

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО  
ВЛИЯНИЯ НА ЭКОСИСТЕМЫ В БОЛГАРИИ ПО  
СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ОЗЁРНОЙ  
ЛЯГУШКИ *RANA RIDIBUNDA*

Желев Ж.М., Пловдивский Госуниверситет, г. Пловдив, Болгария;  
Пескова Т.Ю., КубГУ, г. Краснодар, Россия.

Выявлены различия показателей стабильности развития (флуктуирующей асимметрии) озерной лягушки из семи водоемов южной Болгарии с разной степенью антропогенного загрязнения.

**Введение**

Во всех стран мира площадь антропогенно трансформированных территорий постоянно растет и в настоящее время почти отсутствуют ландшафты, не подверженные влиянию антропогенных факторов.

Земноводные относятся к группе животных, уязвимых при антропогенных воздействиях. В условиях антропогенного прессинга, у них наблюдается изменение фенотипического состава и показателей физиологического состояния лягушек (Вершинин, 1997; Пескова, 2000; 2001; 2004). Однако среди них встречается виды, например, озерная лягушка – *Rana ridibunda*, Pallas, 1771, которые являются толерантными даже к высокому уровню антропогенной нагрузки. Возможность улавливать изменения, происходящие в популяциях, обитающих на антропогенно трансформированных территориях, дает исследование стабильности развития организма, то есть его способности к формированию фенотипа без онтогенетических нарушений (Устюжанина, 2002). Высокая индивидуальная асимметрия характерна для особей из популяций, существующих в неоптимальных с точки зрения стабильности развития условиях, при интродукции в необычные местообитания, а также в условиях загрязнения среды (Захаров, 1987).

Целью настоящей работы была оценка состояния экосистем по показателям стабильности развития популяций озерной лягушки, обитающих в биотопах южной Болгарии, в разной степени антропогенно загрязненных.

### **Материал и методика**

Сбор материала проводился весной–летом 2009 года. Всего было изучено 7 водоемов, в которых было поймано 277 особей озерной лягушки.

Первая из сравниваемых популяций обитает в хвостохранилище целлюлозно-бумажного завода г. Стамболийски (водоем 1). Отловлены 73 особи (рН = 7,0–7,9, показатели качества воды в норме).

В районе г. Глебово, находящегося вблизи энергетического комплекса ТЭЦ – «Марица-Исток»-1, озерные лягушки были собраны в трех водоемах. Здесь при получении электрической энергии за счет сжигания бурого и каменного углей в смеси с мазутом в атмосферу постоянно попадают выбросы серных оксидов и твердых частиц промышленной пыли. В районе идут кислые дожди. Одна из выборок озерных лягушек из г. Глебово собрана в маленьком озере, находящимся в черте города, в 4 км от электростанции и в 0,2–0,3 км от р. Сазлийка. Водоем имеет постоянный источник водоснабжения – артезианские подпочвенные воды, что делает возможным существование озера в течение всего года, однако уровень воды в нем меняется по сезонам. Сюда практически не попадают отходы. Кислотность воды нормальная (водоем 2). Здесь отловлены 30 особей.

Вторая выборка озерных лягушек из г. Глебово собрана по берегам р. Сазлийка, протекающей тоже в черте города (водоем 3). В реку попадает вода после отстаивания в пруде–испарителе; кислотность воды нормальная. Отловлено 35 особей. Расстояние между 2 и 3 водоемами составляет не более 0,5 км, обмен особями возможен и происходит постоянно.

Третья выборка собрана в «чёрном озере» (водоем 4) – месте сброса вод из ТЭЦ – «Марица-Исток»-1, это пруд–отстойник. Вода грязная, насыщенная неорганическими взвесями. В воде в различные сезоны повышено содержание нитритов и сульфатов. «Чёрное озеро» находится на расстоянии около 5–6км и от второго, и от третьего водоемов; вокруг него семь лет назад искусственно насыпан земляной вал высотой более 3м, практически непреодолимый для земноводных. Таким образом, в «чёрном озере» обитает изолят озерной лягушки. Отловлено 60 особей.

