УДК 597.5:574.52+504.064

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ СЕЙСМОСЕНСОРНЫХ ПРИЗНАКОВ ГОЛОВЫ У ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* (L.) (CYPRINIDAE, PISCES) И РЕЧНОГО ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* L. (PERCIDAE, PISCES) ИЗ МАЛЫХ ПРУДОВ С РАЗНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ

Б. Г. Котегов

Удмуртский государственный университет
Россия, 426034, Ижевск, Университетская, 1
E-mail: rutilus@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.11.2018 г., после доработки 14.12.2018 г., принята 25.01.2019 г.

Котегов Б. Г. Флуктуирующая асимметрия сейсмосенсорных признаков головы у плотвы *Rutilus rutilus* (L.) (Cyprinidae, Pisces) и речного окуня *Perca fluviatilis* L. (Percidae, Pisces) из малых прудов с разной минерализацией // Поволжский экологический журнал. 2019. № 3. С. 311 – 321. DOI: https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-311-321

У особей плотвы и речного окуня, отловленных в 15 малых антропогенных водоемах центрально-восточной части Удмуртии, произведен подсчет числа выходных отверстий сейсмосенсорных каналов в некоторых парных покровных костях головы. На основе полученных данных рассчитаны три показателя флуктуирующей асимметрии и проведен статистический анализ связей этих показателей со средними за несколько лет величинами минерализации водоемов для разных периодов вегетационного сезона и с коэффициентами их вариации. У плотвы средняя доля асимметричных вариантов изученных признаков была значимо связана только с сезонной вариабельностью величин минерализации, тогда как у окуня отмечены тесные и статистически значимые связи данного показателя со средними значениями минерализации в отдельные периоды вегетационного сезона. С этими же значениями аналогично был связан другой показатель плотвы – дисперсия флуктуирующей асимметрии суммарных величин парных счетных признаков сейсмосенсорной системы головы. Обсуждены возможные механизмы влияния фактора минерализации на степень асимметричного проявления изученных признаков с учетом особенностей их постепенного формирования в раннем онтогенезе двух видов рыб. Как следствие, рассмотрены некоторые ограничения адекватного использования этих показателей в биоиндикации антропогенного загрязнения пресных водоемов растворенными неорганическими веществами.

Ключевые слова: пруды, минерализация воды, рыбы, сейсмосенсорная система, флуктуирующая асимметрия, биоиндикация.

DOI: https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-311-321

ВВЕДЕНИЕ

Показатели флуктуирующей асимметрии парных счетных признаков используются в популяционно-биологических исследованиях рыб уже несколько десятилетий (Рубан, Захаров, 1984; Лайус, 1991). В последнее время все чаще рассматриваются возможности их применения в прикладных мониторинговых исследовани-

© Котегов Б. Г., 2019

ях, сопряженных с оценкой качества водной среды (Романов, Ковалев, 2004; Пескова, Костылева, 2011). Такие возможности во многом обусловлены протеканием ранних стадий развития и морфогенеза билатеральных признаков у многих видов рыб в непосредственном контакте с внешней средой, физико-химические характеристики которой могут существенно изменяться при антропогенном воздействии, в частности при загрязнении воды. При этом следует учитывать, что ответные реакции формирующихся организмов рыб на многие внешние стрессоры как естественного, так и антропогенного происхождения, как правило, комплексные и неспецифичные в своем проявлении и могут развиваться по типу стресса. Одно из проявлений стресса на ранних стадиях развития – это дисбаланс морфогенетических процессов, который может приводить к различным необратимым последствиям, в том числе далеко не всегда летальным или сублетальным, например, таким как ненаправленные и незначительные по амплитуде отклонения от билатеральной симметрии в сформированных парных метамерных признаках. Сохранение подобных ответных реакций в течение всей жизни организмов рыб делает их весьма ценными для оценки качества водной среды, однако их неспецифичность затрудняет адекватную интерпретацию оценочных показателей флуктуирующей асимметрии в биоиндикационном аспекте и поиск реальных внешних причин, способствующих их изменению (Бознак, 2013; Lajus et al., 2014).

