

**БИОИНДИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
БЕСХВОСТЫХ АМФИБИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕКИ СОЖ
НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОГО РАЙОНА
(НА ПРИМЕРЕ ЗЕЛЕННЫХ ЛЯГУШЕК)**

**BIOINDICATION BASED ON THE MORFOMETRIC PARAMETERS
OF TILES OF AMPHIBIANS IN VARIOUS SECTIONS OF THE SOZH RIVER
IN THE TERRITORY OF THE GOMEL REGION
(BASED ON THE EXAMPLE OF THE GREEN FROGS)**

А. А. Григоренко, И. В. Кураченко

A. A. Grigorenko, I. V. Kurachenko

УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь

В данной статье проанализированы видовой состав, морфометрические и морфогенетические характеристики бесхвостых амфибий, использованы статистические методы при обработке вариантов отдельных особей, с помощью которых были выявлены центральные тенденции наиболее распространенных признаков, позволяющих проводить биоиндикацию среды и определять степень антропогенного загрязнения.

Ключевые слова: биоиндикация, лягушка, биотоп, биоценоз, параметр.

In this article, the species composition, morphometric and morphogenetic characteristics of tailless amphibians are analyzed by using statistical methods while processing a variant of individuals, with the help of which the central tendencies of the most common signs were identified for bioindication of the environment as well as determination of the degree of anthropogenic pollution.

Keywords: bioindication, frog, biotope, biocenosis, parameter.

Введение. На данный момент биоиндикация – это одно из самых актуальных направлений в экологии, помогающее предотвратить последствия антропогенного загрязнения. Вследствие научно-технического прогресса происходит регресс структуры различных экосистем, нарушение пищевых цепей, возникновение угрозы исчезновения отдельных таксономических групп, появилась необходимость контроля и регулирования экологических проблем. Были изучены способы мониторинга биологических сообществ и описаны ключевые параметры признаков в различных методах биоиндикации, позволяющие определить степень загрязнения природной среды.

В настоящее время окружающая среда – это универсальное определение, у которого нет однозначной трактовки, поэтому в представленной статье значение этого термина следует понимать как комплекс биотических и абиотических условий, свойственных рассматриваемой экосистеме [1, с. 6].

Возвращаясь к последствиям, вызванным антропогенным загрязнением, одной из наиболее распространенных экологических проблем является проблема загрязнения водных экосистем и пути ее решения с помощью различных биоиндикаторов. Из всего

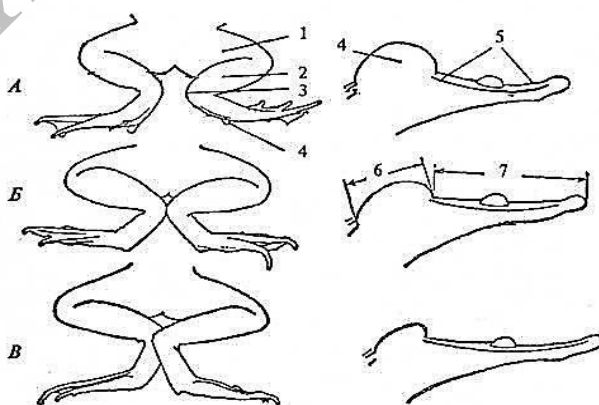
биологического разнообразия наиболее доступными, хорошо изученными и широко распространенными являются животные из класса амфибий.

Для оценки состояния биоценозов, как наземных, так и водных, амфибии – весьма удобные объекты для биомониторинга, в связи с их биологическими особенностями. Морфологические и морфофизиологические характеристики земноводных, охват ареала проживания, способность к аккумулярованию поллютантов, радионуклидов и тяжелых металлов, а также возможность и этичность использования отдельных видов в лабораторных условиях позволяют выделить эту группу позвоночных животных в качестве наиболее выгодных и доступных биоиндикаторов.

Известно, что при антропопрессии представители рода *Rana* претерпевают изменение фенотипического состава, изменения в физиологических параметрах. Зеленых лягушек наиболее удобно использовать в качестве биоиндикаторов на границе двух сред: водной и наземной, что, в свою очередь, позволяет данным животным являться наиболее важными из «ключевых потребителей» трофических цепей, которые представляют собой связующее звено между водными и наземными экосистемами [2, с. 56].

Цель работы – изучение морфометрических и морфогенетических показателей зеленых лягушек для оценки стабильности развития амфибий и состояния батрахофауны водоемов Гомельского района в условиях антропогенного загрязнения.

