

Верхошенцева Ю.П., Алёхина Г.П., Шамраев А.В., Хардикова С.В.

Оценка экологического состояния реки Урал методом флуктуирующей асимметрии

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

УДК 574.21

## Оценка экологического состояния реки Урал методом флуктуирующей асимметрии

*Верхошенцева Ю.П.<sup>1</sup>, Алёхина Г.П.<sup>2</sup>, Шамраев А.В.<sup>3</sup>, Хардикова С.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Оренбургский государственный университет*

*<sup>2</sup>ОрГМУ Минздрава России*

*<sup>3</sup>Оренбургская опытная станция садоводства и виноградарства – филиал  
Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и  
питомниководства*

### Аннотация

*В статье изложены результаты оценки экологического состояния реки Урал методом флуктуирующей асимметрии с использованием прудовой лягушки (*Rana lessonae*) и серебряного карася (*Carassius gibelio*) в качестве биоиндикаторов. Исследования проводились на 4 участках реки, отличающихся антропогенной нагрузкой. В основе метода флуктуирующей асимметрии лежит анализ нарушения симметрии развития показателей морфогенетического гомеостаза *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* под действием антропогенных факторов. Проведенное исследование позволило оценить по стабильности развития биоиндикаторов *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* состояние реки Урал в исследуемых участках водоема.*

**Ключевые слова:** БИОИНДИКАЦИЯ, ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ, RANA LESSONAE, CARASSIUS GIBELIO, РЕКА УРАЛ

### Введение

В Оренбургской области экологическая ситуация водной экосистемы на сегодняшний день является более чем актуальной. Наблюдается постепенный процесс деградации всей экосистемы реки Урал. Загрязнение водоема, повышение мутности, изменение ландшафта в дельте реки и ее зарегулирование в скором времени приведет к полному уничтожению данного природного объекта.

Прямое и опосредованное влияние человеческой деятельности на природные экосистемы носит негативный характер и губительно сказывается на живой природе в целом, а также на отдельных таксонах, у которых изменяются условия их существования. Чтобы предотвратить дальнейшее развитие негативных процессов окружающей среды, улучшить экологическую ситуацию и обеспечить потребности населения в водных ресурсах, необходимо иметь достоверные данные о состоянии природных систем, их антропогенных изменениях [1].

Существует множество способов для мониторинга состояния водных экосистем, одной из которых является биоиндикация. С помощью данного метода можно определить на индикаторном организме насколько загрязнена природными или антропогенными элементами данная водная экосистема.

Метод биоиндикации, использующий флуктуирующую асимметрию с помощью гидробионтов, позволяет проводить интегральную экспресс-оценку качества среды обитания живых организмов. Индикаторная особь реагирует не только на отдельные загрязнители, но и на весь комплекс воздействующих веществ определенными нарушениями в функционировании организма. Среди таких реакций широко распространены и часто встречаются нарушения метаморфоза амфибий, которые являются следствием накопления поллютантов в воде, как следствие накопление их в организме с самого начала развития. Повышенная асимметрия билатеральных структур проявляется в условиях стресса, а это свидетельствует о том, что особь не способна нормально развиваться [2].

Амфибии, особенно на водных стадиях развития, широко признаны чувствительными индикаторами загрязнения окружающей среды, и поэтому в ряде исследований предпринимались попытки установить возможные биомаркеры воздействия. Обычно, измеряемые конечные точки включают рост, поведенческие аномалии, время до метаморфоза, деформации, эндокринные нарушения, индукцию или подавление ферментов и эндогенных соединений, связанных с окислительным метаболизмом подавление иммунной функции и генотоксичность. В то время как головастики на ранней стадии развития обычно рассматриваются как стадии наиболее чувствительные к загрязнению окружающей среды, в результате более раннего воздействия конкретных загрязнителей [3].

Приспособленность видов рыб как на индивидуальном уровне (например, показатели роста), так и на уровне популяции (например, структура популяции) определяется взаимосвязанностью различных элементов среды обитания в процессе развития организма.

Таким образом, биоиндикация с использованием флуктуирующей асимметрии рыб и амфибий представляет собой хороший инструмент мониторинга, особенно в отношении аспектов загрязнения среды и ее экологического воздействия на организмы.