Ранее нами было установлено (Котегов, 2017, 2018 *а*), что у плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) и речного окуня *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758, обитающих в ряде небольших прудов и в старых заводских водохранилищах Удмуртии, показатели флуктуирующей асимметрии числа выходных отверстий в сейсмосенсорных каналах парных покровных костей головы возрастают с увеличением среднесезонных значений минерализации этих водоемов. В свою очередь, на увеличение суммарного содержания растворенных солей в малых пресных водоемах региона сильнее всего влияют техногенные факторы нефтедобычи и урбанизации, и в меньшей степени – природные особенности их водосборов (Котегов, Лоханина, 2018). В то же время хорошо известно, что величины минерализации поверхностных пресных вод могут закономерно изменяться в зависимости от времени года и фазы гидрологического режима (Никаноров, 1989). А формирование признаков сейсмосенсорной системы головы в раннем онтогенезе рыб идет поэтапно со значительными отличиями по срокам и скорости протекания отдельных этапов у двух массовых видов – плотвы и речного окуня (Дислер, 1960). Как следствие, остается не выясненным, что в большей степени может влиять на рассогласование процессов морфогенеза рассматриваемых билатеральных признаков, приводящее в конечном итоге к формированию их асимметричных вариантов – нестабильность во времени величин минерализации воды (их сезонная динамика) или абсолютные значения этого гидрохимического фактора в определенные критические периоды раннего развития.

Цель настоящей статьи – выяснить связи показателей флуктуирующей асимметрии билатеральных счетных признаков сейсмосенсорной системы головы у плотвы и речного окуня с величинами минерализации воды в разные периоды вегетационного сезона и с вариабельностью этих величин в местах их раннего разви-

тия, а также определить возможности использования данных показателей в биоиндикации антропогенного загрязнения пресных водоемов растворенными неорганическими веществами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на 15 антропогенных водоемах площадью от 1 до 60 га, расположенных в центральных и восточных районах Удмуртской Республики и относящихся к бассейнам правобережных притоков Средней и Нижней Камы. Все водоемы находятся в суббореальной ландшафтной зоне в одинаковых орографических и климатических условиях со сходным температурным режимом. Большая часть исследованных водных объектов представлена плотинными прудами, образованными на малых реках с различными хозяйственными целями, два являются обводненными карьерами, выработанными в результате добычи песка, и один – дамбовый водоем, подпитываемый преимущественно атмосферными осадками и бессточный в межень.

Минерализация воды измерялась кондуктометром-мультимером «PHT-028» (Kelilong, Китай) в полевых условиях на мелководьях этих водоемов в местах нереста и концентрации молоди массовых фитофильных видов рыб в течение вегетационных сезонов 2011 – 2018 гг. с периодичностью один раз за две недели в мае и далее летом – осенью – в среднем один раз за 1.5 месяца. Отловы рыб произведены в 2014 – 2018 гг. в основном ставными экранами с ячеей 12 – 22 мм, а также жаберной сетью с ячеей 18 мм, в некоторые выборки добавлен ихтиологический материал, собранный в результате лова крючковыми снастями. Всего поймано 858 экз. плотвы длиной 64 – 183 см (до заднего края чешуйного покрова) и возрастом 2^+ – 9^+ лет, а также 380 экз. окуня длиной 65 – 194 см и возрастом 2^+ – 9^+ лет.

В качестве билатеральных счетных признаков для оценки показателей флуктуирующей асимметрии выбраны парные значения числа боковых выходных отверстий сейсмосенсорных каналов, расположенных в некоторых парных покровных костях с левой и правой сторон головы у особей этих видов рыб. Остеологический материал готовился посредством вываривания костей и освобождения их от мягких тканей, после чего производился подсчет отверстий в окостеневших сейсмосенсорных каналах под бинокулярным микроскопом. У плотвы подсчитывалось число боковых отверстий в парных надглазничных каналах на лобных CSO_{fr} и теменных костях CSO_{par}, надвисочных каналах на теменных костях CST_{par}, предкрышечно-нижнечелюстных каналах на предкрышечных CPM_{pre} и зубных костях CPM_{den} (в последних – включая терминальные отверстия). У окуня число боковых отверстий в надглазничных каналах, включая выходные отверстия надлобной (межглазничной) комиссуры, подсчитывалось только на лобных костях, а вместо надвисочных каналов изучались подглазничные с подсчетом числа их боковых и терминальных отверстий в слезных костях (CIO_{lac}).

