

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ РЫБ-ИНДИКАТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЁМОВ ГОРОДА СУРГУТА И СУРГУТСКОГО РАЙОНА)

В работе представлены результаты оценки стабильности развития фоновых видов рыб (водоёмы г. Сургута и Сургутского района) по интегральным показателям флуктуирующей асимметрии морфологических признаков. Проведён анализ видового разнообразия.

Ключевые слова: информационные индексы биоразнообразия, стабильность развития организма, флуктуирующая асимметрия, антропогенное воздействие, рыбы-индикаторы.

A.L. Pavlenko, V.P. Starikov, A.V. Matkovskiy

COMPLEX ASSESSMENT OF THE WATER OBJECT CONDITION WITH THE HELP OF FISH-INDICATORS (ON THE EXAMPLE OF RESERVOIRS IN SURGUT CITY AND SURGUT DISTRICT)

The results of the development stability assessment of the fish common species (reservoirs of Surgut and Surgut district) on the integral indicators of the morphological characteristics fluctuating asymmetry are presented in the article. The analysis of the species diversity is conducted.

Key words: information indexes of biodiversity, organism development stability, fluctuating asymmetry, anthropogenic impact, fish-indicators.

Введение. В настоящее время обширные территории Российской Федерации подвергаются интенсивной трансформации под действием антропогенных факторов, что представляет значительную угрозу для биоразнообразия. Деструктивные воздействия на природную среду особенно остро проявляются в местах усиленного недропользования. Ещё больше усугубляется положение, если такие территории расположены в северных широтах, где биоразнообразие невелико.

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра – располагается в особых условиях, где влияние климатических факторов усиливается ускоряющейся урбанизацией и возрастанием техногенных воздействий на естественные экосистемы, что требует усиленного контроля за состоянием качества среды.

Биотестирование водной среды с помощью рыб как тест-объектов позволяет вести относительно простую и доступную систему контроля за состоянием экосистем водоёмов.

Загрязнение водной среды обусловлено различными факторами: сброс сточных вод предприятиями, которые содержат тяжёлые металлы; привнос поллютантов с транзитным стоком. Характерными загрязняющими веществами на территории ХМАО – Югры (2014 г.) являются железо, марганец, медь и органические соединения (ХПК) [1].

Химическое загрязнение может существенно влиять на экосистемы, особенно на водные, вызывая изменения в функциях работы организмов [2].

Известно, что деструктивные воздействия на ихтиофауну водоёмов приводят к изменению основных показателей биоразнообразия: видового богатства, состава доминирующего комплекса и выравненности видов [3]. Реакцией на такие воздействия могут служить изменения показателей стабильности развития организма. На некоторых территориях, подверженных негативным воздействиям, биоразнообразие сохраняется на стабильном уровне, однако состояние организма может значительно изменяться [4]. Отсюда возникает необходимость в комплексном биоиндикационном мониторинге той или иной территории.

Цель исследования. Провести оценку качества водоёмов с помощью фоновых модельных видов рыб.

Задачи: оценка биоразнообразия ихтиосообществ и стабильности развития организма рыб.

Объекты и методы. В качестве объектов экологического мониторинга выбрано 3 вида рыб семейства Карповые (Cyprinidae) (всего 280 экз.): плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), язь *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758) и лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758). Представителей семейства Cyprinidae удобно использовать в качестве тест-объектов, поскольку они распространены повсеместно и являются наиболее массовыми видами в озёрно-речных системах, в том числе на территории ХМАО – Югры.

Отлов рыб проводили в летний период 2013–2014 гг. на трёх различных водоёмах, как естественных (р. Чёрная, старица р. Большой Юган), так и искусственных – водохранилище ГРЭС. Речка Чёрная является правым притоком реки Оби, р. Б. Юган и его притоки являются левобережьем р. Оби, водохранилище ГРЭС сооружено на участке р. Чёрной. Экологический статус выбранных водоёмов оценивали на нескольких створах. Место отлова: створ №1 – р. Чёрная (в черте г. Сургута) – 100 м от восточной объездной дороги; створ №2 – водохранилище ГРЭС (г. Сургут, Сургутский рыбхоз); створ №3 – р. Большой Юган (контроль, 50 км от г. Сургута). Рыб отлавливали одностенными ставными сетями с различным шагом ячеи от 20 до 60 мм, а также активными орудиями ловли – поплавочными удочками. Для отлова молоди использовали мальковый невод из дели с ячеей не более 5 мм. Обработку ихтиологического материала проводили по стандартным общепринятым методикам [5, 6]. Русские и латинские названия видов рыб приведены по Ю.С. Решетникову с соавторами [7].

