

**БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДВУХ
БИОТОПОВ В ЮЖНОЙ БОЛГАРИИ НА ОСНОВАНИИ
ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ И ФЕНЕТИЧЕСКОГО
СОСТАВА ПОПУЛЯЦИЙ ОЗЕРНОЙ ЛЯГУШКИ *Rana
Ridibunda Pallas, 1771 (Anura, Amphibia, Ranidae)*
И КРАСНОБРЮХОЙ ЖЕРЛЯНКИ *Bombina Bombina Linnaeus,
1761 (Amphibia, Anura, Discoglossidae)* В УСЛОВИЯХ
СИНТОПИЧЕСКОГО ОБИТАНИЯ**

Ж.М. ЖЕЛЕВ

«Пловдивский государственный университет имени П. Хилендарского», г. Пловдив (Болгария)

Ключевые слова и фразы: биотоп; краснобрюхая жерлянка; морфа; озерная лягушка; популяция; флуктурирующая асимметрия (ФА).

Аннотация: Сделана биоиндикационная оценка состояния двух биотопов в Южной Болгарии по показателям флуктурирующей асимметрии и фенетического состава популяций озерной лягушки и краснобрюхой жерлянки в условиях синтопического обитания, и на основании обоих биоиндикационных методов дана характеристика состояния среды их обитания.

Введение

Амфибии, обитающие на границе двух сред – водной и наземной – являются связующим звеном в трофических цепях пресноводных водоемов и экосистем суши. Состояние их организма в полной мере отражает состояние окружающей среды и делает их очень удобными как биоиндикаторы, используемые для оценки изменений среды (в том числе и под влиянием антропогенного фактора). Обычно они привязаны к определенным водоемам, что облегчает интерпретацию полученных данных: состояние их организма отражает состояние локального местообитания [18].

Известно, что в условиях повышенной антропопрессии наблюдается изменение фенотипического состава и показателей физиологического состояния земноводных [3; 10; 14; 22].

Одним из современных методов оценки качества среды является биоиндикационный анализ по гомеостазу развития земноводных: их способность к поддержанию основных функциональных особенностей организма на оптимальном уровне [23]. Земноводные, развивающиеся в условиях средового стресса, реагируют

на изменения в экосистеме нарушением билатеральной симметрии морфогенетических показателей [18; 20; 21; 24]. При соответствующем подборе признаков анализ стабильности развития возможен для любых видов земноводных, хорошим методом ее оценки является флуктурирующая асимметрия [6].

Для характеристики фенетического состава популяции амфибий используются отдельные фены окраски рисунка (наличие или отсутствие центральной полосы) или их сочетание (морфы) на спине [1; 5; 7; 14; 22; 26] и вентральной стороне тела [8; 12; 19].

В Болгарии вопрос о применении земноводных в целях биоиндикации почти не разработан. Нам известны только три статьи на эту тематику [4; 16; 17].

Цель данного исследования – изучить степень проявления флуктурирующей асимметрии и фенетический состав популяций двух синтопически обитающих видов амфибий – озерная лягушка *R. ridibunda* и краснобрюхая жерлянка *B. bombina* – в различных водоемах Южной Болгарии и на основании обоих биоиндикационных методов дать характеристику состояния среды их обитания.

Материал и методы

Сбор материала проводился в двух биотопах, находящихся в Южной Болгарии. Первый из них (условно обозначен в нашей работе под № 1) находится на севере от города Пловдива (12–15 км от города) – это испускатель воды и верхний участок главного канала, заполняющего рисовые чеки, находящиеся между городами Соединение (на юге) и Пловдива (на севере). Испускатель представляет собой водоем искусственного происхождения размером 50–60 x 30–40 м, огороженный земляным валом высотой 2–3 м. В нем круглый год задерживается вода с переменным уровнем. Его дно каменистое, предлагающее естественные укрытия земноводным (особенно зимой и ранней весной, когда уровень воды понижается). После весеннего половодья каналов, испускатель регулирует уровень воды в них с помощью системы шлюзов. Вода поступает из водоема «Оризаре» и при этом первые рисовые чеки находятся на расстоянии не менее 4–5 км от испускателя.

Второй биотоп (условно обозначенный под № 2) – это несколько рисовых чеков находящихся на западе от города Пловдив (5–7 км от города). Чеки – водоемы прямоугольной формы, размерами 250–300 x 120–130 м. Наполняются чеки водой из реки Чепеларской с помощью обводного канала в конце апреля, а сброс воды из рисовой системы производится в конце сентября. Эти рисовые чеки каждый год удобряются пестицидами. Оба изученные нами биотопа находятся на расстоянии друг от друга не менее 7–8 км по прямой линии (между ними проходит автомобильная трасса – «Тракия» и несколько второстепенных дорог), из-за чего допускаем, что обмен животными среди обитающих в них популяций земноводных невозможен.

Объектом исследования являются два вида бесхвостых амфибий: озерная лягушка *R. ridibunda* и краснобрюхая жерлянка *V. bombina*. Отлов животных в биотопе 1 проводился в середине месяца апреля (до поступления воды из водоема «Оризаре»), когда уровень в самом глубоком участке был не более 70–80 см. Жерлянки были отловлены в основном днем, около камней и на периферии водоема, а озерные лягушки – вечером, при свете электрического фонарика в более глубоких местах. Было поймано в общем 34 озерных ля-

гушки и 66 краснобрюхих жерлянок. В биотопе 2 отлов земноводных был произведен в конце апреля, после заполнения чеков водой. Жерлянки были отловлены на периферии водоема днем, а озерные лягушки – вечером при свете электрического фонарика. В этом биотопе было отловлено всего 41 озерная лягушка и 53 краснобрюхих жерлянок. Животные обоих полов взрослые, половозрелые. Определение возраста происходило на основании размеров тела (у всех жерлянок из биотопов 1 и 2 длина тела L свыше 30,0 мм, а у озерных лягушек L свыше 60,0 мм). Пол жерлянок определялся после вскрытия животных и определения степени развития их репродуктивных органов, а у озерных лягушек – непосредственно, по степени развития вторичных половых признаков (брачных мозолей на первых пальцах и резонаторных пузырей в уголках рта у самцов). У обоих видов амфибий отмечались основные фенотипы – у озерных лягушек по окраске спины: *striata* (наличие светлой дорсомедиальной полосы) и *maculata* (без центральной полосы – пятнистая особь) [8], и у краснобрюхих жерлянок по окраске брюшка: крупнопятнистый (на черном фоне крупные красные или оранжевые пятна) и мелкопятнистый (на черном фоне мелкие светлые пятна) [12]. В качестве метода оценки стабильности развития применяли анализ ФА. Для озерной лягушки всего было исследовано 10 морфологических признаков [27]. Для оценки уровня ФА для каждой особи подсчитывали число асимметричных признаков по степени их выраженности с правой и левой стороны тела (рис. 1).