На основе совокупности индивидуальных парных значений этих меристических признаков для каждой выборки плотвы и окуня были рассчитаны три усредненных показателя: средняя частота асимметричного проявления на признак, или средняя доля асимметричных вариантов признака *FA* (%), средняя дисперсия

флуктуирующей асимметрии значений этих признаков *SA* по формуле В. М. Захарова (1987) и аналогично дисперсия флуктуирующей асимметрии суммарных значений изученных признаков SA_{Σ}, рассчитанных отдельно для левой и правой сторон головы каждой особи. Далее проведен ранговый корреляционный анализ по Спирмену (Лакин, 1990) для оценки связей этих показателей со средним содержанием растворенных солей в воде исследованных водоемов в разные периоды вегетационного сезона и с коэффициентами вариации величин минерализации воды, рассчитанными по всем исходным значениям за несколько лет (*CV*) и по средним значениям для разных периодов с начала мая до середины осени ($CV_{ср}$). Такой же анализ использован для выяснения связей между асимметричными проявлениями отдельных сейсмосенсорных признаков в разных выборках рыб.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Измерение величин общей минерализации воды в малых антропогенных водоемах, расположенных в центрально-восточной части Удмуртии, в течение нескольких вегетационных сезонов выявило сходный для большинства плотинных прудов сезонный тренд постепенного увеличения рассматриваемого гидрохимического параметра с конца весны до начала осени (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты вариации и средние величины минерализации малых прудов в разные периоды вегетационного сезона

Пруд		Средние величины минерализации, мг/л					*CV*, %	$CV_{ср}$, %
№	Название (тип)	Май–1*	Май–2**	Лето–1*	Лето–2**	Осень–1*		
1	Нагорный (плотинный)	113±5	140±9	171±3	194±8	196±6	22.4	21.9
2	«Шайба» (дамбовый)	113±5	115±5	122±6	105±3	113±7	10.9	6.2
3	Березовский (плотинный)	247±14	343±8	375±13	446±34	504±19	27.6	21.6
4	Волковский (карьер)	193±5	200±0	200±0	190±10	200±0	4.0	2.6
5	Чемошурский (плотинный)	319±6	297±13	225±23	236±26	270±26	20.2	17.1
6	Карашурский (плотинный)	150±10	190±6	183±12	210±10	225±5	14.1	13.0
7	Черновской (плотинный)	280±0	310±0	250±6	290±40	310±15	12.3	8.7
8	Старокенский (плотинный)	197±3	190±10	175±14	183±27	210±6	13.9	4.9
9	Селычкинский (карьер)	100±0	100±0	100±4	97±3	100±0	5.2	1.7
10	Вожойский (плотинный)	110±20	145±6	143±7	162±9	188±5	17.6	14.5
11	Завьяловский (плотинный)	234±8	223±23	237±11	200±20	225±15	11.7	7.5
12	Нырошурский (плотинный)	380±0	475±25	490±26	603±80	655±115	24.3	17.5
13	Ягульский (плотинный)	120±14	160±8	175±3	163±6	200±4	18.4	14.6
14	Кечшурский (плотинный)	203±19	245±5	233±7	240±7	265±5	10.7	7.9
15	Пироговский (плотинный)	128±12	145±15	170±7	170±12	187±3	19.7	12.8

Примечание. * – 1-я – первая половина месяца (сезона), ** – 2-я – вторая половина.

Минимальные значения минерализации чаще всего отмечались в прудах в первой половине мая, что связано с остаточным влиянием весеннего половодья в виде разбавления поверхностных вод талым стоком с водосборов. Максимальные значения, как правило, регистрировались в водоемах в начале осени до наступления периода затяжных дождей на фоне отмирания гидрофитов и разложения накопленной за лето продукции автохтонного органического вещества. Подобный

тренд сезонной динамики минерализации воды не был отмечен лишь в обводненных карьерах и дамбовом пруду с небольшим удельным водосбором и слабым вкладом поверхностного стока в приходную часть водного баланса. Также он имел заметные искажения в некоторых плотинных прудах, находящихся в нижней части каскадных прудовых комплексов и на урбанизированной территории с сильно нарушенной поверхностью водосбора. В летне-осенние периоды разных лет наибольшие величины минерализации наблюдались в четырех плотинных прудах, выполняющих функции отстойников поверхностного стока с территорий эксплуатируемых месторождений нефти (№ 3, 7, 12, 14), а в мае также в прудах № 5 и 11, водосборы которых большей частью представлены селитебными зонами с развитой транспортной инфраструктурой. Только в этих прудах регулярно регистрировались значения минерализации воды, превышающие 200 мг/л (см. табл. 1), достигая в Березовском пруду 400 – 500 мг/л, а в Нырошурском – 600 – 800 мг/л.