Для оценки фоновое состояние биологических систем использовали наиболее информативные индексы биоразнообразия: информационный индекс Шеннона (H') [8, 9], индекс доминирования Бергера-Паркера (d), индекс выравненности экологических сообществ Пиелу (E), индекс доминирования Симпсона (D), вероятность межвидовых встреч (PIE), индекс полидоминантности (S_λ) [3, 10].

Диагностику нарастающего негативного воздействия на морфологические характеристики рыб оценивали с использованием методов флуктуирующей асимметрии (далее – ФА) [11].

Для оценки уровней ФА рыб применяли систему меристических признаков у одновозрастных рыб (трёх- и четырёхлетки). Объём выборки составил 20 (3+) и 10 (2+) особей [12, 13].

Стабильность развития оценивали по четырём билатеральным счётным признакам: число чешуй в боковой линии (1), число лучей в грудных (2) и брюшных плавниках (3), число глоточных зубов (4).

Результаты и их обсуждение. По данным Департамента экологии ХМАО – Югры, состояние качества поверхностных вод водотоков территории за 2008–2011 гг. следующее: уровень загрязнённости р. Оби на территории г. Сургута с «грязного» (2008 г.) изменился до «очень загрязнённого» (2010 г.). Поверхностные воды р. Оби на участке 22 км ниже г. Сургута в 2012 г. характеризовались как «очень загрязнённые» [14]. В последнее время наметилась устойчивая тенденция стабилизации уровня загрязнённости воды. Загрязняющими веществами на этом участке являются: трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), азот нитритный, соединения железа, меди, марганца. На участке г. Сургута критического уровня достигли соединения железа.

Оценка разнообразия рыб в трёх водоёмах с помощью индексов биоразнообразия отражена в таблице 1.

Таблица 1

Значение показателей уровня разнообразия ихтиосообществ водоёмов г. Сургута

Водоём	Значения индексов разнообразия					
	$H'/VarH'$	D	PIE	E	$d/1/d$	S_λ
р. Чёрная	1,98/1,56	0,17	0,83	1,91	0,32/3,06	5,86
Водоохранилище ГРЭС	1,71/2,4	0,26	0,74	1,80	0,51/1,95	3,91
Старица р. Б. Юган	1,44/1,74	0,17	0,83	1,52	0,22/4,46	6,05

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, которые отличаются от других; $VarH'$ – дисперсия индекса Шеннона; D – индекс доминирования Симпсона; d – индекс доминирования Бергера-Паркера; E – индекс выравненности экологических сообществ Пиелу; PIE – вероятность межвидовых встреч; S_λ – индекс полидоминантности.

Доминирующий комплекс исследуемых водоёмов следующий: плотва – доминант, язь и лещ – субдоминанты. По количеству видов наиболее полно представлена р. Чёрная (11 видов), что связано с сообщением этой реки с Обью, в которой разнообразие и обилие рыб выше. Рыбы совершают постоянные миграции из Оби в р. Чёрную для нереста, нагула, развития (ежегодно нами наблюдался массовый выход предличинок в последней декаде апреля – первой декаде мая). Разнообразие рыб старицы р. Б. Юган представлено 9 видами.

Значения индекса Шеннона (H') варьировали в пределах от 1,44 до 1,98, что указывает на незначительные различия видового разнообразия в изучаемых системах. Различия по видовому разнообразию между изученными сообществами рыб (Чёрная/ГРЭС, Чёрная/Б.Юган, ГРЭС/Б. Юган) не выявлены (табл. 2).

Таблица 2

Значение t-критерия Стьюдента между выборочными совокупностями значений индекса Шеннона для исследуемых водоёмов

Водоём	р. Чёрная $t (df)$	Водохранилище ГРЭС $t (df)$	Старица р. Б. Юган $t (df)$
р. Чёрная	❖	0,29 (18)	0,12 (20)
Водохранилище ГРЭС	0,29 (18)	❖	0,33 (17)
Старица р. Б. Юган	0,12 (20)	0,33 (17)	❖

Примечание: (df) – число степеней свободы, при $\alpha=0,05$ (по Ивантеру, 2010).