Для краснобрюхой жерлянки мы учитывали 3 признака: количество светлых пятен на правой и левой стороне брюшка – в центральной части (признак 1) и в нижней его части (признак 2), а также количество пятен на внутренней стороне плеча и предплечья (признак 3) [12; 19]. Флуктуирующую асимметрию обоих видов амфибий оценивали по частоте асимметричного проявления на особи (ЧАПО) – отношение числа особей, имеющих асимметричный признак, к общему числу особей и частоте асимметричного проявления на признаке (ЧАПП) – отношение числа признаков, проявляющих асимметрию, к общему числу учтенных признаков. Анализировали показатели флуктуирующей асимметрии для всех животных из обоих биотопов отдельно, для каждого из фенотипов у соответствующего вида,

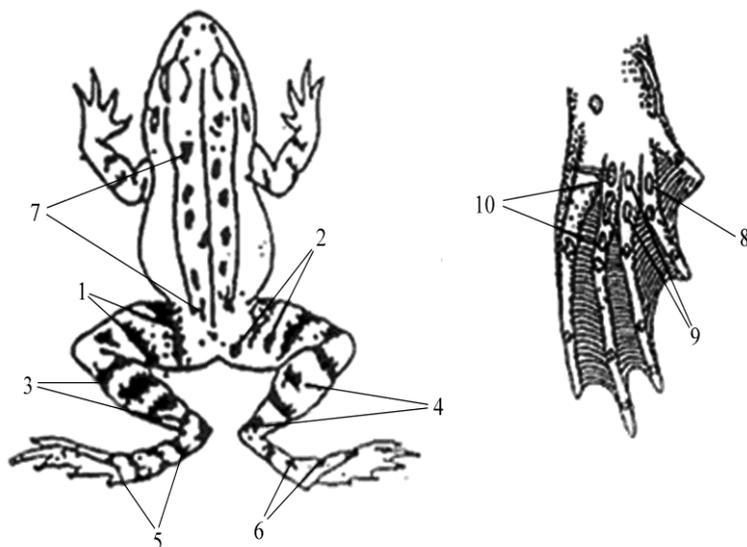


Рис. 1. Схема морфологических признаков, для оценки стабильности развития озерной лягушки:

1 – число полос на дорсальной стороне бедра; 2 – число пятен на дорсальной стороне бедра; 3 – число полос на дорсальной стороне голени; 4 – число пятен на дорсальной стороне голени; 5 – число полос на стопе; 6 – число пятен на стопе; 7 – число пятен на спине; 8 – число белых пятен на плантарной стороне второго пальца задней конечности; 9 – число белых пятен на плантарной стороне третьего пальца задней конечности; 10 – число белых пятен на плантарной стороне четвертого пальца задней конечности

отдельно для самцов и самок. Затем сравнивали полученные результаты следующим образом: сначала величины ЧАПО и ЧАПП у самцов и самок (без отсчета фенотипа) для каждого вида, затем особей соответствующего фенотипа (у лягушек и жерлянок) без учета пола. Бальную оценку показателей ФА для соответственного водоема проводили по уточненной шкале для озерной лягушки в южных частях ареала вида (табл. 1) [18].

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием стандартных методов [9]. Статистическая значимость различий оценивалась при помощи *t*-критерия Стьюдента и χ^2 – критерием Пирсона, где количество степеней свободы определялось по формуле: $k=(R-1) \times (S-1)$; *R* – число рядов, *S* – число колон. Различия считали достоверными, если $t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{ст.}}$ и $\chi^2_{\text{факт.}} \geq \chi^2_{\text{ст.}}$ при пяти-процентном уровне значимости.

Результаты и обсуждение

Для обоих изученных видов амфибий (озерная лягушка и краснобрюхая жерлянка) статистически достоверных различий значений ЧАПП и ЧАПО, по нашим данным, нет.

Значения ЧАПО лягушек и жерлянок из обоих биотопов в Южной Болгарии приведены в табл. 2–4.

Полученные данные по ФА можно интерпретировать следующим образом. Во-первых, из табл. 2 видно, что различий значений ЧАПО, связанных с полом у жерлянок из популяции соответствующего биотопа, нет. У другого вида – озерной лягушки, обитающей в биотопе 2, значение ЧАПО у самцов ($0,68 \pm 0,02$) статистически достоверно выше, чем соответствующее значение признака у самок ($0,58 \pm 0,02$): $p < 0,01$; ($t = 3,33$).

Таблица 1. Шкала для оценки отклонений состояния озерной лягушки от условной нормы

Балл	Величина показателя стабильности развития (ЧАПП или ЧАПО)
	Южная часть ареала [18]
1	< 0,40
2	0,41–0,50
3	0,51–0,60
4	0,61–0,70
5	$\geq 0,71$

Таблица 2. Внутрипопуляционные сравнения показателя флуктуирующей асимметрии (ЧАПО) краснобрюхой жерлянки и озерной лягушки из исследованных биотопов Болгарии ($\bar{X} \pm m$)

Биотопы	ГРУППА ЖИВОТНЫХ							
	КРАСНОБРЮХАЯ ЖЕРЛЯНКА				ОЗЕРНАЯ ЛЯГУШКА			
	самцы (K+M) n=37	самки (K+M) n=29	фенотипы* (σ^+ + σ^-) K n=55 M n=11		самцы (s+m) n=20	самки (s+m) n=14	фенотипы (σ^+ + σ^-) s n=13 m n=21	
1	0,41±0,03	0,37±0,04	0,40±0,02	0,36±0,07	0,35±0,02	0,39±0,07	0,33±0,02	0,38±0,02
t-критерий Стьюдента	0,80		0,57		1,0		1,67	
p	> 0,05		> 0,05		> 0,05		> 0,05	
2	0,62±0,05	0,61±0,06	0,63±0,11	0,58±0,06	0,68±0,02	0,58±0,02	0,61±0,02	0,62±0,02
t-критерий Стьюдента	0,13		0,12		3,33**		0,11	
p	> 0,05		> 0,05		< 0,01		> 0,05	

Примечание: * – фенотипы: K – крупнопятнистый; M – мелкопятнистый; s – striata; m – maculata; ** – различия, статистически значимые для $\alpha = 0,05$.