Доминирующим по численности видом ихтиофауны в большинстве исследованных водоемов была плотва, за исключением одного карьера, где она несколько уступала речному окуню по показателям обилия. Окунь был достаточно многочисленным только в девяти водоемах. Показатели флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков сейсмосенсорной системы головы, рассчитанные для двух видов рыб, заметно различались, особенно дисперсии *SA* и SA_{Σ}. У плотвы их значения были в среднем в 2 – 4 раза выше, чем у окуня (табл. 2).

Таблица 2

Показатели флуктуирующей асимметрии парных сейсмосенсорных признаков плотвы и речного окуня из исследованных водоемов

№ пруда	Плотва				Окунь			
	FA, %	*SA*	SA_{Σ}	*n*, экз.	*FA*, %	*SA*	SA_{Σ}	*n*, экз.
1	48.8	0.656	2.612	57	17.6	0.173	0.695	37
2	46.0	0.625	2.634	53	11.3	0.104	0.492	31
3	47.5	0.634	3.163	69	19.4	0.216	0.703	62
4	45.0	0.705	3.410	64	18.9	0.221	0.899	49
5	44.8	0.634	3.840	104	29.4	0.358	1.113	34
6	47.0	0.605	2.745	54	22.9	0.246	1.128	48
7	51.6	0.725	3.331	50	19.3	0.196	0.935	26
8	40.6	0.550	2.258	63	13.3	0.135	0.529	47
9	45.3	0.718	3.098	34	15.8	0.173	0.680	46
10	50.8	0.908	3.359	59	–	–	–	–
11	41.4	0.781	4.207	60	–	–	–	–
12	46.1	0.650	4.629	23	–	–	–	–
13	47.9	0.667	2.732	58	–	–	–	–
14	45.4	0.963	5.288	56	–	–	–	–
15	44.1	0.616	2.770	54	–	–	–	–

Примечание. Нумерацию прудов см. табл. 1.

Статистически значимая положительная связь с нестабильностью во времени гидрохимических условий, обусловленной сезонной динамикой величин минерализации воды в исследованных водоемах ($CV_{ср}$), отмечена только для показателя *FA* у плотвы (табл. 3). В остальных случаях показатели флуктуирующей асиммет-

рии плотвы и окуня не имели статистически значимой связи с величинами $CV_{ср}$ и тем более CV, учитывающими помимо особенностей сезонной динамики еще и межгодовые флуктуации суммарного содержания растворенных неорганических веществ в местах раннего развития этих видов рыб. В то же время показатель *FA* речного окуня оказался положительно и значимо связан со средними величинами минерализации воды, зарегистрированными в исследованных водоемах в разные периоды вегетационного сезона. Начиная с конца весны, теснота этой связи нарастала ко второй половине лета. Для последнего периода выявлена также статистически значимая связь показателя SA_{Σ} этого вида рыб с минерализацией воды (см. табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты ранговой корреляции показателей флуктуирующей асимметрии парных сейсмосенсорных признаков плотвы и речного окуня со средними величинами минерализации в разные периоды вегетационного сезона и их коэффициентами вариации

Вид рыб	Показатель	Средние величины минерализации					*CV*	$CV_{ср}$
		Май–1	Май–2	Лето–1	Лето–2	Осень-1		
Плотва	*FA*	-0.154	0.021	0.055	0.150	0.120	0.300	0.557*
	SA	-0.050	0.090	0.136	0.027	0.025	-0.384	-0.132
	SA_{Σ}	0.557*	0.633*	0.602*	0.521*	0.521*	-0.107	-0.021
Речной окунь	*FA*	0.650*	0.686*	0.733*	0.800*	0.733*	0.483	0.567
	SA	0.552	0.588	0.636	0.619	0.569	0.251	0.343
	SA_{Σ}	0.550	0.577	0.633	0.683*	0.617	0.250	0.400

* Значения коэффициентов корреляции, соответствующие уровню $p < 0.05$.