Материалы и методика исследований. Исследования проводились на различных участках реки Сож на территории Гомельского района в летний и осенний периоды 2020 года. Объектом исследований послужили популяции бесхвостых земноводных. В программу исследований входили следующие задачи: определение видовой принадлежности отловленных бесхвостых амфибий; описание морфофизиологических и морфометрических показателей зеленых лягушек; изучение морфогенетических показателей представителей батрахофауны для оценки стабильности их развития в условиях антропогенного загрязнения. Для определения видовой принадлежности отловленных зеленых лягушек без препарирования использовались определители, а также методика, позволяющая установить вид исследуемых особей с помощью задних конечностей животных [4, с. 51].

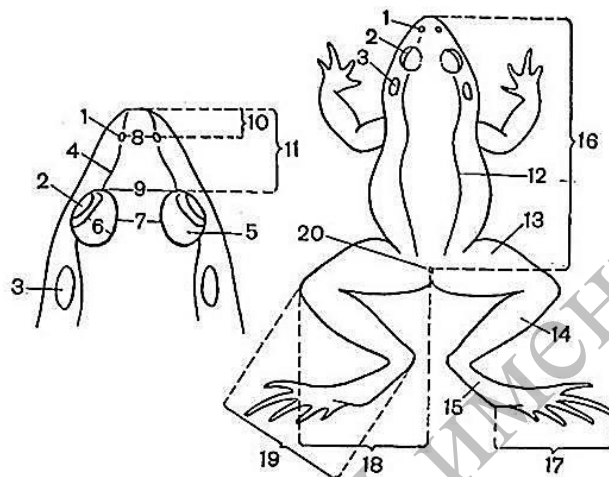


А – прудовая лягушка, *Rana lessonae*, Б – съедобная лягушка, *R. esculenta*,
В – озерная лягушка, *R. Ridibunda*: 1 – бедро, 2 – голень, 3 – стопа, 4 – пяточный бугор,
5 – первый палец задней конечности; 6 – длина внутреннего пяточного бугра;
7 – длина первого пальца задней конечности

**Рисунок 1. – Схема определения видовой принадлежности
зеленых лягушек (по Пикулику, 1985)**

В ходе проведения исследований изучалось информационное разнообразие сообществ зеленых лягушек на обследуемой территории по индексу Шеннона (по формуле: $H' = -\sum (n_i/N) \log(n_i/N)$, где – n_i число особей i -го вида; N – общее число особей всех видов в сообществе). Индекс в основном укладывается в интервал от 1 до 3,5 (чем выше, тем больше видовое разнообразие сообщества) и показывает представительность и общее разнообразие видов в сообществе [3, с. 91].

Для определения размеров отловленных особей использовалась методика морфометрических промеров (рисунок 2).



- 1 – ноздря, 2 – глаз, 3 – барабанная перепонка, 4 – носовая полоска, 5 – веко,
6 – заглазничный промежуток, 7 – промежуток между веками, 8 – промежуток между ноздрями,
9 – ширина рыла, 10 – расстояние от конца морды до ноздри, 11 – длина рыла,
12 – спиннобоковая складка, 13 – бедро, 14 – голень, 15 – стопа, 16 – длина тела, 17 – длина лапки,
18 – длина бедра, 19 – длина голени, 20 – клоака

**Рисунок 2. – Схема морфометрических промеров (по Банникову и др., 1977 г.;
Терентьеву, Чернову, 1949 г.; Тарашуку, 1989 г.)**

Камеральную обработку проводили в лабораториях кафедры зоологии, физиологии и генетики с помощью линейки и штангенциркуля.

Статистический анализ провели по основным параметрическим показателям [5, с. 30].

После снятия морфометрических промеров следует выбрать определенные варианты признаков, с помощью которых возможно проанализировать возрастные показатели зеленых лягушек, в частности их минимальный и максимальный возрасты. В данной работе для анализа возрастного состава особей была использована следующая таблица:

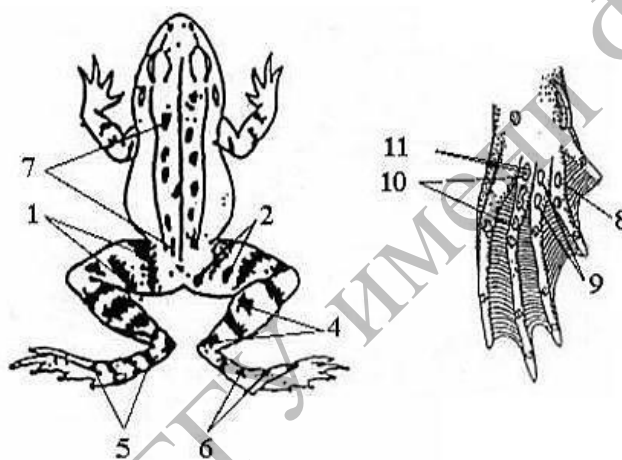
**Таблица 1. – Возрастные морфометрические показатели зеленых лягушек (по
П. В. Терентьеву, 1949)**