Таблица 3. Межпопуляционные сравнения показателя флуктуирующей асимметрии (ЧАПО) озерной лягушки из исследованных биотопов Южной Болгарии ($\bar{X} \pm m$; Cv $\pm m_{cv}$, %; балл загрязнения водоема по шкале Песковой, Жуковой [18])

ГРУППА ЖИВОТНЫХ	БИОТОПЫ				t-критерий Стьюдента	P
	1	n	2	n		
все (σ^+ + σ^-)	0,36±0,02 30,56±3,71 1балл	34	0,62±0,01 14,52±1,60 4балл	41	13,0**	< 0,001
самцы (s+m)	0,35±0,02 31,43±4,97 1балл	20	0,68±0,02 11,76±2,08 4балл	16	11,0**	< 0,001
самки (s+m)	0,39±0,03 28,21±5,33 1балл	14	0,58±0,02 15,52±2,19 3балл	25	4,75**	< 0,001
фенотип* s (σ^+ + σ^-)	0,33±0,02 18,18±3,57 1балл	13	0,61±0,02 18,03±2,41 4балл	28	9,33**	< 0,001
фенотип* m (σ^+ + σ^-)	0,38±0,02 28,95±4,52 1балл	21	0,62±0,09 53,23±10,44 4балл	13	2,67**	< 0,05

Примечание: * – фенотипы: s – striata; m – maculata; ** – различия, статистически значимые для $\alpha = 0,05$.

Таблица 4. Межпопуляционные сравнения показателя флуктуирующей асимметрии (ЧАПО) краснобрюхой жерлянки из исследованных биотопов Южной Болгарии ($\bar{X} \pm m$; Cv $\pm m_{cv}$, %; балл загрязнения водоема по шкале для озерной лягушки)

ГРУППА ЖИВОТНЫХ	БИОТОПЫ				t-критерий Стьюдента	P
	1	n	2	n		
все (σ^+ + σ^-)	0,39±0,02 51,28±4,46 1балл	66	0,62±0,04 45,16±4,39 4балл	53	5,75**	< 0,01
самцы (K+M)	0,41±0,03 48,78±5,76 2балл	37	0,62±0,05 37,1±0,90 4балл	23	17,17**	< 0,001
самки (K+M)	0,37±0,04 54,05±7,10 1балл	29	0,61±0,06 52,1±0,93 4балл	30	3,42**	< 0,001
фенотип* K (σ^+ + σ^-)	0,40±0,02 45,0±4,29 1балл	55	0,63±0,11 99,5±1,18 4балл	36	2,09**	< 0,05
фенотип* M (σ^+ + σ^-)	0,36±0,07 66,67±14,21	11	0,58±0,06 43,0±1,12 3балл	17	2,44**	< 0,05

Примечание: * Фенотипы: K – крупнопятнистый; M – мелкопятнистый; ** – различия статистически значимые для $\alpha = 0,05$.

Во-вторых, из табл. 3 и 4 видно, что значениям показателя флуктуирующей асимметрии у обоих видов амфибий в популяциях, обитающих в биотопе 1, статистически достоверно ниже, чем значения показателя для соответствующего вида в популяциях, обитающих в биотопе 2, и это справедливо для всех типов сравнения. На основании значений ЧАПО по шкале для оценки отклонений состояния озерной лягушки от условной нормы в южной части ареала вида [18] для популяций лягушек из биотопа 1, он получает бальную оценку 1 по всем его значениям (для всех индивидов: ♂+♀; по отдельным полам и для разных фенотипов). Тем не менее, по этой же шкале, значение ЧАПО для другого вида – краснобрюхой жерлянки – тоже оценивается на 1 балл (только для самцов значение признака ($0,41 \pm 0,03$) находится на границе первого и второго балла). Минимальные значения ЧАПО озерных лягушек и краснобрюхих жерлянок из популяций, обитающих в биотопе 1, как и соответствующая им низкая бальная оценка этого водоема (1 балл), указывают на то, что популяции обоих видов амфибий находятся в оптимальных условиях с высоким уровнем стабильности развития. В этой части главного канала заполнения рисовых чеков, на севере от города Пловдива (находящегося на расстоянии 4–5 км от первых рисовых чеков, куда вносятся пестициды) антропогенный пресс не достигает уровня, при котором начинается процесс нарушения стабильности развития организмов. В более раннем нашем исследовании [16] мы получили схожие данные по значениям интегрального показателя стабильности развития для популяции озерной лягушки, обитающей в биотопе нижнего течения реки Сазлийки в районе города Гылыбово (тоже в Южной Болгарии), где ЧАПП имел значение $0,34 \pm 0,06$, что соответствовало 1 баллу по шкале для южной части ареала вида. На Западном Предкавказье (юго-восточная часть видового ареала) тоже есть соизмеримые с полученными нами показателями ФА озерной лягушки, а именно $0,31 \pm 0,06$ (чистая горная река предгорье); $0,35 \pm 0,06$ (водоем в горах, недалеко от Красной Поляны) и $0,36 \pm 0,07$ (водоем в окрестности Камышовой поляны) в предгорье Кавказа [15; 18]. В то же время, в другом исследованном нами биотопе – рисовые чеки на западе от города Пловдив, полученные значения интегрального показателя стабильности развития для самцов и индивидов обоих фенотипов