Известно, что у речного окуня возникновение зачатков первичных невромастов сейсмосенсорной системы головы происходит преимущественно до выклева личинок из икры еще на зародышевых этапах его раннего онтогенеза (Дислер, 1960), сроки которых для климатических условий центральной Удмуртии соответствуют в среднем первой половине мая. В большинстве исследованных прудов в это время регистрировались минимальные значения минерализации, с которыми все три показателя флуктуирующей асимметрии окуня имели наименее тесную связь. В какой-то степени последний факт мог отражать и высокую гидрохимическую автономность протекания эмбриональных этапов его онтогенеза в части предельного ограничения ионного обмена между водной средой и зародышем, развивающимся в оболочках икры до момента вылупления (Виноградов, 2000).

По данным Н. Н. Дислера (1960), дифференцировка невромастов, входящих в состав метамерных участков будущих сейсмосенсорных каналов, заканчивается у личинок этого вида рыб при достижении ими линейных размеров 14 мм и более, что по времени чаще всего совпадает с началом лета. В свою очередь, каналы сейсмосенсорной системы головы полностью окостеневают при достижении мальками окуня длины 35 – 37 мм. В оптимальных температурных условиях лабораторного эксперимента это может произойти уже в начале июля (Котегов, 2018 *б*), а в водоемах суббореальной зоны такие размеры у большинства мальков отмечаются несколько позднее – в среднем во второй половине июля (Дгебуадзе и др.,

1993). Именно с этими сроками наиболее тесно были связаны показатели флуктуирующей асимметрии изученных парных признаков у особей данного вида рыб, развивавшихся в гидрохимических условиях малых антропогенных водоемов Удмуртии (см. табл. 3). Как следствие, можно предположить, что механизмы влияния повышенной минерализации пресной воды на частоту появления асимметричных вариаций в сейсмосенсорной системе головы речного окуня связаны не только с десинхронизацией морфогенеза билатеральных метамерных структур и досрочным прерыванием процесса дифференциации невромастов на одной из сторон у его личинок, но и с последующим нарушением остеогенеза сейсмосенсорных каналов у его ранних мальков.

У плотвы два показателя флуктуирующей асимметрии, рассчитанные по парным значениям отдельных признаков сейсмосенсорной системы головы (*FA* и *SA*), статистически значимой связи со средними значениями минерализации воды в разные периоды вегетационного сезона не имели. Однако показатель SA_{Σ}, оцененный по отклонениям парных суммарных величин этих признаков, предварительно вычисленных для двух сторон головы, положительно и значимо был связан с общим содержанием растворенных в воде солей, как в мае, так и в последующие летне-осенние сроки (см. табл. 3). Наиболее тесная связь рассматриваемого показателя плотвы с величинами минерализации воды отмечена нами для второй половины мая, что соответствует средним срокам выклева ее личинок (предличинок) из икры в исследованных водоемах. С этого времени у них начинается дифференцировка невромастов будущих сейсмосенсорных каналов, которая происходит постепенно и растягивается до конца личиночного периода раннего онтогенеза, длящегося в целом более месяца (Дислер, 1960). Далее на первом мальковом этапе у плотвы инициируется процесс окостенения самих каналов в покровных костях головы, в условиях Удмуртии это совпадает по срокам с серединой лета. Завершается остеогенез сейсмосенсорных каналов головы у мальков этого вида рыб в начале осени, по нашим экспериментальным данным – при достижении ими длины до конца чешуйного покрова 30 – 35 мм.

