

**АНАЛИЗ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ СЕРЕБРЯНОГО
КАРАСЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИХТИОЦЕНОЗА УЧАСТКА
Р. ВОЛК В Г. ДЕРАЖНЯ ХМЕЛЬНИЦКОЙ ОБЛАСТИ**

Ю.В. БОЙКО, Н. А. МАРЦЕНЮК

*Національний університет біоресурсів і природопольовання України
03041 Україна, Київ ул. Генерала Родимцева, 19, корпус, 1,
e-mail: nmarts@online.ua*

**ANALYSIS OF THE FLUCTUATING ASYMMETRY OF PRUSSIAN CARP
TO ESTIMATE THE STATUS OF ICHTHIOCENOSIS OF THE PLOT OF
RIVER VOVK IN THE CITY DERAZHNIA OF KHELNITSKY REGION**

Y. BOIKO, N. MARTSENIUK

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041 Ukraine, Kiev Heneral Rodimtseva Str.19 building 1, of.12,
e-mail: nmarts@online.ua*

Резюме. Дан анализ флуктуирующей асимметрии серебряного карася, с целью мониторинга экологического состояния реки Волк в г. Деражня Хмельницкой области.

Ключевые слова: асимметрия, билатеральные признаки, отклонения организма, серебряный карась, индикатор популяции рыб, оценка ихтиоценоза, качество воды.

Summary. An analysis of the fluctuating asymmetry of prussian carp in order to monitor the ecological status of the River Vovk in the city of Derazhnia, Khmelnytsky region.

Keywords: asymmetry, bilateral signs, body deviations, prussian carp, fish population indicator, assessment of ichthyocenosis, water quality.

Введение. В условиях урбанизации и всевозрастающего антропогенного воздействия актуальными становятся вопросы непрерывного мониторинга состояния окружающей среды.

Поверхностные воды занимают важное место среди природных ресурсов экологического и стратегического значения. Особое значение имеют реки, поскольку аккумулируют загрязнения всего водосбора.

Доказано, что биологические методы дают наиболее адекватную оценку водной среды. Наиболее простым и доступным экспресс методом оценки здоровья водоемов и окружающей среды признана оценка стабильности онтогенеза особей наиболее распространенных видов ихтиофауны,

позволяющая оценить весь комплекс антропогенных и естественных факторов. Таким образом, рыбы являются важным объектом биомониторинга [1-8].

Стабильность развития является одной из наиболее общих характеристик живых организмов и, при оптимальных условиях, поддерживается генетически. Нарушения гомеостаза в стрессовых условиях часто выражается в повышенной асимметрии билатеральных признаков. В данном аспекте выделяют флуктуирующую, направленную асимметрию и антисимметрию. Принято считать, что направленная асимметрия и антисимметрия имеют адаптивное значение и определяются наследственно. Флуктуирующая асимметрия (ФА) рассматривается как случайное ненаправленное проявление отклонений от билатеральной симметрии живых организмов, в норме обладающих двусторонней симметрией. В нормальных условиях уровень нарушений минимален, но возрастает под воздействием неблагоприятных условий окружающей среды [8, 10].

Флуктуирующая асимметрия считается индикатором стабильности развития природных популяций билатеральных организмов, позволяющим оценить состояние окружающей среды. Следует отметить, что гомеостаз можно оценивать только с помощью флуктуирующей асимметрии, причем особый интерес представляет изучение флуктуирующей асимметрии в естественных выборках, состоящих из особей разного возраста. Оценка флуктуирующей асимметрии считается также неспецифическим показателем условий развития и может использоваться для мониторинга условий существования как естественных, так и искусственных популяций. Доказано, что наиболее показательными признаками негативного воздействия является именно асимметрия меристических признаков. Тем не менее, в настоящее время нет общепринятых методологических и методических рекомендаций по оценке ФА как показателя «здоровья» окружающей среды. [1-8, 10].