(*striata* и *maculata*) озерной лягушки, как и для индивидов обоих полов и для крупнопятнистого фенотипа краснобрюхой жерлянки, соответствуют бальной оценке 4. Значения ЧАПО для самок озерной лягушки и для индивидов мелкопятнистого фенотипа краснобрюхой жерлянки соответствуют баллу 3 (следовательно, нарушение стабильности развития у них ниже, чем у самцов озерной лягушки и особей крупнопятнистого фенотипа жерлянок). Сравнительно высокие значения ЧАПО, как и полученные бальные оценки, соответствующие баллам 3 и 4, для индивидов в популяциях обоих видов амфибий, обитающих в биотопе 2, показывают, что в рисовых чеках условия жизни ухудшены, и популяции исследованных нами видов амфибий находятся в кризисном состоянии, стабильность развития у них сильно нарушена. Близкие к полученным нами значениям показателей ФА для популяции озерной лягушки, обитающей в рисовых чеках на западе от города Пловдив, мы установили в другом антропогенно трансформированном районе Южной Болгарии – река Марица в месте слива промышленных вод химического комбината «Неохим» города Димитровград, где значения ЧАПО – $0,57 \pm 0,06$ – соответствуют 3 баллам [15]. Для более северной части ареала этого вида в России схожие нарушения стабильности развития озерной лягушки ($0,56–0,60$ – 3 балла) отмечены в пойме реки Ока (левый берег), что авторы связывают с пестицидным загрязнением [24] и в пруде, находившемся вблизи свинофермы, в окрестностях станицы Северской на Западном Предкавказье, где ЧАПП составляет $0,61 \pm 0,04$, что соответствует 4 баллам [18].

По отношению показателей флуктуирующей асимметрии для другого изучаемого нами вида – краснобрюхой жерлянки – в предыдущей нашей работе [4] мы установили близкие значения ЧАПО для жерлянок, обитающих в небольших разливных водоемах на правом берегу реки Дунай в районе города Тутракан, где значения признака для самцов $0,68 \pm 0,06$ и самок $0,68 \pm 0,04$ соответствуют 4 баллам загрязненности биотопа по уточненной шкале Песковой, Жуковой [18] для озерной лягушки. В этой же работе мы установили еще более отчетливо выраженную тенденцию нарастания степени нарушения стабильности развития индивидов крупнопятнистого фенотипа (ЧАПО составляет $0,76 \pm 0,10$ – 5 баллов) по сравнению с мелкопятнистым (ЧАПО составляет $0,66 \pm 0,04$ – 4

балла). По данным Т.Ю. Песковой, значения ЧАПО для половозрелых жерлянок, обитающих в относительно чистых водоемах на Западном Предкавказье, подтверждает более сильную уязвимость жерлянок крупнопятнистого фенотипа ($0,63 \pm 0,06$) по сравнению с мелкопятнистым ($0,33 \pm 0,11$) [4]. Приведенные в табл. 4 данные указывают на то, что в биотопе 1 эта тенденция в относительно чистом биотопе в Южной Болгарии не настолько ярко выражена, хотя значение показателя стабильности развития для жерлянок крупнопятнистого фенотипа выше ($0,40 \pm 0,02$), чем у жерлянок мелкопятнистого фенотипа ($0,36 \pm 0,07$).

Сравнение с помощью критерия χ^2 соотношения двух фенотипов у обоих изучаемых видов амфибий в популяциях, обитающих в биотопе 1, приведено в табл. 5.

У озерной лягушки в целом в популяции преобладают особи фенотипа *maculata* – 61,76 %, доля лягушек другого фенотипа – *striata* в 1,6 раза меньше (13,24 %). Сравнение с помощью критерия χ^2 не указывает на досто-

верные различия в распределении морф среди особей отдельного пола: $p > 0,05$; ($\chi^2 = 0,94$): у самцов оба фенотипа представлены приблизительно поровну (26,47 % *striata* и 32,35 % *maculata*), а у самок фенотип *maculata* (24,41 %) в 2,5 раза больше фенотипа *striata* (11,76 %). В того же время, в популяции краснобрюхой жерлянки в том же биотопе не наблюдается статистически достоверного различия в распределении крупнопятнистого и мелкопятнистого фенотипов среди индивидов обоих полов краснобрюхой жерлянки: $p > 0,05$; ($\chi^2 = 0,01$). В популяции значительно преобладают крупнопятнистые индивиды (83,33 %), причем среди самцов их перевес (49,97 %) мелкопятнистыми (9,09 %) составил 5,2 раза, а среди самок – 4,8 раза 36,36 % крупнопятнистых при 7,58 % мелкопятнистых.

В биотопе 2 – рисовые поля на западе от города Пловдив – наблюдается ситуация противоположная отмеченной в биотопе 1 по отношению цветового полиморфизма озерной лягушки. Здесь в целом преобладают индивиды

Таблица 5. Частота встречаемости фенотипов в популяциях двух изучаемых видов амфибии в биотопах Южной Болгарии

ФЕНОТИПЫ									
ОЗЕРНАЯ ЛЯГУШКА									
Биотоп	n	striata		maculata		половое соотношение фенотипов %			
		n (♂/♀)	доля фенотипа %	n (♂/♀)	доля фенотипа %	s ♂	m ♂	s ♀	m ♀
1	34	13 9/14	38,24	21 11/10	61,76	26,47	32,35	11,76	29,41
$\chi^2 (k=1)$		0,94							
P		> 0,05							
2	41	28 11/17	68,29	13 5/8	31,71	26,83	12,20	41,46	19,51
$\chi^2 (k=1)$		0,01							
P		> 0,05							
КРАСНОБРЮХАЯ ЖЕРЛЯНКА									
Биотоп	n	мелкопятнистый		крупнопятнистый		половое соотношение фенотипов %			
		n (♂+♀)	доля фенотипа %	n (♂+♀)	доля фенотипа %	M ♂	K ♂	M ♀	K ♀
1	66	11 6/5	16,67	55 31,24	83,33	9,09	46,97	7,58	36,36
$\chi^2 (k=1)$		0,01							
P		> 0,05							
2	53	17 11/6	32,08	36 12/24	67,92	20,75	22,64	11,32	45,28
$\chi^2 (k=1)$		4,63*							
P		< 0,05							

Примечание: * – различия статистически значимы для $\alpha = 0,05$.