Мы считаем, что более растянутые сроки формирования сейсмосенсорной системы головы в раннем онтогенезе плотвы, по сравнению с таковыми у речного окуня, способствовали увеличению продолжительности влияния факторов внешней среды, дестабилизирующих ее морфогенез. Это, в конечном итоге, привело к более высоким абсолютным показателям флуктуирующей асимметрии изученных парных счетных признаков у первого вида. Однако в то же время постепенность и последовательность дифференцировки отдельных групп невромастов у личинок плотвы, по-видимому, дала возможность для проявления компенсаторных морфогенетических эффектов, связанных с различиями в направленности асимметричных «сдвигов» на отдельных участках сейсмосенсорной системы, формирующихся в разные сроки в разных местах головы. Подтверждением этому отчасти могут служить результаты корреляционного анализа, проведенного нами отдельно для каждой из выборок плотвы с целью выяснения связей между индивидуальными величинами асимметричных отклонений пяти изученных сейсмосенсорных признаков (с учетом знака этих отклонений).

Больше всего отрицательных связей между величинами асимметричных отклонений зарегистрировано у признаков CSO_{fr} и CSO_{par} – в 12 из 15 выборок, в том числе в четырех из них значения коэффициентов корреляции достигали статистически значимого уровня ($p < 0.05$). Так как эти два признака представляют собой смежные участки парных надглазничных каналов в лобных и теменных костях соответственно, то скорее всего разнонаправленность их асимметричных «сдвигов» во многих индивидуальных случаях стала следствием неодинакового распределения одного и того же числа дифференцированных невромастов по двум участкам рассматриваемых каналов слева и справа. Кроме того, в 11 из 15 выборок плотвы выявлена отрицательная связь между асимметричными отклонениями признаков CPM_{pre} и CST_{par}, в том числе в двух выборках статистически значимая. Признак CPM_{den} был отрицательно и статистически значимо связан с признаком CSO_{fr} в одной из выборок и с признаком CST_{par} – еще в одной.

Мы полагаем, что именно вследствие внутренней компенсации дисбаланса развития разных участков сейсмосенсорной системы головы в раннем онтогенезе плотвы ее показатель *FA*, рассчитанный как средняя частота асимметричных проявлений пяти парных счетных признаков этой системы, не смог адекватно отразить особенности стрессового влияния гидрохимического фактора среды в отдельные периоды вегетационного сезона. В частности, по сравнению с SA_{Σ}, он давал завышенные оценки последствий такого влияния в случаях регистрации одинаковых по значению, но противоположных по направлению асимметричных отклонений числа отверстий в сейсмосенсорных каналах, расположенных в разных парных покровных костях головы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рост показателей флуктуирующей асимметрии билатеральных счетных признаков сейсмосенсорной системы головы у двух массовых экологически пластичных видов пресноводной ихтиофауны, обитающих в небольших водоемах, сходных по температурному и гидрологическому режиму, оказался тесно связан с увеличением суммарного содержания растворенных солей в местах их раннего развития. Так как величины общей минерализации поверхностных пресных вод в современных условиях все сильнее зависят от антропогенных воздействий на водоемы и их водосборы, то подобные показатели рыб могут найти свое применение в биоиндикации качества водной среды и в комплексной оценке состояния пресноводных экосистем. Однако следует учесть, что такой простой для расчета и поэтому широко используемый показатель, как средняя частота асимметричного проявления на признак (*FA*), при его вычислении по комплексу билатеральных метамерных структур, являющихся составными частями одной системы органов и формирующихся в раннем онтогенезе постепенно в определенной последовательности, не всегда пригоден для использования в целях биоиндикации изменений гидрохимических условий обитания рыб. По нашему мнению, в таких случаях более полезным и адекватным может быть использование дисперсии флуктуирующей асимметрии SA_{Σ}, вычисляемой по отклонениям суммарных значений нескольких однородных парных признаков и являющейся интегральным

отражением дисбаланса количественного развития всей рассматриваемой системы органов. У плотвы этот показатель в большей степени связан с абсолютными средними значениями минерализации воды, которые регистрируются в репродуктивных биотопах в периоды ее раннего онтогенеза, нежели с их динамикой на протяжении всего вегетационного сезона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бознак Э. И. Флуктуирующая асимметрия парных плавников гольяна *Phoxinus phoxinus* L. как показатель состояния некоторых водотоков Республики Коми : попытка анализа // Вестн. Сыкт. ун-та, Сер. 2. Биология. Геология. Химия. Экология. 2013. № 3. С. 6 – 17.

Виноградов Г. А. Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных. М. : Наука, 2000. 216 с.

Дгебуадзе Ю. Ю., *Скоморохов М. О.*, *Шайкин А. В.* Питание молоди окуня в связи с размерной дифференциацией поколений // Биология речного окуня. М. : Наука, 1993. С. 94 – 111.

