemnovodnye Dagestana: rasprostranenie, ekologiya, okhrana = Amphibians of Dagestan: distribution, ecology, protection*. PhD dissertation. Makhachkala, 2017:223. (In Russ.)
18. RD 52.24.643-2002. *Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam = Method for a comprehensive assessment of the degree of pollution of surface waters by hydrochemical indicators*. Rostov n/D., 2002:56. (In Russ.)
19. Ishchenko V.G. *Metod morfofiziologicheskikh indikatorov: rukovodstvo po izucheniyu zemnovodnykh i presmykayushchikhsya = Method of morphophysiological indicators: a guide to the study of amphibians and reptiles*. Kiev, 1989:92–100. (In Russ.)

20. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 1951;193:265–275.
21. Prokhorova M.I. *Metody biokhimicheskikh issledovaniy: lipidnyy i energeticheskiy obmen = Methods of biochemical research: lipid and energy metabolism*. Leningrad: Izd-vo Leningradskogo universiteta, 1982:272. (In Russ.)
22. Zalipukhina I.N. Biochemical indicators of amphibians from water bodies with different levels of waste from the uranium mining industry. *Biologiya. Ekologiya = Biology. Ecology*. 2009;1(17):87–94. (In Russ.)
23. Adzhiev D.D. Functional indicators of poikilothermic hydrobionts from natural and artificial aquatic biocenoses. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural biology*. 2018;53:337–347. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Джамия Магомедсаидовна Гамидова

старший лаборант кафедры зоологии и физиологии, аспирант, Дагестанский государственный университет (Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Дзержинского, 12)

E-mail: djamka_90@mail.ru

Dzhamiya M. Gamidova

Senior laboratory assistant of the sub-department of zoology and physiology, postgraduate student, Dagestan State University (12 Dzerzhinskogo street, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia)

Аминат Ибрагимовна Рабаданова

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, Дагестанский государственный университет (Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Дзержинского, 12)

E-mail: ashty06@mail.ru

Aminat I. Rabadanova

Candidate of biological sciences, associate professor of the sub-department of zoology and physiology, Dagestan State University (12 Dzerzhinskogo street, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 14.04.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 17.05.2022

Принята к публикации / Accepted 04.07.2022