морфы *striata* – 68,29 %, превышающие в соотношении 2:1 индивидов пятнистой морфы – 31,71 %. Сравнение в распределении обеих морф среди самцов и самок критерием χ^2 не обнаруживает статистически достоверного различия: $p > 0,05$; ($\chi^2 = 0,01$) – и у обоих полов полосатых индивидов в два раза больше, чем у пятнистых: самцов (26,83 % и 12,20 %) и самок (41,46 % и 19,51 %), соответственно *striata* и *maculata*. В то же время, в популяции краснобрюхой жерлянки, обитающей в этом биотопе, индивиды обоих полов крупнопятнистого фенотипа (62,92 %) превосходят количественно мелкопятнистый фенотип (32,08 %), но пока в популяции этого вида в биотопе 1 это соотношение типа 5:1, то в популяции из рисовых чеков на западе от города Пловдив оно имеет вид 2:1. Межполовое сравнение в распределении цветового полиморфизма в пределах этой популяции показывает, что это соотношение обеспечено в основном самками, среди которых крупнопятнистые индивиды (45,28 %) статистически достоверно превосходят мелкопятнистых (11,32 %) в четыре раза, пока среди самцов оба фенотипа представлены поровну (20,75 % и 22,64 % соответственно мелко- и крупнопятнистых), $p < 0,05$; ($\chi^2 = 4,63$). Сравнивая в целом популяции обоих изучаемых нами видов амфибий в соответствующих биотопах (1 и 2) между собой, устанавливаем статистически достоверное различие в соотношении обоих фенотипов для каждого из видов. Так, для озерной лягушки в биотопах 1 и 2 соотношение между полосатыми и пятнистыми индивидами, как и для краснобрюхой жерлянки между крупнопятнистыми и мелкопятнистыми фенотипами, разное; в биотопе 1 преобладают озерные лягушки морфы *maculata*, а в биотопе 2 – морфы *striata*. В обоих биотопах краснобрюхая жерлянка крупнопятнистого фенотипа доминирует над мелкопятнистыми, но если в биотопе 1 соотношение 5:1, то в биотопе 2 оно всего 2:1; $p \leq 0,05$ ($\chi^2 = 7,82$, соответственно 9,63 для озерной лягушки и краснобрюхой жерлянки при $\chi^2_{cm} = 7,81$ и $k = 3$).

Полиморфизм группировок озерной лягушки по наличию или отсутствию центральной полосы давно используется исследователями как биоиндикационный маркер для оценки состояния окружающей среды. Анализ генетической природы этого признака свидетельствуют о том, что морфа *striata*, является моно-

генным мутантом. Доминантный аллель диалельного аутосомного гена *striata* определяет наличие полосы (доминирование полное). Такой вариант наследования установлен для *R. arvalis* [28]. В литературе есть много данных о том, что в «диких» и относительно чистых водоемах соотношение полосатых и бесполовых особей примерно равное или с некоторым превалированием особей морфы *maculata*. С другой стороны, есть много исследований, утверждающих о том, что в популяциях амфибий, обитающих в условиях загрязнения и другого антропогенного воздействия, возрастает доля морфы *striata* [2; 3; 13; 14]. У разных видов рода *Rana* установлено, что у животных фенотипа *striata* общий уровень окислительно-восстановительных процессов, содержание гемоглобина выше, натриевая проницаемость кожи вдвое ниже, а индекс жира достоверно больше, чем у фенотипа *maculata*, что, по мнению Т.Ю. Песковой [13], возможно могло быть причиной адаптивного преобладания фенотипа *striata* в популяции озерных лягушек, обитающих в условиях загрязнения. На Западном Предкавказье, по данным Т.Ю. Песковой, в относительно чистом водоеме – старица реки Кума в окрестностях города Буденовска – соотношение полосатых и бесполовых лягушек было поровну (доля *striata* – 50,8 %), а в двух загрязненных водоемах (озеро-лиман и пруд-испаритель) статистически достоверно преобладали полосатые особи (60,5 % и 70,6 % соответственно). Более того, автор установил, что с возрастанием уровня загрязнения увеличивается преобладание полосатого фенотипа (в пруде-испарителе доля *striata* достоверно превышала таковую в озере-лимане). В других работах, проведенных в России, показано, что частота встречаемости фенотипа *striata* увеличивается среди половозрелых озерных лягушек с возрастанием уровня антропопрессии [26]. Подобное отмечено и на водоемах в бассейне Верхнего Дона [11] и в Ульяновской области России, где в загрязненном водотоке – реке Свияга – доля морфы *striata* достигала 80,2 % [22].

Учитывая полученные данные о соотношении обоих фенотипов, изученных нами популяций озерной лягушки, можно заключить, что вода в испускателе и на начальном участке главного канала, заполняющего рисовые поля на севере от города Пловдива – биотоп 1 (в популяции индивиды пятнистого фенотипа преобладают) – чище воды в рисовых полях на се-

вере от города Пловдива – биотоп 2 (в популяции преобладают индивиды полосатого фенотипа).

О другом исследованном нами виде – краснобрюхой жерлянке – в литературе тоже есть сведения относительно генетического полиморфизма и его изменений в связи с обитанием в условиях антропопресии, правда они не так многочисленны как для озерной лягушки. У краснобрюхой жерлянки наследование крупнопятнистого и мелкопятнистого фенотипов происходит по аутосомному типу и определяется диалельным геном [12]. На Западном Предкавказье установлено, что у жерлянок в популяции, обитающей в чистом водоеме, весной преобладают особи крупнопятнистого фенотипа, а в загрязненном пестицидами оба фенотипа представлены поровну. Осенью в чистом водоеме доля крупнопятнистых особей еще более возрастала, а в рисовых чеках также встречались жерлянки с крупными пятнами на брюшке, хотя и в меньшей степени, чем в чистых водоемах [13; 17]. Т.Ю. Пескова [12] установила, что у особей с крупными светлыми пятнами на брюшке достоверно меньше относительная, а иногда и абсолютная величина сердца, что дает ей основание считать, что преимущественное выживание крупнопятнистого фенотипа в водоемах разной степени загрязнения связано не только с отпугивающей окраской на брюшке (лучше проявляется у особей крупнопятнистого фенотипа), но и с увеличением сердца. Ранее Т.Ю. Пескова [13] рекомендовала использовать фенетическую структуру популяции краснобрюхой жерлянки (соотношение крупнопятнистого и мелкопятнистого фенотипов) в качестве индикаторного показателя определения загрязнения водоема пестицидами. В более раннем нашем исследовании

мы показали (по соотношению обоих фенотипов жерлянки), что вода реки Дунай в районе города Тутракан более грязная, чем вода в рисовых чеках в районе города Пловдива [17]. Учитывая проявление генетического полиморфизма у краснобрюхой жерлянки и полученные данные о популяциях вида в двух биотопах Южной Болгарии, можно заключить, что вода в биотопе 1 (крупнопятнистый фенотип преобладает над мелкопятнистым в соотношении 5:1) чище той в рисовых чеках на западе от города Пловдив (крупнопятнистые индивиды преобладают над мелкопятнистыми в соотношении 2:1).