Дислер Н. Н. Органы чувств системы боковой линии и их значение в поведении рыб. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1960. 310 с.

Захаров В. М. Асимметрия животных. М. : Наука, 1987. 216 с.

Котегов Б. Г. Изменчивость количественных признаков сейсмосенсорной системы головы речного окуня *Perca fluviatilis* L. в условиях антропогенной минерализации прудов и средних водохранилищ // Экология. 2017. № 1. С. 35 – 44.

Котегов Б. Г. Изменчивость счетных признаков сейсмосенсорной системы головы у плотвы *Rutilus rutilus* (L.) в гидрохимических условиях водоемов Удмуртии // Экология. 2018 *а*. № 3. С. 194 – 204.

Котегов Б. Г. Изменчивость счетных признаков сейсмосенсорной системы головы у разных видов пресноводных рыб и ее связь с гидрохимическими факторами // Морской биол. журн. 2018 *б*. Т. 3, № 3. С. 22 – 34. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.3.03

Котегов Б. Г., *Лоханина С. Ю.* Влияние факторов водосбора на содержание ионов кальция и магния в воде малых прудов Удмуртии // Вода : химия и экология. 2018. № 7 – 9. С. 24 – 31.

Лайус Д. Л. Анализ флуктуирующей асимметрии как метод популяционных исследований беломорской сельди // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1991. Т. 235. С. 113 – 121.

Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.

Никаноров А. М. Гидрохимия. М. : Гидрометеоиздат, 1989. 352 с.

Пескова Т. Ю., *Костылева Л. А.* Флуктуирующая асимметрия фоновых видов рыб нижнего течения р. Дон // Проблемы региональной экологии. 2011. № 5. С. 90 – 94.

Романов Н. С., *Ковалев М. Ю.* Флуктуирующая асимметрия серебряного карася *Carassius auratus gibelio* (Cyprinidae) из некоторых водоемов Дальнего Востока // Вопр. ихтиологии. 2004. Т. 44, № 1. С. 109 – 117.

Рубан Г. И., *Захаров В.М.* Сравнение быстро- и медленнорастущих форм плотвы по стабильности индивидуального развития // Докл. АН СССР. 1984. Т. 277, № 6. С. 1510 – 1512.

Lajus D., *Arshavsky D.*, *Yurtseva A.* Radioactive contamination causes only minor effect on fluctuating asymmetry of two fish species from the Chernobyl area // J. of Applied Ichthyology. 2014. Vol. 30, iss. 4. P. 740 – 745.

Б. Г. Котегов

Fluctuating Asymmetry of the Traits of the Seismosensory System of the Roach *Rutilus rutilus* (L.) (Cyprinidae, Pisces) and European Perch *Perca fluviatilis* L. (Percidae, Pisces) in Small Ponds with Various Water Mineralization

Boris G. Kotegov, *https://orcid.org/0000-0003-0749-2899*; *rutilus@yandex.ru*

Udmurt State University
1 Universitetskaya St., *Izhevsk 426034*, *Russia*

Received 20 November 2018, revised 14 December 2018, accepted 25 January 2019

Kotegov B. G. Fluctuating Asymmetry of the Traits of the Seismosensory System of the Roach *Rutilus rutilus* (L.) (Cyprinidae, Pisces) and European Perch *Perca fluviatilis* L. (Percidae, Pisces) in Small Ponds with Various Water Mineralization. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 3, pp. 311–321 (in Russian). DOI: https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-311-321

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 License

The number of pores in the seismosensory canals of some paired cover head bones was counted in specimens of the roach and European perch caught in 15 small ponds in the Central-Eastern part of the Udmurt Republic. On the basis of the data obtained, three indices of fluctuating asymmetry were calculated and a statistical analysis was carried out of relationships between these indices and the average (over several years) values of water mineralization of these waterbodies in different periods of the growing season and with the coefficients of their variation. In the roach the average fraction of asymmetric variants of the studied traits was significantly related with the seasonal variability of water mineralization values only, while the perch showed close and statistically significant relationships of this index with the average values of water mineralization in some periods of the growing season. Another index of the roach was similarly associated with these values, namely, the variance of the fluctuating asymmetry of the total values of the paired counting features of the head seismosensory system. Possible mechanisms of the mineralization factor influence on the degree of asymmetric manifestation of the studied traits are discussed considering peculiarities of their gradual formation in the early ontogenesis of the two fish species. As a result, some limitations of the adequate use of these indices in bioindication of anthropogenic pollution of fresh water with dissolved inorganic substances are considered.