Показатель «вероятность межвидовых встреч» варьировал от 0,60 до 0,83 (в норме от 0 до 1) и характеризовался как средний. Значения индекса выравненности Пиелу (E) показывают, что особи в сообществах рыб распределены относительно равномерно (1,39–1,91). Высокая величина индекса полидоминантности в р. Чёрной (5,86) и в старице р. Б. Юган (6,05) указывает на преобладание одних видов над другими при относительной выравненности всех видов. Индекс Симпсона выше в водохранилище ГРЭС, что говорит о большем вкладе отдельного вида в структуру данного сообщества.

Значения индекса доминирования Бергера-Паркера (d) (в р. Чёрной – 3,06; старице р. Б. Юган – 4,46) подтверждают, что происходит увеличение разнообразия и снижение степени доминирования одного вида в структуре данного сообщества. Хотя по обилию в уловах абсолютными доминантами во всех выбранных водоёмах являются – плотва, язь, речной окунь; субдоминантами – серебряный и золотой, или обыкновенный караси, лещ, обыкновенная щука, елец; рецедентами – обыкновенный ёрш, обыкновенный судак и налим.

ФА билатеральных признаков семейства Cyprinidae имеет незначительные ненаправленные отклонения от билатеральной симметрии (Захаров, 1987) и проявляется либо на правой, либо на левой стороне (табл. 3).

С помощью показателей ЧАПП (частота асимметричного проявления на признак) и ЧАПО (частота асимметрии отдельного признака на особь) оценили отклонения стабильности развития рыб от условно нормального состояния по пятибалльной шкале (табл. 4).

Таблица 3

Билатеральные меристические признаки рыб семейства Cyprinidae

Вид	р. Чёрная				Водохранилище ГРЭС				Старица р. Б. Юган			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>R. rutilus</i> (3+)	41-42 (42)	13-17 (14)	8-10 (9)	5-6 (5)	39-42 (41)	11-15 (13)	8-10 (9)	5-6 (5)	42-48 (45)	11-15 (13)	8-10 (9)	5-6 (5)
<i>R. rutilus</i> (2+)	43-54 (43)	13-14 (13)	8-9 (9)	5-6 (5)	42 (42)	13-14 (14)	8-9 (9)	5 (5)	42-46 (44)	17-19 (18)	7-10 (9)	5-6 (5)
<i>A. brama</i> (3+)	47-60 (52)	8-18 (15)	7-12 (8)	5-6 (5)	45-60 (52)	14-17 (16)	8-12 (9)	5-6 (5)				
<i>A. brama</i> (2+)	45-55 (52)	8-15 (15)	7-10 (9)	5 (5)	45-52 (50)	15-16 (15)	7-10 (9)	5 (5)				
<i>L. idus</i> (3+)	45-59 (52)	13-18 (17)	8-9 (9)	5 (5)					52-68 (56)	11-18 (16)	8-10 (9)	5 (5)
<i>L. idus</i> (2+)	52-58 (54)	11-17 (15)	8-10 (9)	5 (5)					52-58 (54)	11-17 (15)	8-10 (9)	5 (5)

Примечание: 1 – число чешуй в боковой линии; 2 – число лучей в грудных плавниках; 3 – число лучей в брюшных плавниках; 4 – число глоточных зубов (среднее значение); в скобках – среднее значение.

Таблица 4

Величина показателя стабильности развития ЧАПП (при $p < 0,05$) в выборках разновозрастных групп водоёмов г. Сургута и Сургутского района

Вид	Водоём	Показатель	Балл
1	2	3	4
<i>R. rutilus</i> (3+) (n = 20)	р. Черная	0,42±0,3	IV
	Водохранилище ГРЭС	0,3±0,2	II
	Старица р. Б. Юган	0,37±0,2	III
<i>R. rutilus</i> (2+) (n = 10)	р. Черная	0,56±0,2	V
	Водохранилище ГРЭС	0,21±0,1	I
	Старица р. Б. Юган	0,11±0,1	I

Окончание табл. 4

1	2	3	4
A. brama (3+) (n = 20)	р. Черная	0,35±0,2	III
	Водохранилище ГРЭС	0,42±0,1	IV
A. brama (2+) (n = 10)	р. Черная	0,17±0,1	I
	Водохранилище ГРЭС	0,1±0,1	I
L. idus (3+) (n = 20)	р. Черная	0,02±0,04	I
	Старица р. Б. Юган	0,26±0,2	I
L. idus (2+) (n = 10)	р. Черная	0,10±0,09	I
	Старица р. Б. Юган	0,06±0,06	I

Примечание: R – правая сторона; L – левая сторона; ЧАПП – отношение числа признаков, проявляющих асимметрию, к общему числу учтённых признаков.