Вид	Возраст, лет			
	I	II	III	IV

1	2	3	4	5
<i>R. ridibunda</i>	16–40	40–70	60–100	90–120
<i>R. esculenta</i>	20–23	23–44	42–47	55–60
<i>R. lessonae</i>	20–23	23–44	42–47	55–60

Данные, представленные в таблице 1, показывают зависимость возраста лягушки от длины тела. Знания о возрастной структуре популяции дают нам понимание о перспективах развития, способности к воспроизводству и жизненном состоянии популяций зеленых лягушек.

Проведена оценка стабильности развития популяции по фенотипическим признакам. В качестве примера флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков было взято число пятен на спине (рисунок 3; 7) и число полос на дорзальной стороне бедра (рисунок 3; 1).



1 – полосы на бедре, 2 – пятна на бедре, 4 – пятна на голени; 5 – полосы на стопе, 6 – пятна на стопе, 7 – пятна на спине; пятна на вентральной стороне, 8 – второго пальца, 9 – третьего пальца, 10 – четвертого пальца; 11 – число пор на вентральной стороне третьего пальца

Рисунок 3. – Схема морфогенетических показателей (1–11), используемых для оценки стабильности развития зеленых лягушек гибридного комплекса *Rana esculenta* (по рисунку Д. Шепоткина) [6, с. 45]

Для анализа использовались вышеуказанные билатеральные признаки. Вначале следует провести учет различий в значениях параметров справа и слева, затем благодаря статистическому анализу определяется значимость различий между выборками с помощью t-критерия Стьюдента [7].

Результаты исследований и их обсуждение. Зеленые лягушки (*Rana esculenta* complex) более 250 лет привлекают внимание исследователей. По современным представлениям, в Центральной и Восточной Европе комплекс включает три таксона: озерную (*Rana ridibunda* Pallas, 1771), прудовую (*Rana lessonae* Camerano, 1882) и съедобную (*Rana esculenta* Linnaeus, 1758) лягушек. Последняя – продукт гибридизации двух первых видов. В ходе выполнения исследований изучены морфометрические и морфогенетические признаки зеленых лягушек. Анализ проведен на выборке из 30 особей рода *Rana*, на двух видах: *R. esculenta* (23 % от общего числа), *R. ridibunda* (77 %).

В ходе работы при отлове бесхвостых амфибий не было обнаружено ни одной лягушки вида *Rana lessonae*, что может свидетельствовать о высокой межвидовой конкуренции между этими тремя видами.

Для того, чтобы определить меру видового разнообразия и относительную выравненность в сообществе, был использован индекс Шеннона, который составил $H = 0,54$. По количественному значению индекса Шеннона можно установить, что видовое богатство особей обладает низким разнообразием из-за высокой межвидовой конкуренции и испытывает стресс в небольшой степени. Также данные, указанные выше, показывают выравненность сообщества: из-за низкого разнообразия происходит неравномерное распределение видов в пределах исследуемой территории.

Индекс Шеннона помогает определить достоверность первоначальных данных о количестве и разнообразии отловленных особей в случае, если минимальное количество выборки равно 30 и соответствует закону больших чисел.

Далее были проанализированы некоторые морфометрические особенности, такие как длина тела у группы зеленых лягушек Гомельского р-на. Данный параметр позволяет определить возраст амфибий.

Для анализа желательно брать особей в возрасте от одного года и старше, так как большинство морфологических признаков формируется к этому возрасту и не подвержены дальнейшим возрастным изменениям. Использование сеголеток, по мнению Захарова, может быть рекомендовано лишь для сравнения с той же возрастной группы, поскольку к этому моменту не все из исследуемых морфологических структур достигли дефинитивного состояния.

Для точности опыта были использованы статистические расчеты, позволяющие высчитать вероятность ошибки измерений (таблицы 3 и 4). Все расчеты проводились при уровне значимости 0,05 (95 %).