Keywords: ponds, water mineralization, fish, seismosensory system, fluctuating asymmetry, bioindication.

DOI: https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-311-321

REFERENCES

Boznak E. I. Fluctuating asymmetry of paired fins of minnow *Phoxinus phoxinus* L. as an indicator of the state of some watercourses of the Komi Republic: an attempt analysis. *Vestnik Syktyvkarskogo Universiteta*, *Ser. 2. Biologiya*, *Geologiya*, *Khimiya*, *Ekologiya*, 2013, no. 3, pp. 6–17 (in Russian).

Vinogradov G. A. *Protsessy ionnoi regulatsii u presnovodnykh ryb i bespozvonochnykh* [The Processes of Ion Regulation in Freshwater Fish and Invertebrates]. Moscow, Nauka Publ., 2000, 216 p. (in Russian).

Dgebuadze Yu. Yu., Skomorokhov M. O., Shaykin A. V. The food of young perch due to the size differences of the generations. In: M. I. Shatunovsky, ed. *Biology of European Perch*. Moscow, Nauka Publ., 1993, pp. 94–111 (in Russian).

Disler N. N. *Lateral Line Sense Organs and Their Importance in Fish Behavior*. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1971. 328 p.

Zakharov V. M. *Asimmetriya zhivotnykh* [The Asymmetry of Animals]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 216 p. (in Russian).

Kotegov B. G. Variability of quantitative features of the head seismosensory system in european perch *Perca fluviatilis* L. under conditions of anthropogenic mineralization of ponds and medium-size reservoirs. *Russian J. of Ecology*, 2017, vol. 48, no. 1, pp. 51–59. DOI: 10.1134/S106741361701009X

Kotegov B. G. Variation in meristic characters of head seismosensory system in roach *Rutilus rutilus* (L.) under hydrochemical conditions of water bodies of Udmurtia. *Russian J. of Ecology*, 2018 *a*, vol. 49, no. 3, pp. 232–240. DOI: 10.1134/S1067413618030049

Kotegov B. G. Variability of the countable features of head seismosensory system in different species of freshwater fishes and their dependence on hydrochemical factors. *Marine Biological J.*, 2018 *b*, vol. 3, no. 3, pp. 22–34 (in Russian). DOI: 10.21072/mbj.2018.03.3.03

Kotegov B. G., Lokhanina S. Yu. The influence of catchment factors on the content of calcium and magnesium ions in the water of small ponds in the Udmurt Republic. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2018, no. 7–9, pp. 24–31 (in Russian).

Lajus D. L. Analysis of fluctuating asymmetry as a method of population studies of white sea herring. *Proceedings of the Zoological Institute AN SSSR*, 1991, vol. 235, pp. 113–121 (in Russian).

Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990, 352 p. (in Russian).

Nikanorov A. M. *Gidrokhimiya* [Hydrochemistry]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 352 p. (in Russian).

Peskova T. Yu., Kostyleva L. A. Fluctuating asymmetry of the background species of fishes in the lower reaches of the river Don. *Problemy regional'noi ekologii*, 2011, no. 5, pp. 90–94 (in Russian).

Romanov N. S., Kovalev M. Yu. Fluctuating Asymmetry in Goldfish *Carassius auratus gibelio* (Cyprinidae) from Some Water Bodies of the Far East. *J. of Ichthyology*, 2004, vol. 44, no. 1, pp. 101–108.

Ruban G. I., Zakharov V. M. Comparison of fast- and slow-growing forms of roach on the stability of individual development. *Doklady AN SSSR*, 1984, vol. 277, no. 6, pp. 1510–1512 (in Russian).

Lajus D., Arshavsky D., Yurtseva A. Radioactive contamination causes only minor effect on fluctuating asymmetry of two fish species from the Chernobyl area. *J. of Applied Ichthyology*, 2014, vol. 30, iss. 4, pp. 740–745.