В ранее проведённых биоиндикационных исследованиях старицы р. Б. Юган [15] показано, что состояние среды условно нормальное (t-критерий Стьюдента 0,22).

В р. Чёрной отклонения в стабильности развития обнаружены у *R. rutilus* (0,42±0,3; 0,56±0,2) по шкале IV–V, что характеризовало водоём как «очень грязный». У *A. brama* этот показатель несколько ниже (0,35±0,22), и это указывало на то, что данный водоём «грязный». Показатель ЧАПП *R. rutilus* (3+) и *R. rutilus* (2+) старицы р. Б. Юган различались: 0,37±0,2 и 0,11±0,12. Значения ЧАПП четырёхлеток (3+) рыб р. Чёрной (t(38)=0,13, при p<0,05), водохранилища ГРЭС (t(38)=0,54, при p<0,05), старицы р. Б. Юган (t(38)=0,39, при p<0,05) статистически незначимы. Следовательно, влияние внешних факторов на изменчивость меристических признаков приведёнными выше данными (табл. 4) не доказано. ЧАПП трёхлеток (2+) р. Чёрной (t(18)=1,25, при p<0,05), водохранилища ГРЭС (t(18)=0,78, при p<0,05), старицы р. Б. Юган (t(18)=0,45, при p<0,05) также статистически незначимы.

Асимметрия отмечена у всех изученных видов, кроме плотвы (t_{Мд}=2,7) и язя (t_{Мд}=2,71), старицы р. Б. Юган (табл. 6), однако статистически значимых различий между показателями асимметрии в разных водоемах не выявлено (табл. 5). Отсутствие различий указывало в первую очередь на одинаковые средовые воздействия, выраженные, в широком смысле, климатическими условиями.

Таблица 5

Значение t-критерия Стьюдента в различии асимметрии рыб между разными водоёмами

Водоёмы	Вид	Возраст	T	df
Чёрная / Б.Юган	Плотва	3+	0,869	38
Чёрная / ГРЭС	Плотва	3+	1,814	38
ГРЭС / Б.Юган	Плотва	3+	0,983	38
Чёрная / ГРЭС	Лещ	3+	1,55	38
ГРЭС / Б.Юган	Плотва	2+	2,14	18
Чёрная / Б.Юган	Язь	2+	1,04	18

Асимметрия у каждого вида, кроме плотвы (t_{Мд} = 2,7) и язя (t_{Мд} = 2,71), старицы р. Б.Юган (табл. 6) достоверна. Это говорит о том, что хотя асимметрия и присутствовала у данных видов, но она сходная во всех исследуемых водоёмах. Присутствие асимметрии обнаружено во всех изученных водоёмах, но показатели её не отличались.

Величина интегрального показателя стабильности развития (частота асимметричного проявления по четырём меристическим признакам) в выборках *R. rutilus*, *A. brama*, *L. idus*

Водоём	Вид	Возраст	M _d	σ	m _d	t _{Md}
р. Чёрная	Плотва	3+	1,7	1,22	0,27	6,24
р. Чёрная	Плотва	1+	2,25	1,07	0,24	9,4
Старица Б.Юган	Плотва	3+	1,5	0,83	0,18	8,11
Водохранилище ГРЭС	Плотва	3+	1,2	1,15	0,26	4,66
р. Чёрная	Лещ	3+	1,4	0,88	0,19	7,09
Старица Б.Юган	Язь	3+	1,05	0,89	0,2	5,29
Водохранилище ГРЭС	Лещ	3+	1,7	0,47	0,11	16,17
р. Чёрная	Лещ	2+	1,7	1,16	0,37	4,64
Водохранилище ГРЭС	Плотва	2+	2,1	1,37	0,43	4,85
Старица Б.Юган	Плотва	2+	1,1	1,29	0,41	2,7
Водохранилище ГРЭС	Лещ	2+	1,1	1,1	0,35	3,16
Старица Б.Юган	Язь	2+	0,6	0,7	0,22	2,71
р. Чёрная	Язь	2+	1	0,94	0,3	3,35
р. Чёрная	Язь	3+	0,55	0,83	0,18	2,97

Значения асимметрии *R. rutilus* (2+) и *L. idus* (2+) старицы р. Б. Юган статистически незначимы (t_{Md} 2,7 и 2,71).