### Материалы и методы

В 2021–2023 годах была проведена биоиндикация состояния реки Урал с помощью лягушки прудовой (*Rana lessonae*) и серебряного карася (*Carassius gibelio*) [4]. Отбор биоиндикаторов был произведен на следующих точках:

точка 1 – участок реки Урал в районе города Оренбурга;

точка 2 – участок реки Урал в Оренбургской области, у села Черноречье;

точка 3 – участок реки Урал в Оренбургской области, в Илекском районе, у села Илек;

точка 4 - река Урал в Оренбургской области, Илекский район (после впадения р. Илек в Урал) (рис. 1).

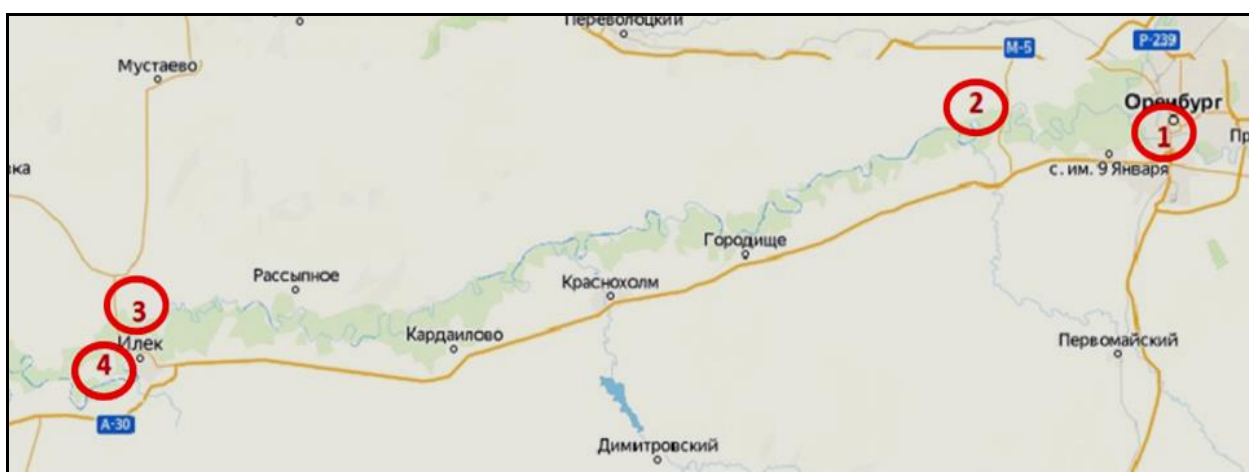


Рис. 1. Точки отбора образцов биоиндикаторов

Анализ флуктуирующей асимметрии *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* проводился по методике биологической диагностики окружающей среды Е. И. Егоровой [5].

Лягушек и земноводных ловят по несколько экземпляров для того, чтобы их комплексно оценить и сделать общий вывод о данной гидробиоте. С каждого препарата рыб снимают 5 признаков, а с каждого препарата лягушек снимают до 11 признаков [6].

После отлова и омертвления образцов прудовой лягушки и серебряного карася была проведена оценка стабильности с учетом различия между левой и правой сторонами (рис. 2, 3).