Заключение

Данные, полученные на основании двух биоиндикационных методов – флуктуирующей асимметрии и соотношение фенотипов двух видов амфибий (озерной лягушки и краснобрюхой жерлянки), обитающих в биотопах Южной Болгарии – дают возможность сделать выводы о степени загрязнения соответствующих водоемов: в биотопе 1 (испускатель воды и начальной участок главного канала заполнения рисовых чеков на севере от города Пловдив) вода относительно чистая с хорошими условиями для жизни, в то время как в биотопе 2 (рисовые поля на западе от города Пловдив) она загрязненная, с ухудшенными условиями для жизни.

Мы подтверждаем мнение, что флуктуирующая асимметрия и фенетический состав популяций озерной лягушки и краснобрюхой жерлянки являются хорошими биоиндикационными методами оценки состояния жизненной среды.

Литература

1. Вершинин, В.Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий : автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.Л. Вершинин. – Екатеринбург, 1997. – 47 с.
2. Вершинин, В.Л. Морфа *striata*- и ее роль в путях адаптогенеза рода *Rana* в современной биосфере / В.Л. Вершинин // Доклады РАН. – 2004. – Т. 396. – № 2. – С. 280–282.
3. Вершинин, В.Л. Биота урбанизированных территорий / В.Л. Вершинин. – Екатеринбург, 2007. – 73 с.
4. Желев, Ж.М. Флуктуирующая асимметрия краснобрюхой жерлянки *Bombina orientalis* Linnaeus, 1761 (*Amphibia*, *Anura*, *Discoglossidae*) у южной границе ареала вида / Ж.М. Желев, Т.Ю. Пескова // Проблемы изучения и сохранения позвоночных животных антропогенных водоемов. – Саранск, 2010. – С. 45–49.

5. Зарипова, Ф.Ф. Характеристика состояния популяции озерной лягушки *Rana ridibunda* Pallas, 1771 (*Anura, Amphibia*) в Республике Башкортостан по полиморфизму рисунка окраски спины / Ф.Ф. Зарипова, Г.Р. Юмагулова, А.И. Файзулин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – № 1. – С. 78–82.
6. Захаров, В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов [и др.]. – М. : Наука, 2000. – 234 с.
7. Ищенко, В.Г. Динамический полиморфизм бурых лягушек фауны СССР / В.Г. Ищенко. – М., 1978. – 148 с.
8. Лада, Г.А. Методы исследования земноводных : науч.-метод. Пособие / Г.А. Лада, А.С. Соколов. – Тамбов : ТГУ, 1999. – 75 с.
9. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М. : Высшая школа, 1990. – 35 с.
10. Лебединский, А.А. Некоторые особенности популяции травяной лягушки в связи с ее обитанием на урбанизированной территории / А.А. Лебединский, Е.Н. Поморина // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. Биология. – Нижний Новгород. – 2008. – Вып. 2. – С. 91–95.
11. Никашин, И.А. Эколого-морфологические признаки популяций озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall) как средство оценки антропогенного воздействия на водные экосистемы (на примере Липецкой области) : ввтореф. дис. ... канд. биол. наук / И.А. Никашин. – Липецк, 2007. – 17 с.
12. Пескова, Т.Ю. Использование фенетической структуры популяций краснобрюхой жерлянки для биоиндикации пестицидного загрязнения водоемов / Т.Ю. Пескова // Актуальные вопросы экологии и охраны пророды водных экосистем и сопредельных территорий. – Краснодар. – 1995. – Ч. 2. – С. 3–4.
13. Пескова, Т.Ю. Влияние антропогенных загрязнений среды на земноводных / Т.Ю. Пескова. – Волгоград, 2001. – 156 с.
14. Пескова, Т.Ю. Адаптационная изменчивость земноводных в антропогенно загрязненной среде : автореф. дис. ... канд. биол. наук // Т.Ю. Пескова. – Тольятти, 2004. – 38 с.
15. Пескова, Т.Ю. Сравнение флуктуирующей асимметрии в популяциях озерной лягушки в горных и равнинных водоемах / Т.Ю. Пескова, А.В. Васютина // Горные экосистемы и их компоненты: Труды Международной конференции. – Нальчик, 2005. – С. 53–55.
16. Пескова, Т.Ю. Биоиндикационная оценка антропогенного влияния на экосистемы в Болгарии по стабильности развития популяций озерной лягушки *Rana ridibunda* / Т.Ю. Пескова, Ж.М. Желев // Актуальные вопросы экологии и охраны природных экосистем южных регионов России и сопредельных территорий. Краснодар, 2010. – С. 83–88.
17. Пескова, Т.Ю. Фенотипическая структура популяций краснобрюхой жерлянки *Bombina bombina* Linnaeus, 1761 (*Amphibia, Anura, Discoglossidae*) у южной границе ареала вида / Т.Ю. Пескова, Ж.М. Желев // Проблемы изучения и сохранения позвоночных животных антропогенных водоемов. – Саранск, 2010. – С. 123–126.
18. Пескова, Т.Ю. Использование земноводных для биоиндикации загрязнения водоемов / Т.Ю. Пескова, Т.И. Жукова // Нука Кубани. – 2007. – № 2. – С. 22–25.
19. Пескова, Т.Ю. Использование краснобрюхой жерлянки для биоиндикации пестицидного загрязнения водоемов / Т.Ю. Пескова, Т.И. Жукова // Наука Кубани. – 2008. – № 2. – С. 19–23.
20. Пескова, Т.Ю. Уровни флуктуирующей асимметрии близких видов земноводных при синтопическом обитании в горных водоемах Кавказа / Т.Ю. Пескова, Т.И. Жукова // Животный мир горных территорий. – Нальчик, 2009. – С. 406–411.
21. Пескова, Т.Ю. Флуктуирующая асимметрия озерной лягушки и зеленой жабы / Т.Ю. Пескова, Т.И. Жукова, Т.С. Величко // Вопросы герпетологии. Материалы IV съезда Герпетологического общества имени А.М. Никольского. – Казань, 2009; – Санкт-Петербург, 2011. – 336 с.