Цель работы. Оценка экологического состояния поверхностных вод реки Волк на участке г. Деражня (Деражнянский р-н, Хмельницкая область, Украина).

Длина реки 71 км, площадь водосборного бассейна 915 км², уклон 0,8 м/км, пойма шириной преимущественно 300 м (максимально 1,2 км), русло шириной до 10 м и глубиной до 2 м, питание смешанное. Река зарегулирована 49 прудами комплексного назначения и используется для водоснабжения, орошения, мелиоративного водоотведения и рыбоводства. По всей долине реки размещены практически выработанные торфяники и населенные пункты. Долина реки, площадью 1270,0 га, имеет статус ИВА-территории (Important Bird Area – территория, которая имеет большое значение для птиц). В 2015 г. Местными органами управления были проведены мероприятия по очистке русел притоков реки. В реке встречается длиннопалый рак (*Astacus leptodactylus* Esch.), что свидетельствует об удовлетворительном качестве воды [13].

стабильности развития представителей ихтиофауны с использованием комбинации статистических показателей и методических рекомендаций по оценке ФА.

Материалы и методы исследования. В качестве биоиндикатора в работе выбран наиболее распространенный на исследуемом участке представитель ихтиофауны – евроазиатский или обыкновенный серебряный карась (*C. auratus gibelio Bloch* / *C. gibelio Bloch*). Разновозрастная выборка сформирована случайным отловом в количестве 31 экз., возрастом 1+ – 5+.

Обработку ихтиологического материала проводили по общепринятой методике И.Ф. Правдина [9]. Для каждой особи определяли: возраст, пол, число лучей в грудных (Р) и брюшных плавниках (V), число жаберных тычинок (Sp.br) и лепестков (F.br), число чешуек в боковой линии с отверстиями сейсмочувствительной системы (jjsk) и без (jj), количество рядов чешуек над боковой линией (Squ1) и под боковой линией (Squ2). Меристические признаки определялись на правой (R) и левой (L) сторонах. Статистическую обработку результатов измерений выполняли, комбинируя существующие стандартные методики оценки ФА с дополнительными статистическими оценками. [3, 4, 7, 8, 10-12, 14, 15].

Для оценки общего уровня асимметрии использовались количество признаков, проявляющих асимметрию (А), количество особей с асимметрией (m_a), популяционная средняя величина (М), популяционный коэффициент корреляции (r_p), дисперсия (D), коэффициент детерминации (r^2), уравнение парной линейной регрессии. Проверку распределения выполняли сравнением среднего, моды (M_o) и медианы (M_e), коэффициентом асимметрии (A_s), и средней квадратической ошибкой коэффициента эксцесса (S_{Ex}) (критерий согласия Пирсона не применим из-за малого объема выборки (< 50)). Достоверность отличий оценивалась с использованием парного t-критерия Стьюдента и точного критерия Фишера (анализ 4-х полей таблицы). Оценку ФА выполняли по частоте асимметричных проявлений на признак (ЧАПП), частоте асимметричных проявлений на особь (ЧАПО) и интегральным оценкам ФА выборки (рис. 1). Оценку отклонения стабильности развития рыб от условно нормального состояния проводили по стандартной шкале (табл. 1) [3, 4].

Таблица 1. – Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития, для рыб

Балл	ЧАПП или ЧАПО	Состояние среды
I	$< 0,30$	Условно нормальное
II	$0,30 - 0,34$	Незначительные отклонения
III	$0,35 - 0,39$	Средний уровень отклонения
IV	$0,40 - 0,44$	Значительные отклонения от нормы
V	$> 0,44$	Критический уровень

$$\text{Алг. 1 } FA_1 = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}$$

Рисунок. 1. – Интегральная оценка флуктуирующей асимметрии (ФА) [3, 4]

Исследование выполнено во время летнего периода 2019 г.