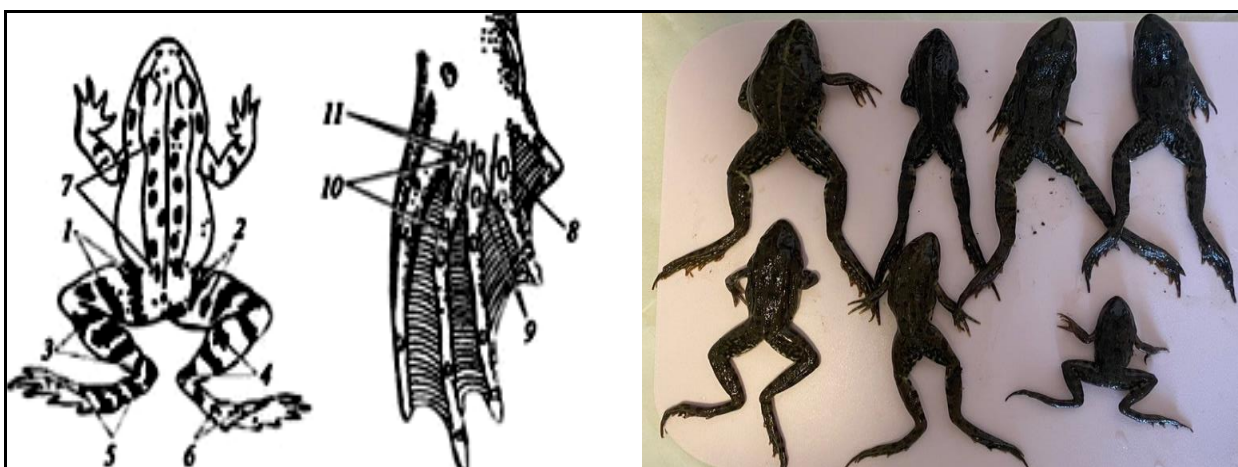


Рис. 2. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития земноводных

*Примечание:* 1 – число полос на бедре; 2 – число пятен на бедре; 3 – число полос на голени; 4 – число пятен на голени; 5 – число полос на стопе; 6 – число пятен на стопе; 7 – число пятен на спине; 8 – число пятен на вентральной стороне второго; 9 – третьего, 10 – четвертого пальцев; 11 – число пор на вентральной стороне третьего пальца.



Рис. 3. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития серебряного карася

*Примечание:* 1 – число лучей в грудных плавниках 2 - число лучей в брюшных плавниках; 3 – число жаберных тычинок; 4 – число глоточных зубов; 5 – число чешуй в боковой линии.

Исходя из полученных данных проводили оценку качества окружающей среды в баллах по интегральному показателю стабильности развития животных по В. М. Захарову (табл. 1) [2].

Таблица 1. Оценка качества окружающей среды в баллах по интегральному показателю стабильности развития земноводных и рыб

Класс	Коэффициент асимметрии согласно балльной оценке				
	1 (чисто)	2 (относительно чисто)	3 (загрязнено)	4 (грязно)	5 (очень грязно)
земноводные	<0,50	0,50-0,55	0,55-0,60	0,60-0,65	>0,65
рыбы	<0,35	0,35-0,40	0,40-0,45	0,45-0,50	>0,50

В работе использовался показатель частота асимметричных проявлений на признак (ЧАПП).

ЧАПП – рассчитывается как отношение числа особей, проявляющих асимметрию, к общему числу учтенных признаков. Сначала высчитывается показатель для каждого признака в выборке, затем вычисляется среднее значение ЧАПП для всей выборки [7].

### Результаты исследования

Исследование реки Урал проводилось в августе 2021 года и в 2022 году. В 2021 году в качестве биоиндикатора была использована прудовая лягушка, проводилась оценка стабильности развития *Rana lessonae* по 11 признакам. В 2022 году к прудовой лягушке добавили в качестве дополнительного биоиндикатора серебряного карася (*Carassius gibelio*), которого оценивали по 5 признакам с учетом различия между левой и правой сторонами.

В ходе проведенных исследований были изучены морфометрические признаки *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* и выявлены следующие асимметричные отклонения признаков (табл. 2).

На основании полученных данных был рассчитан показатель ЧАПП, в соответствии с таблицей 1, проведена балльная оценка состояния среды обитания биоиндикаторов для определения класса качества воды реки Урал (табл. 3).

Таблица 2. Существенные отклонения признаков *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* на реке Урал за 2021–2022 годы

Объект	Год	Точка отбора	№ признака
1	2	3	4
<i>Rana lessonae</i>	2021	1	2,7,10
		2	3,5,7,9,10
		3	2,4,6,7,9,10
<i>Rana lessonae</i>	2022	1	1,4,7,9
		2	2,5,7,9,10
		3	2,6,7,9,10
		4	1,2,5,7,9,10
<i>Carassius gibelio</i>	2022	1	1,2
		2	1
		3	1,3,5
		4	3,5

Таблица 3. Показатели ЧАПП в исследуемых точках отбора биоиндикаторов на реке Урал

Год	Биоиндикатор	№ точки отбора	ЧАПП	К*
2021	<i>Rana lessonae</i>	1	0,48 ±0,34	1
		2	0,54 ±0,26	2
		3	0,73 ±0,29	5
2022	<i>Rana lessonae</i>	1	0,45 ±0,26	1
		2	0,51 ±0,27	2
		3	0,87 ±0,17	5
		4	0,87 ±0,22	5
2022	<i>Carassius gibelio</i>	1	0,12 ±0,10	1
		2	0,36 ±0,1	2
		3	0,72 ±0,2	5
		4	0,88 ±0,17	5

Примечание: \*К – качество среды в баллах по интегральному показателю стабильности развития.