22. Спирина, Е.В. Амфибии как биоиндикационная тест – система для экологической оценки водной среды обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е.В. Спирина. – Ульяновск, 2007. – 23 с.
23. Устюжанина, О.А. Биоиндикационная оценка качества окружающей среды по стабильности развития и фенетике бесхвостых амфибии *Rana ridibunda*, *R. lessonae*, *R. esculenta*, *R. temporaria* : автореф. дис. ... канд. биол. наук / О.А. Устюжанина. – Калуга, 2002. – 19 с.
24. Устюжанина, О.А. Сравнительная оценка состояния природной среды по стабильности развития травяных (*Rana temporaria*) и озерных (*R. ridibunda*) лягушек / О.А. Устюжанина, А.Б. Стрельцов // Вопросы герпетологии. – Пушино, Москва, 2001. – С. 296–298.
25. Устюжанина, О.А. Биоиндикационная оценка качества среды в поймах рек Оки и Угры по гомеостазу развития озерных лягушек (*Rana ridibunda*) / О.А. Устюжанина, А.Б. Стрельцов // Вопросы герпетологии. – Пушино, М., 2001. – С. 298–299.
26. Файзулин, А.И. Эколого-фаунистический анализ земноводных Среднего Поволжья и проблемы их охраны : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.И. Файзулин. – Тольяти, 2004. – 211 с.
27. Чубинишвили, А.Т. Морфогенетические и цитогенетические характеристики природных популяций зеленых лягушек гибридного комплекса *Rana esculenta* в естественных популяциях и подверженных антропогенному воздействию : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.Т. Чубинишвили. – М., 1997. – 19 с.
28. Щупак, Е.Л. Наследование спинной полосы особями остромордой лягушки / Е.Л. Щупак // Информационные материалы института Экологии растений и животных. – Свердловск : ИЭРиЖ УрОАН СССР, 1987. – С. 36.

References

1. Vershinin, V.L. Jekologicheskie osobennosti populjacij amfibij urbanizirovannyh territorij : avto-ref. dis. ... kand. biol. nauk / V.L. Vershinin. – Ekaterinburg, 1997. – 47 s.
2. Vershinin, V.L. Morfa striata- i ee rol' v putjah adaptogeneza roda Rana v sovremennoj biosfere / V.L. Vershinin // Doklady RAN. – 2004. – Т. 396. – № 2. – S. 280–282.
3. Vershinin, V.L. Biota urbanizirovannyh territorij / V.L. Vershinin. – Ekaterinburg, 2007. – 73 s.
4. Zhelev, Zh.M. Fluktuirujuwaja asimmetrija krasnobrjuhoj zherljanki Bombina bonbina Linnaeus, 1761 (Amphibia, Anura, Discoglossidae) u juzhnoj granice areala vida / Zh.M. Zhelev, T.Ju. Peskova // Problemy izuchenija i sohraneniya pozvonocnyh zhivotnyh antropogennyh vodoemov. – Saransk, 2010. – S. 45–49.
5. Zaripova, F.F. Harakteristika sostojanija populjicii ozernoj ljagushki Rana ridibunda Pallas, 1771 (Anura, Amphibia) v Respublike Bashkotorstan po polimorfizmu risunka okraski spiny / F.F. Zaripova, G.R. Jumagulova, A.I. Fajzulin // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2009. – Т. 11. – № 1. – S. 78–82.
6. Zaharov, V.M. Zdorov'e sredy: metodika ocenki / V.M. Zaharov, A.S. Baranov, V.I. Borisov [i dr.]. – М. : Nauka, 2000. – 234 s.
7. Iwenko, V.G. Dinamicheskij polimorfizm buryh ljagushek fauny SSSR / V.G. Iwenko. – М., 1978. – 148 s.
8. Lada, G.A. Metody issledovanija zemnovodnyh : nauch.-metod. Posobie / G.A. Lada, A.S. Sokolov. – Tambov : TGU, 1999. – 75 s.
9. Lakin, G.F. Biometrija / G.F. Lakin. – М. : Vysshaja shkola, 1990. – 35 s.
10. Lebedinskij, A.A. Nekotorye osobennosti populjicii travennoj ljagushki v svjazi s ee obitaniem na urbanizirovannoj territorii / A.A. Lebedinskij, E.N. Pomorina // Vestnik Nizhegorodskogo univeriteta imeni N. I. Lobachevskogo. Biologija. – Nizhnij Novgograd. – 2008. – Vyp. 2. – S. 91–95.
11. Nikashin, I.A. Jekolgo-morfologicheskie priznaki populjacij ozernoj ljagushki (*Rana ridibunda* Pall) kak sredstvo ocenki antropogennogo vozdejstvija na vodnye jekosistemy (na primere Lipeckoj oblasti) : vvtoref. dis. ... kand. biol. nauk / I.A. Nikashin. – Lipeck, 2007. – 17 s.

12. Peskova, T.Ju. Ispol'zovanie feneticheskoy struktury populjacij krasnobrjuhoj zherljanki dlja bioindikacii pesicidnogo zagrjaznenija vodoemov / T.Ju. Peskova // Aktual'nye voprosy jekologii i ohrana prorody vodnyh jekosistem i sopredel'nyh territorij. – Krasnodar. – 1995. – Ch. 2. – S. 3–4.

13. Peskova, T.Ju. Vlijanie antropogennyh zagrjaznenij srede na zemnovodnyh / T.Ju. Peskova. – Volgograd, 2001. – 156 s.

14. Peskova, T.Ju. Adaptacionnaja izmenchivost' zemnovodnyh v antropogenno zagrjaznennoj srede : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk // T.Ju. Peskova. – Tol'jati, 2004. – 38 s.