Результаты исследований и их обсуждение. В 2015 г. в г. Деражня были проведены очистительные мероприятия русел правого (Волчок) и южного (без названия) притоков р. Волк. В настоящее время в г. Деражня берега реки являются густонаселенными, русло зарегулировано в нескольких местах, образован один пруд, вода активно используется местным населением как место отдыха и в бытовых целях. Промышленности на прибрежных территориях нет. Берега покрыты зарослями осоки омской (*Carex elata subsp. omskiana* (Meinsh.) Jalas), пузырчатой (*Carex vesicaria*), островидной (*Carex acutiformis*) с фрагментами аира обыкновенного (*Acorus calamus*), тростника (*Phragmites australis*), манника большого (*Glyceria maxima*), рогоза широколистного (*Typha latifolia*). Водную растительность представляют многокорневик обыкновенный (*Spirodela polyrhiza*), ряски трехдольная (*Lemna trisulca*), водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae*), кувшинка белая (*Nymphaea alba*), кубышка желтая (*Nuphar lutea*).

Общая структура выборки и оценка ФА в разрезе пола и возраста особей приведена в таблицах 2-3.

Таблица 2. – Структура выборки оценка ФА

Пол	Возраст	К-во особей в группе	А		К-во особей с асимметрией	ЧАПП	Балл	Алг.1
			min	max				
m	2+	7	1	3	2	0,5	IV	0,091
m	3+	3	2	2	1	0,25	I	0,091
m	4+	1	1	1	1	0,125	I	0,091
m	2+ - 4+	11	4		4	0,5	II	0,159
Среднее значение					0,36±0,32	0,13±0,04		
f	2+	3	1	1	2	0,25	I	0,167
f	3+	1	1	1	1	0,125	I	0,167
f	4+	1	2	2	1	0,25	I	0,167
f	5+	1	0	0	0	0	I	0,000
f	2+ - 5+	6	3		4	0,375	I-II	0,278
Среднее значение					0,67±0,46	0,1±0,03		
j	1+	14	1	1	3	0,375	II	0,167
Среднее значение					0,21±0,12	0,3±0,01		
Общепопуляционная средняя					0,29±0,16	0,18±0,03	I	0,04

Основную массу выборки составляют самцы и сеголетки, при малом количестве самок. Критическое значение ЧАПП, в разрезе пола и возраста, наблюдается у самцов возрастом 2+, что вероятно объясняется малым количеством самок.

Представители группы 2+ также демонстрируют максимальное количество асимметричных признаков на одну особь, по сравнению с представителями старшего и младшего возраста. Количество особей, имеющих асимметрию только по одному из признаков (табл. 3), значительно не отличается ни в возрастных, ни в половых группах.

Таблица 3. – Общее число особей асимметричных по количеству признаков

A	1	2	3
m_a	8	2	1
%	25,81%	6,45%	3,23%

На данном этапе анализа состояние окружающей среды можно охарактеризовать как «условно нормальное» с тенденцией к ухудшению, что подтверждается оценкой по признакам (табл. 4).

Таблица 4. – Оценка ФА по признакам

Признак	m_a	M			r_p	D			r^2	Уравнение парной линейной регрессии	ЧАПО	Балл
		R	L	Об		R	L	Общ				
P	2	11,6±0,32	11,4±0,34	12	0,94	3,02	3,27	3,15	0,87	$y = 0.232 + 0.969 * x$	0,065	I
V	2	8,87±0,16	8,87±0,16	9	0,96	0,76	0,76	0,76	0,92	$y = 0.378 + 0.957 * x$	0,065	I
Sp. br.	1	37,68±0,26	37,74±0,27	38	0,97	1,96	2,13	2,04	0,94	$y = -0.335 + 1.011 * x$	0,032	I
f. br.	1	40,45±0,14	40,52±0,15	41	0,90	0,57	0,64	0,60	0,81	$y = 2.131 + 0.949 * x$	0,032	I
jjsk	5	28,77±0,79	28,58±0,69	29	0,97	18,05	13,99	16,50	0,95	$y = 3.940 + 0.856 * x$	0,161	I
jj	3	29,97±0,09	29,81±0,13	30	0,57	0,22	0,48	0,36	0,25	$y = 4.940 + 0.829 * x$	0,097	I
Squ1	1	6,03±0,03	6±0	6	0,99	0,03	0,00	0,02	0,99	$y = 6.000 - 0.000 * x$	0,032	I
Squ2	0	6±0	6±0	6	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	$y = 6.000 - 0.000 * x$	0,000	I