Таким образом, асимметрия у рыб, скорее всего, развивалась под действием сходных средовых факторов.

Выводы. Использование 2 методов для оценки качества среды водных экосистем с помощью рыб позволяет выявить сходные тенденции в отсутствии отличий между показателями биоразнообразия и асимметрии в разных водоемах. Незначительные различия значений индексов видового разнообразия обусловлены связью с другими водными системами, способствующими обогащению видовой структуры сообществ. В целом изученные сообщества характеризуются как выровненные, но самые оптимальные показатели характерны для менее нарушенного водоёма – старицы р. Б. Юган.

Выявленная асимметрия (особенно для *R. rutilus* и *A. brama*) указывает на присутствие лимитирующих факторов в исследуемых водоемах, но, очевидно, в небольших дозах. Отсутствие отличий асимметрии у рыб разных водоёмов определяется сходным комплексом воздействий в данных системах.

Литература

1. Ханты-Мансийский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГ БУ «Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». – URL: <http://www.ugrameteo.ru/him.php> (дата обращения: 11.05.2015).
2. Some considerations about bioindicators in environmental monitoring / R. Gadzala-Kopciuch, B. Berecka, J. Bartoszewicz [et al.] // Polish Journal of Environmental Studies. – 2004. – Vol. 13(5). – P. 453–462.
3. Терещенко В.Г. Изменение видового разнообразия сообществ гидробионтов как динамический процесс // Вестник Днепровского университета. Сер. Биология. Экология. – 2009. – Вып. 17. – Т. 1. – С. 217–225.
4. Захаров В.М. Оценка состояния биоразнообразия и здоровья среды // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 50–59.
5. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – М.: Пищ. пром-сть, 1966. – 376 с.

6. Зиновьев Е.А., Мандрица С.А. Методы исследования пресноводных рыб: учеб. пособие – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2003. – 115 с.
7. Рыбы в заповедниках России: в 2 т. / Ю. С. Решетников [и др.]; под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – Т. 1. – 627 с.
8. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
9. Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А. Биологическое разнообразие и методы его оценки // География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Изд-во науч. метод. центра, 2002. – С. 13–142.
10. Залепухин В.В. Теоретические аспекты биоразнообразия: учеб. пособие. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2003. – 192 с.
11. Захаров В.М., Кларк Д.М. Биотест: интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов. – М.: Моск. отд-ние Междунар. фонда «Биотест», 1993. – 68 с.
12. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов [и др.]. – М.: Центр экол. политики России, 2000. – 68 с.
13. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях. – М.: Центр экол. политики России, 2001. – 78 с.
14. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2012 году / Департамент экологии Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: ООО «Печатное дело», 2013. – 178 с.
15. Павленко А.Л. Распределение рыб в окрестностях деревни Юган // Наука и инновации XXI / Т. II. Биология, экология, медицина, физическая культура, психология и педагогика: мат-лы I Всерос. конф. молодых учёных. – Сургут: Дефис, 2012. – С. 35–38.



УДК 582.948.2:581.174/176

Е.В. Бурковская, Ю.А. Хроленко

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА
МЕРТЕНЗИИ ПРИМОРСКОЙ *MERTENSIA MARITIMA* (BORAGINACEAE)
ИЗ РАЗНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЛОКАЛЬНОСТЕЙ**

В статье представлены результаты изучения характеристик фотосинтетического и устьичного аппаратов листьев растений мертензии приморской из континентальной и островной популяций. Показано, что растения имеют как общие черты строения листа, так и специфические, связанные с географической приуроченностью.

Ключевые слова: галофиты, мертензия приморская (*Mertensia maritima*), Приморский край, о. Сахалин, фотосинтетический аппарат, мезоструктура, устьица.

E.V. Burkovskaya, Yu.A. Khrolenko

**ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS STRUCTURE
OF *MERTENSIA MARITIMA* (BORAGINACEAE) FROM DIFFERENT GEOGRAPHICAL LOCATIONS**

*The article presents the research results on the leaf photosynthetic and stomatal apparatus of *Mertensia maritima* plants from the mainland and the island populations. It is shown that plants have both common features of the leaf structure and the specific features associated with the geographical confinement.*

Key words: halophytes, *Mertensia maritima*, Primorsky region, Sakhalin Island, photosynthetic apparatus, mesostructure, stomata.