Две исследованные нами популяции лягушек обитают в р. Марица: одна – в местах сброса промышленных вод из химического комбината «Неохим», находящегося в окрестностях г. Димитровград (водоем 5, рН = 7,9–8,5; в отдельные сезоны превышена ПДК по фенолу и нефтепродуктам), а другая – в местах стока вод сахарного завода в окрестностях г. Пловдив (водоем 6, рН = 7,8–8,5; показатели качества воды в норме). Расстояние между этими двумя местами обитания озерной лягушки по прямой составляет около 15км, а по реке – более 30км, поэтому обмен особями маловероятен. В обоих местах отловлено по 26 особей.

Выборку из последней изучаемой популяции лягушек брали в месте впадения р. Чая в р. Марица (водоем 7). В этот водоем идет сброс стоков от предприятия, производящего сельскохозяйственные удобрения «Агрива», и завода по переработке цветных металлов. Здесь были отловлены 27 лягушек.

Данные о химических загрязнениях воды исследуемых водоемов приведены по результатам анализа (Физикохимический анализ. р.Марица, 2008).

В качестве метода оценки стабильности развития применяли анализ флуктуирующей асимметрии (ФА). Всего было использовано 10 морфологических признаков (Чубинишвили, 1997). Для оценки уровня ФА

для каждой особи подсчитывали число асимметричных признаков по степени их выраженности с правой и левой стороны тела. По полученным данным устанавливали частоту асимметричного проявления на особь (ЧАПО) и частоту ассиметричного проявления на признак (ЧАПП). Балльную оценку показателей ФА проводили по общепринятой шкале (Здоровье среды: методика оценки, 2000), а так же по шкале для озерной лягушки в южных частях ареала вида (Пескова, Жукова, 2007) – табл.1.

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

Балл	Величина показателя стабильности развития	
	северная и центральная часть ареала [Здоровье среды: методика оценки, 2000]	южная часть ареала [Пескова, Жукова, 2007]
1	< 0,50	< 0,40
2	0,50 – 0,54	0,41 – 0,50
3	0,55 – 0,59	0,51 – 0,60
4	0,60 – 0,64	0,61 – 0,70
5	≥ 0,65	≥ 0,71

Полученный цифровой материал обработан стандартными статистическими методами (Лакин, 1980). Статистическая значимость различий оценивалась при помощи t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными, если  $t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{ст.}}$  при 5%-ном уровне значимости.

### **Обсуждение результатов**

Результаты определения показателей ФА озерной лягушки в семи исследованных водоемах южной Болгарии приведены в табл. 2.

Так как территория южной Болгарии, на которой мы проводили исследования, представляет собой южную (точнее – юго-западную) часть

Таблица 2 – Показатели флуктуирующей асимметрии озерной лягушки *Rana ridibunda* Pall. из водоемов южной Болгарии (пределы,  $\bar{x} \pm m$ ,  $C_v\%$ , n)

Показатель флуктуирующей асимметрии	Водоем 1 Хвостохранилище целлюлозно-бумажного завода	Водоем 2 г. Глебово – водоем с подпочвенными водами	Водоем 3 г. Глебово –р.Сазлийка	Водоем 4 г. Глебово «чёрное озеро» ТЭЦ-«Марица-Исток»-1	Водоем 5 р. Марица, химкомбинат «Неохим»-г.Димитровград	Водоем 6 р. Марица--г.Пловдив, сахарный комбинат	Водоем 7 р..Чая–впадение в р. Марицу выше г. Пловдив
ЧАПП – частота асимметричного проявления на признак	0,1 – 0,8	0,1 – 0,4	0,1 – 0,7	0,5 – 0,8	0,3 – 0,9	0,1 – 0,8	0,2 – 1,0
	0,53±0,09	0,22±0,03	0,37±0,06	0,73±0,03	0,57±0,06	0,37±0,02	0,53±0,06
	54,7	36,4	48,6	12,3	35,1	24,3	35,8
	10	10	10	10	10	10	10
ЧАПО – частота асимметричного проявления на особь	0,3 – 0,6	0,1 – 0,4	0,2 – 0,6	0,5 – 0,8	0,2 – 0,7	0,2 – 0,6	0,4 – 0,8
	0,51±0,01	0,26±0,01	0,36±0,01	0,67±0,01	0,54±0,02	0,35±0,02	0,57±0,02
	23,5	30,8	11,1	10,4	20,4	25,7	14,0
	73	30	35	60	26	26	27
Балльная оценка по: Захаров 2000	2	1	1	5	3	1	2
Балльная оценка по Песковой, Жуковой, 2007	2	1	1	5	3	1	2