Анализ ФА по признакам особей в выборке (табл. 4–5) показывает, что наиболее массовый характер носит асимметрия числа чешуек в боковой линии

с отверстиями сейсмодатчиковой системы и без. При этом, для всех признаков характерна достаточно тесная связь между значениями показателей на правой и левой сторонах, большинство рассматриваемых признаков (5 из 8) характеризуются достаточно не большой степенью рассеивания.

Рассчитанная ЧАПО подтверждает «условно нормальное» состояние окружающей среды. Очевидно, что существенной можно считать асимметрию только для числа чешуек в боковой линии с отверстиями сейсмодатчиковой системы (jjsk) и без (jj). Показатели направленности асимметрии (A_s , S_{As} , E_x , S_{Ex}), а также незначительные отличия между средним, модой и медианой, позволяют сделать предположение о незначительном отклонении выборки от нормального распределения (табл. 5).

Таблица 5. –Оценка ФА по признакам

Признак	m	M	M_o	M_e	A_s	S_{As}	E_x	S_{Ex}	парный t-критерий Стьюдента, р отличий	Точный критерий Фишера	Алг.1
P	2	12	10	12	1,33	0,603	1,69	0,71	p = 0,17 q = 0,83 не значимы	0,25 p > 0,05 не значимы	0,032
V	2	9	9	9	-0,01	0,612	7,37	0,66	p = 0,00 q = 1,00 не значимы	0,25 p > 0,05 не значимы	0,032
Sp. br.	1	38	38	38	-1,11	0,612	-0,20	0,50	p = 0,33 q = 0,67 не значимы	1,00 p > 0,05 не значимы	0,032
f. br.	1	41	40	40	1,17	0,586	-0,25	0,35	p = 0,33 q = 0,63 не значимы	1,00 p > 0,05 не значимы	0,032
jjsk	5	29	30	30	-4,89	0,603	23,22	0,71	p = 0,33 q = 0,67 не значимы	0,03 p < 0,05 значимы	0,032
jj	3	30	30	30	-1,96	0,612	5,31	0,66	p = 0,13 q = 0,87 не значимы	0,12 p > 0,05 не значимы	0,032
Squ1	1	6	6	6	5,22	0,000	26,03	0,00	p = 0,33 q = 0,67 не значимы	1,00 p > 0,05 не значимы	0,032
Squ2	0	6	6	6	0,00	0,000	-3,00	0,00	p = 0,00 q = 1,00 не значимы	1,00 p > 0,05 не значимы	0,000

Оценка вероятности отличий по парному критерию Стьюдента и точному критерию Фишера демонстрирует отсутствие значимых отличий по всем признакам, кроме числа чешуек в боковой линии с отверстиями сейсмочувствительной системы (jjsk), для которого оценки значимости асимметрии расходятся.

Выводы

В работе зарегистрированы проявления асимметрии по 7-ми из 8 признаков, притом, что основную массу выборки составляют особи, асимметричные исключительно по одному из признаков.

Оценка коэффициента вариаций (<30%) по всем меристическим признакам дает основание считать выборку однородной, а полученные результаты вполне репрезентативными.

Несоответствие полученных оценок экологического статуса Деражнянского участка р. Волк гидроэкологическим характеристикам, а также разнообразие и различия в результатах при использовании разных методов и алгоритмов оценки, демонстрируют необходимость разработки единой методики и унифицированных критериев оценки ФА.