15. Peskova, T.Ju. Sravnenie flukturirujuwej assimetrii v populjacijah ozernoj l'jagushki v gornyh i ravninnyh vodoemah / T.Ju. Peskova, A.V. Vasjutina // Gornye jekosistemy i ih komponenty: Trudy Mezhdunarodnoj konferencii. – Nal'chik, 2005. – S. 53–55.

16. Peskova, T.Ju. Bioindikacionnaja ocenka antropogenno vlijanija na jekosistemy v Bolgarii po stabil'nosti razvitija populjacij ozernoj l'jagushki Rana ridibunda / T.Ju. Peskova, Zh.M. Zhelev // Aktual'nye voprosy jekologii i ohrany prirodnyh jekosistem juzhnyh regionov Rossii i sopredel'nyh territorij. Krasnodar, 2010. – S. 83–88.

17. Peskova, T.Ju. Fenotipicheskaja struktura populjacij krasnobrjuhoj zherljanki Bombina bombina Linnaeus, 1761 (Amphibia, Anura, Discoglossidae) u juzhnoj granice areala vida / T.Ju. Peskova, Zh.M. Zhelev // Problemy izuchenija i sohranenija pozvonochnyh zhivotnyh antropogennyh vodoemov. – Saransk, 2010. – S. 123–126.

18. Peskova, T.Ju. Ispol'zovanie zemnovodnyh dlja bioindikacii zagrjaznenija vodoemov / T.Ju. Peskova, T.I. Zhukova // Nuka Kubani. – 2007. – № 2. – S. 22–25.

19. Peskova, T.Ju. Ispol'zovanie krasnobrjuhoj zherljanki dlja bioindikacii pesicidnogo zagrjaznenija vodoemov / T.Ju. Peskova, T.I. Zhukova // Nauka Kubani. – 2008. – № 2. – S. 19–23.

20. Peskova, T.Ju. Uroveny flukturirujuwej asimetrii blizkih vidov zemnovodnyh pri sintopicheskom obitanii v gornyh vodoemah Kavkaza / T.Ju. Peskova, T.I. Zhukova // Zhivotnyh mir gornyh territorij. – Nal'chik, 2009. – S. 406–411.

21. Peskova, T.Ju. Flukturirujuwaja asimetrija ozernoj l'jagushki i zelenoj zhaby / T.Ju. Peskova, T.I. Zhukova, T.S. Velichko // Voprosy gerpetologii. Materialy IV s'ezda Gerpetologicheskogo obwestva imeni A.M. Nikol'skogo. – Kazan', 2009; – Sankt-Peterburg, 2011. – 336 s.

22. Spirina, E.V. Amfibii kak bioindukacionnaja test – sistema dlja jekologicheskoy ocenki vodnoj srede obitanija : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / E.V. Spirina. – Uljanovsk, 2007. – 23 s.

23. Ustjuzhanina, O.A. Bioindikacionnaja ocenka kachestva okruzhajuwej srede po stabil'nosti razvitija i fenetike beshvostyh amfibii Rana ridibunda, R. lessonae, R. esculenta, R. temporaria : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / O.A. Ustjuzhanina. – Kaluga, 2002. – 19 s.

24. Ustjuzhanina, O.A. Sravnitel'naja ocenka sostojanija prirodnoj srede po stabil'nosti razvitija travjanyh (Rana temporaria) i ozernyh (R. ridibunda) l'jagushek / O.A. Ustjuzhanina, A.B. Strel'cov // Voprosy gerpetologii. – Puwino, Moskva, 2001. – S. 296–298.

25. Ustjuzhanina, O.A. Bioindikacionnaja ocenka kachestva srede v pojмах rek Oki i Ugry po gomeostazu razvitija ozernyh l'jagushek (Rana ridibunda) / O.A. Ustjuzhanina, A.B. Strel'cov // Voprosy gerpetologii. – Puwino, M., 2001. – S. 298–299.

26. Fajzulin, A.I. Jekologo-faunisticheskij analiz zemnovodnyh Srednego Povolzh'ja i problemy ih ohrany : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / A.I. Fajzulin. – Tol'jati, 2004. – 211 s.

27. Chubinishvili, A.T. Morfogeneticheskie i citogeneticheskie harakteristiki prirodnyh populjacij zelenyh l'jagushek gibridnogo kompleksa Rana esculenta v estestvennyh populjacijah i podverzhennyh antropogennomu vozdejstviju : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / A.T. Chubinishvili. – M., 1997. – 19 s.

28. Wupak, E.L. Nasledovanie spinnoj polosy osobjami ostromordoj l'jagushki / E.L. Wupak // Informacionne materialy instituta Jekologii rastenij i zhivotnyh. – Sverdlovsk : IJeRiZh UrOAN SSSR, 1987. – S. 36.

Bio-indicative Evaluation of the Status of Two Biotopes in Southern Bulgaria on the Basis of the Indicators of Fluctuating Asymmetry and Phenetic Composition of Populations of the Marsh Frog *Rana Ridibunda* Rallas, 1771 (Anura, Amphibia, Ranidae) and European Fire-bellied Toad *Bombina Bombina* Linnaeus, 1761 (Amphibia, Anura, Discoglossidae) in the Conditions of Syntopic Habitats

Zh.M. Zhelev

University of Plovdiv "Paisii Hilendarski", Plovdiv

Key words and phrases: Marsh frog; Fire-bellied toad; population; biotope; fluctuating asymmetry; Morph.

Abstract: This study has investigated the degree of manifestation of fluctuating asymmetry and phenetic composition of populations of two syntopically inhabiting amphibian species: Marsh frog and Fire-bellied toad, as the level of anthropogenic impact in the given biotopes has been evaluated on the basis of the two bio-indicative methods.

© Ж.М. Желев, 2011

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ
SCIENCE PROSPECTS
№ 7(22) 2011
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 29.07.11 г.
Формат журнала 60×84/8
Усл. печ. л. 26,85. Уч.-изд. л. 18,17.
Тираж 1000 экз.

Издательский дом «ТМБпринт».