ареала озерной лягушки, мы сочли возможным оценивать показатели ФА не только по общепринятой шкале, но и по шкале для озерной лягушки в южных частях ареала вида, разработанной в Предкавказье – на юго-востоке ареала (Пескова, Жукова, 2007). В нашем исследовании значения балльных оценок для всех выборок озерной лягушки совпали по обоим шкалам.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что различия величины ФА озерной лягушки в исследованных водоемах очень значительны. Так, в трех водоемах (2, 3 и 6) величина ЧАПП и ЧАПО озерных лягушек минимальная, по балльной оценке соответствующая 1 баллу нарушения стабильности развития земноводных и, соответственно, загрязнения водоемов. Популяции находятся в оптимальных условиях с высоким уровнем стабильности развития, то есть антропогенный пресс не достигает уровня, при котором начинается процесс нарушения стабильности развития организмов. Эта величина показателей ФА озерной лягушки в нашем исследовании является условно контрольной.

В водоемах 1 (хвостохранилище целлюлозно-бумажного завода г. Стамболийски) и 7 (р. Чая при впадении в р. Марица выше г. Пловдив), судя по величине ФА, наблюдаются нарушения стабильности развития озерной лягушки, соответствующие 2 баллу – отклонения характеризуют популяцию, как находящуюся в условиях напряженной экологической ситуации.

В 5 водоеме (р. Марица в местах сброса промышленных вод химического комбината «Неохим») нарушения стабильности развития еще более сильно выражены, что соответствует 3 баллу. В литературе отмечены сходные нарушения стабильности развития озерной лягушки (0,56–0,60) в пойме р. Ока (левый берег), что авторы связывают с загрязнениями, в частности, пестицидами (Устюжанина, Стрельцов, 2001).

Наконец, максимальной величины (из всех семи исследованных выборок земноводных) достигают показатели нарушения стабильности

развития лягушек в водоеме 4 – «чёрное озеро», которые оцениваются 5 баллом: популяция находится в критическом состоянии, стабильность развития нарушена очень сильно. «Черное озеро» используется в качестве полей фильтрации для вод, поступающих с теплоэлектростанции, в связи с чем в течение года в нем меняется уровень воды и содержание твердых неорганических отходов (так называемая «промышленная пыль»). Повышенная кислотность воды в данном водоеме ( $\text{pH} = 5\text{--}5,5$ ) дополнительно ухудшает жизненные условия земноводных. В реках по сравнению с «чёрным озером» экологические условия лучше, что можно объяснить способностью проточных рек к самоочищению.

С нашей точки зрения, представляет интерес сравнение показателей ФА озерной лягушки из трех водоемов (2, 3 и 4), находящихся в черте г. Глебово. Все три водоема находятся в одинаковых климатических условиях, для исследования взяты лягушки одной возрастной группы – половозрелые, следовательно, в этих условиях устранена возможность влияния на величину ФА таких факторов, как температура и возраст. Поэтому наиболее вероятной причиной различий в проявлении ФА является степень антропогенного влияния на водоемы.

Никаких существенных преград между 2 и 3 водоемами нет, а потому осуществляется свободный обмен особями озерных лягушек. Мы полагаем, что особи, обитающие в водоемах 2 и 3, относятся к единой популяции. ФА проявляется в этих двух выборках животных в одинаковой (и весьма незначительной) степени – 1 балл.

Другая ситуация с 4 водоемом: он не только удален от первых двух водоемов на 5 км, но огражден высоким земляным валом; в нем обитают особи, случайно попавшие сюда или являющиеся потомками их, то есть население лягушек в нем довольно постоянное. Если учесть, что половозрелыми озерные лягушки на юге ареала становятся в двух-, трехлетнем возрасте, то в описанном водоеме в условиях семилетней

изоляция просуществовало по крайней мере три генерации данного вида земноводных. Здесь происходит ежегодный инбридинг половозрелых озерных лягушек. Поэтому есть основания ожидать некоторых специфических отличий, свидетельствующих о микроэволюционном процессе, идущем в изоляте.