При использовании разнополовых выборок следует учитывать не только количество особей каждого пола, а также зависимость различий в средней величине асимметричных признаков.

По нашему мнению, для оценки качества вод вполне целесообразно использовать карася серебряного.

Список использованных источников

1. Мисюра, А. Н. Некоторые аспекты биохимического тестирования животных для контроля состояния окружающей среды / А. Н. Мисюра, А. В. Жуков // Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность : первая междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 4–8 дек. 1995 г.) : в 3 т. / Днепропетр. ун-т. – Днепропетровск, 1995. – Т. 2. – С. 43–44.

2. Біоіндикація стану гідроекосистем за морфологічними та цитогенетичними характеристиками гомеостазу риб / М. О. Клименко, О. О. Бедункова ; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. – Рівне : НУВГП, 2017. – 301 с.

3. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития : метод. рук. для заповедников / В. М. Захаров [и др.] ; Центр экол. политики России, Центр здоровья среды. – М. : Центр экол. политики России, 2000. – 65 с.

4. Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход) / В. М. Захаров ; отв. ред. А. В. Яблоков. – М. : Наука, 1987. – 216 с.
5. Флуктуирующая асимметрия и случайная фенотипическая изменчивость в популяционных исследованиях: история, достижения, проблемы, перспективы / Д. Л. Лайус [и др.] // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. Биология. – 2009. – № 3. – С. 98–110.
6. Лукьяненко, В. К. Ихтиологический мониторинг – важнейший инструмент оценки качества водной среды / В. И. Лукьяненко, С. А. Черкашин // Методы ихтиотоксикологических исследований : тез. докл. Первого Всесоюз. симп. по методам ихтиотоксикол. исслед., Ленинград, окт. 1987 / отв. ред. В. И. Лукьяненко. – Л., 1987. – С. 91–93.
7. Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry / L. Van Valen // Evolution. – 1962. – Vol. 16, № 2. – P. 125–142.
8. Зорина, А. А. Методы статистического анализа флуктуирующей асимметрии / А. А. Зорина // Принципы экологии. – 2012. – № 3 (3). – С. 24–47.
9. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И. Ф. Правдин ; под. ред. П. А. Дрягина, В. В. Покровского. – 4-е изд, перераб. и доп. – М. : Пищевая пром-сть, 1966. – 376 с.
10. Вивчення флуктуючої асиметрії річкового окуня (*Perca fluviatilis* L., 1758) / К. П. Виноградова [та ін.] // Біологія та валеологія : зб. наук. пр. / Харк. нац. пед. ун-т. – Харків, 2012. – Вип. 14. – С. 9–17.
11. Осадча, Ю. В. Математичні методи в біології : навч. посібник / Ю. В. Осадча. – Київ : [б. в.], 2017. – 601 с.
12. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика : [учеб. пособие] / П. Ф. Рокицкий. – Изд. 3-е, испр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 320 с.
13. Стан навколишнього природного середовища Хмельницької області у 2015 році [Электронный ресурс] / Хмельниц. обл. держ. адмін., Департамент екології та природ. ресурсів. – Хмельницький 2016. – Режим доступа: https://menr.gov.ua/files/docs/ХМЕЛЬНИЦЬКА_ОБЛАСТЬ.pdf.
14. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Біомоніторинг навколишнього середовища» / Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування ; упоряд. О. О. Бєдункова – Рівне : НУВГП, 2017. – 32 с.
15. Методологические и методические аспекты мониторинга здоровья среды. Здоровье среды Керженского заповедника / Д. Б. Гелашвили [и др.] // Природные условия Керженского заповедника и некоторые аспекты охраны природы Нижегородской области / под ред. Г. А. Ануфриева. – Н. Новгород, 2001. – С. 287–324. – (Труды Государственного природного заповедника «Керженский» ; т. 1).