### Заключение

Двусторонняя симметрия является результатом одинаковых закономерностей развития на обеих анатомических сторонах организма. Отклонения от двусторонней симметрии или флуктуирующей асимметрии являются следствием возмущений гомеостаза и стабильности развития. Как природные, так и антропогенные стрессоры могут влиять на развитие организма, нарушая нормальные клеточные и физиологические процессы, ответственные за гомеостаз развития, и тем самым приводя к повышению

флуктуирующей асимметрии. Кроме того, степень и тип флуктуирующей асимметрии часто могут выявлять наличие средовых стрессоров [8].

Проведенные исследования позволили изучить морфометрические признаки *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* и выявить наиболее информативные и показательные асимметричные признаки гидробионтов в целях мониторинга и биоиндикации. У *Rana lessonae* самыми показательными видовыми признаками оказались № 2, 7, 9, 10, а у *Carassius gibelio* № 1, 3, 5.

Анализируя полученные результаты, состояние водоема на исследуемых точках оценивается следующим образом: самой чистой является точка № 1 (река Урал в районе города Оренбурга), неблагополучными оказались точка № 3 (участок реки Урал в Илекском р-не, у села Илек) и точка № 4 (река Урал в Илекском р-он, после впадения р. Илек в Урал), на которых ситуация характеризуется как "очень грязно".

Биоиндикационные данные, полученные методом флуктуирующей асимметрии, подтверждаются двухлетними исследованиями и результатами Оренбургского Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [9]. Точки № 3 и № 4 являются замыкающим створом на реке Урал в пределах Оренбургской области и трансграничными с территорией Республики Казахстан. Превышения ПДК загрязняющими веществами составили: - по ХПК – 1,7 ПДК (в 2021 г. – 1,3 ПДК); - по магнию – 1,1 ПДК (в 2021 г. – 1,1 ПДК); - по сульфатам – 1,6 ПДК (в 2021 г. – 1,5 ПДК); - по БПК5 – 1,1 ПДК (в 2021 г. – 1,1 ПДК); - по меди – 2,7 ПДК (в 2021 г. – 3,0 ПДК).

Таким образом, в результате проведенного исследования мы смогли не только оценить стабильность развития *Rana lessonae* и *Carassius gibelio* на исследуемых участках реки Урал, но и оценить состояние исследуемого водоема.

#### Список использованных источников:

1. Wedler F. Biochemical and nutritional role of manganese: An overview // Manganese in health and disease. – 1994. – P. 1-38.
2. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). - М.: Наука, 1987. - 216 с.
3. Schroeder H.A., Nason A.P., Tipton I.H., Balassa J.J. Essential trace minerals in man: zinc. Relation to environmental cadmium // J. Chron. Dis. – 1967. – Vol. 20. – P. 179-183.

Верхошенцева Ю.П., Алёхина Г.П., Шамраев А.В., Хардикова С.В.

Оценка экологического состояния реки Урал методом флуктуирующей асимметрии

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

4. Банников А.Г., Даревский И.С., Ищенко В.Г., Рустамов А.К., Щербак Н.Н. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР: Учеб. пособие для студентов биол. специальностей пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1977. – 415 с.

5. Егорова Е.Н. Биотестирование и биоиндикация окружающей среды: учеб. пособие по курсу «Биотестирование». – Обнинск: Обнин. ин-т атом. энергетики, 2000. – 78 с.

6. Мелихова, О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2007. – 288 с.

7. Биотест: интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / под ред. В.М. Захарова, Д.М. Кларка. - М.: Московское отделение международного фонда «Биотест», 1993. - 68 с.

8. Леонтьева О.А., Семенов Д.В. Земноводные как биоиндикаторы антропогенных изменений среды // Успехи современной биологии. - 1997. - Т. 117. - Вып. 6. - С. 726–737.

9. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды Оренбургской области. Март 2022 год – Режим доступа: [http://pogoda-sv.ru/media/uploads/2022/04/22/ul\\_mar\\_2022.pdf](http://pogoda-sv.ru/media/uploads/2022/04/22/ul_mar_2022.pdf)

**Цитирование:**

Верхошенцева Ю.П., Алёхина Г.П., Шамраев А.В., Хардикова С.В. Оценка экологического состояния реки Урал методом флуктуирующей асимметрии [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 5. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st\\_504.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_504.pdf). DOI: <https://doi.org/10.51419/202135504>.