По данным наших исследований, эти отличия проявляются, во-первых, в высоком уровне нарушения стабильности развития (ЧАПП равен  $0,73 \pm 0,03$ ), а во-вторых, в единообразии проявления данного признака у лягушек, о чем можно судить на основании низкого коэффициента вариации величины ЧАПП – 12,3% (статистически достоверно отличающегося от коэффициентов вариации этого показателя ФА озерной лягушки во всех остальных исследованных водоемах). Кроме того, большинство озерных лягушек данной микропопуляции относятся к морфе *maculata*. Это обстоятельство на первый взгляд кажется непонятным, так как по многим литературным источникам известно, что в условиях загрязнения в популяциях озерной лягушки соотношение морф *striata* и *maculata* либо равное, либо преобладают особи морфы *striata*. Возможно, в «чёрном озере» при формировании данной популяции имел место эффект «бутылочного горлышка». Кроме того, вероятно, ген, отвечающий за развитие морфы *striata*, обладает пониженной пенетрантностью, которая, как известно, снижается при резких изменениях условий среды. Наконец, можно предположить, что быстрее реакция популяции на загрязнения проявляется в нарушении стабильности развития особей (что имеет место в «чёрном озере»), а изменение фенетической структуры популяции несколько запаздывает.

Мы полагаем, что в 4 водоеме («чёрное озеро») микропопуляция озерной лягушки находится на третьем этапе микроэволюционного процесса, по классификации В.М. Захарова (2001), когда на периферии ареала нарушение стабильности развития в популяциях (или



микропопуляциях) является платой за существование в новых условиях. В анализируемой нами ситуации имеет место обитание озерной лягушки в условиях экологической периферии, возникшей в результате антропогенного воздействия.

### **Заключение**

На основании сопоставления данных по химическому составу воды в различных водоемах южной Болгарии и значений показателей ФА озерных лягушек, обитающих в них, установлено, что нарушение стабильности развития данного вида земноводных происходит в условиях антропогенного загрязнения независимо от характера загрязнителей, но в зависимости от количества загрязняющих веществ.

При изоляции части популяции озерной лягушки в условиях интенсивного антропогенного загрязнения (водоем 4) имеют место микроэволюционные процессы, проявляющиеся в значительном снижении стабильности развития.

### **Список литературы**

1. Вершинин В. Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий: автореф. Дис. канд. биол. наук. Екатеринбург, 1997. 47с.
2. Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-фенетический подход). М.: Наука, 1987. 216с.
3. Захаров В.М. Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология, 2001. №3. С.164–168.
4. Здоровье среды: методика оценки // В.М. Захаров [и др.]. М.: Наука, 2000. 234 с.
5. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293с.
6. Пескова Т.Ю. Адаптивные изменения структуры популяции амфибий в антропогенно загрязненной среде // Фауна Ставрополя. Вып. 10. Ставрополь, 2000. С. 57–62.

7. Пескова Т.Ю. Влияние антропогенных загрязнений среды на земноводных. Волгоград, 2001. 156с.

8. Пескова Т.Ю. Адаптационная изменчивость земноводных в антропогенно загрязненной среде: автореф. дис. доктора биол. наук. Тольяти, 2004. 36с.

9. Пескова Т.Ю., Жукова Т.И. Использование земноводных для биоиндикации загрязнения водоемов // Наука Кубани. 2007. №2. С.22–25.

10. Устюжанина О.А. Биоиндикационная оценка качества окружающей среды по стабильности развития и фенетике бесхвостых амфибий *Rana ridibunda*, *R. lessonae*, *R. esculenta*, *R. temporaria*: автореф. дис. канд. биол. наук. Калуга, 2002. 19с.

11. Устюжанина О.А., Стрельцов А.Б. Биоиндикационная оценка качества среды в поймах рек Оки и Угры по гомеостазу развития озерных лягушек (*Rana ridibunda*) // Вопросы герпетологии. Пушино; М., 2001. С. 298–299.

12. Чубинишвили А. Т. Морфогенетические и цитогенетические характеристики природных популяций зеленых лягушек гибридного комплекса *Rana esculenta* в естественных условиях и подверженных антропогенному воздействию: автореф. дис. канд. биол. наук. М., 1997. 19с.

13. Физикохимичен анализ на проба повърхностна вода от р. Марица. Хасково, 2008. 32с.

### **Summary**

Distinctions of indicators of stability of development (fluctuating asymmetry) of *Rana ridibunda* from 7 reservoirs of southern Bulgaria with different degree of anthropogenic pollution are revealed.