Таблица 3. – Статистические данные морфометрических параметров *Rana ridibunda*

<i>R. ridibunda</i>				
Возраст	σ	V, %	$\mu \pm \varepsilon_{\alpha}$	n
сеголетки	x	x	x	x
1	0,966	15	$0,5 \pm 3,325$	12
2	0,7	8	$0,4 \pm 5,067$	9
3	0,55	15	$1,14 \pm 7,45$	2
4	x	x	x	x
Больше 4	x	x	x	x

Таблица 4. – Статистические данные морфометрических параметров *Rana esculenta*

<i>R. esculenta</i>				
Возраст	σ	V, %	$\mu \pm \varepsilon_{\alpha}$	n
сеголетки	x	x	x	1
1	x	x	x	1
2	x	x	x	x

3	x	x	x	1
4	0,04	1	0,05± 5,4	3
Больше 4	x	x	x	1

Для подтверждения определенных параметров на возможность выпадов использовалась формула для расчета артефактов:

Параметр (длина тела, см)	Значение артефакта ($T \geq T_{st}$ или $T < T_{st}$)
1,8	0,6 < 2,2
9,5	0,5 < 2,2

По количественному отношению наиболее распространенная возрастная группа бесхвостых амфибий – двухлетки у озерных лягушек и четырехлетки у съедобных. Исходя из этого, можно сделать вывод, что популяция зеленых лягушек имеет различные возрастные группы в зависимости от их таксономического вида. Так, у озерной лягушки преобладает репродуктивная группа особей, в то время как у съедобной лягушки возрастной класс приближен к стареющему, не имеющему возможности давать потомство. Это может свидетельствовать о том, что первый вид доминирует над вторым, постепенно вытесняя его из совместного ареала проживания.

Также возрастные различия в популяциях заметно усиливают их экологическую неоднородность, то есть обеспечивают особям неодинаковую сопротивляемость факторам среды.

Исходя из вышеуказанных данных, лягушка озерная – это вид, наиболее устойчивый к антропопрессии.

Для определения балла стабильности развития с помощью морфогенетических показателей следует использовать пятибалльную шкалу оценки стабильности, соотнося полученную среднюю величину с данными, указанными ниже: I балл < 0,50; II балл 0,50–0,54; III балл 0,55–0,59; IV балл 0,60–0,64; V > 0,64 [6, с. 43].

Средняя частота ассиметричного проявления на признак $0,04 \pm 2,04$. Для бесхвостых земноводных, обитающих в р. Сож на территории г. Гомеля, величина показателя стабильности развития < 0,64, следовательно, можно говорить о том, что батрахофауна Гомельского р-на р. Сож достаточно устойчива к факторам антропопрессии и биологическое сообщество зеленых лягушек не испытывает стресс в большой степени под влиянием антропогенного воздействия в урбоусловиях.

Заключение. Преобладающим таксономическим видом является лягушка озерная *Rana ridibunda*. Видовое богатство исследуемых популяций обладает низким разнообразием из-за высокой межвидовой конкуренции и испытывает стресс в небольшой степени. Морфометрические показатели исследуемых видов зеленых лягушек находятся в соответствии с литературными данными [4]. Установлено, что лягушка озерная – это вид, наиболее устойчивый к антропопрессии. Антропогенная нагрузка исследуемой территории находится в пределах нормы, и биологическое сообщество гибридного комплекса *Rana esculenta* имеет высокий показатель устойчивости к различным видам загрязнения. Биоиндикация местности на примере бесхвостых земноводных дает возможность первоначальной оценки исследуемых биотопов, по которым можно определить степень тяжести антропогенной нагрузки для дальнейших более глубоких исследований. Амфибии

– это хорошие природные индикаторы среды, важность которых состоит в простоте, этичности и легкости комплексной биоиндикации окружающей среды, не только водной, но и сухопутной ее части.

Список использованной литературы

1. Жуков, А. А. Биоиндикация качества природной среды : пособие / А. А. Жукова, С. Э. Мастицкий. – Минск : БГУ, 2014. – 112 с.
2. Biological Problems in Water Pollution: Third Seminar, 1962 (Hrbáček, 1962) – 424 с.
3. Скальская, И. А. Зооперифитон водоемов бассейнов Верхней Волги / И. А. Скальская. – Рыбинск, 2002. – 256 с.
4. Пикулик, М. М. Земноводные Беларуси / М. М. Пикулик. – Минск : Наука и техника, 1985. – 191 с.
5. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР : учебное пособие для биол. спец. пед. ин-тов / А. Г. Банников [и др.]. – М. : Просвещение, 1977. – 414 с.
6. Захаров, В. М. Методическое руководство для заповедников / В. М. Захаров [и др.]. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
7. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – 3-е изд., испр. – Минск : Вышэйш. школа, 1973. – 320 с.