

**Водные биоресурсы и среда обитания**  
 2023, том 6, номер 3, с. 87–95  
<http://journal.azniirkh.ru>, [www.azniirkh.ru](http://www.azniirkh.ru)  
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



**Aquatic Bioresources & Environment**  
 2023, vol. 6, no. 3, pp. 87–95  
<http://journal.azniirkh.ru>, [www.azniirkh.ru](http://www.azniirkh.ru)  
 ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

УДК 597.551.2+504.054:57.044

[https://doi.org/10.47921/2619-1024\\_2023\\_6\\_3\\_87](https://doi.org/10.47921/2619-1024_2023_6_3_87)

EDN: RUAIVE



## ПОКАЗАТЕЛИ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ СЕЙСМОСЕНСОРНЫХ КАНАЛОВ ГОЛОВЫ У ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* (L.) ИЗ СРЕДНИХ РЕК УДМУРТИИ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**Б. Г. Котегов**

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт  
 биологической промышленности» («ВНИТИБП»), Лосино-Петровский 141142, Россия  
 E-mail: rutilus@yandex.ru*

**Аннотация.** В средних реках Удмуртской Республики на участках, расположенных вблизи контрольных створов государственного экологического мониторинга, произведены отловы рыб. У плотвы *Rutilus rutilus* (L.), преобладающей в уловах, оценены показатели флуктуирующей асимметрии (ФА) числа отверстий сейсмодатчиков каналов, проходящих в покровных костях головы, посредством остеологического анализа. Эти показатели у особей рыб, отловленных на разных участках рек, сопоставлены с величинами удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) рассматриваемых участков и средними водными концентрациями ряда загрязняющих веществ в конце весны и начале лета за несколько лет, предшествовавших годам их отлова. Отмечена статистически значимая тенденция увеличения дисперсии ФА ( $S_{as}^2$ ), рассчитанной на основе суммарного числа отверстий в сейсмодатчиковых каналах головы у плотвы, с повышением УКИЗВ и содержания некоторых анионов (хлоридов, нитритов, нитратов) в речной воде в местах ее обитания. Максимальные значения  $S_{as}^2$  зарегистрированы у плотвы, отловленной в р. Иж ниже г. Ижевска в условиях сильного загрязнения рассматриваемого речного участка городскими коммунально-бытовыми сточными водами, минимальные — в р. Кильмезь, наименее загрязненной антропогенными стоками. Значимых связей показателей ФА этого вида рыб с содержанием в воде средних рек Удмуртии тяжелых металлов или других загрязняющих веществ не выявлено. Полученные результаты рассмотрены как последствия снижения стабильности морфогенеза у организмов рыб, развивавшихся в неоптимальных (стрессовых) гидрохимических условиях.

**Ключевые слова:** плотва, *Rutilus rutilus*, флуктуирующая асимметрия, сейсмодатчиковая система, средние реки, Удмуртская Республика, химическое загрязнение

## FLUCTUATING ASYMMETRY OF THE HEAD SEISMOSENSORY CANALS IN ROACH *RUTILUS RUTILUS* (L.) FROM THE MIDDLE RIVERS OF UDMURTIA WITH DIFFERENT LEVELS OF CHEMICAL POLLUTION

B. G. Kotegov

FSBSI "Russian Federal Research and Technological Institute of Biological Industry" ("VNITIBP"), Losino-Petrovsky 141142, Russia  
E-mail: rutilus@yandex.ru

**Abstract.** In the middle rivers of the Udmurt Republic, fish were caught near the sampling stations for the state environmental monitoring. The fluctuating asymmetry (FA) of the pore number of the seimosensory canals in the dermal head bones of the roach, *Rutilus rutilus* (L.), which prevailed in the catches, was estimated using osteological analysis. Its indicators in the roach individuals caught in the different river sections have been collated with the values of specific combinatorial water pollution index (SCWPI) of the examined sections and with the average concentrations of some pollutants in water in late spring and early summer for the several years preceding the years of catching. A statistically significant trend for the increase in the FA variance ( $S_{as}^2$ ), calculated on the basis of the total number of pores in the head seimosensory system of the roach, with the increase in the SCWPI and the content of some anions (chlorides, nitrites, nitrates) in the river water of its habitats has been identified. The highest  $S_{as}^2$  was observed in the roach individuals caught in the Izh River downstream from Izhevsk in the environment, severely polluted by municipal wastewater, while the lowest one was recorded in the Kilmez River, the least polluted by wastewaters. No significant relationships between the FA indicators in this fish species and the content of heavy metals or other pollutants in the middle rivers of Udmurtia have been revealed. These results are considered to be attributable to a decrease in stability of morphogenesis in the fish organisms that developed under non-optimal (stressful) hydrochemical conditions.

**Keywords:** roach, *Rutilus rutilus*, fluctuating asymmetry, seimosensory system, middle rivers, Udmurt Republic, chemical pollution

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие урбанизированных территорий во всем мире сопровождается увеличением уровня химического загрязнения водоемов и водотоков. Живые организмы, обитающие в загрязненных условиях водной среды, вырабатывают различные ответные реакции на дополнительное химическое воздействие, которые могут иметь адаптивный характер или являться следствием негативных изменений их состояния. У рыб наиболее уязвимы к загрязнению воды особи, находящиеся на ранних стадиях развития, у которых еще не в полной мере функционируют морфофизиологические и поведенческие механизмы защиты от внешних химических стрессоров [1, 2]. Как следствие, в неоптимальных условиях загрязненной среды морфогенез у личинок и мальков рыб может в той или иной степени нарушаться, что приводит к их повышенной смертности, тогда как у выживших особей, обитающих в условиях техногенного загрязнения, могут наблюдаться различные отклонения сублетального характера в строении организма [3, 4].

В качестве одного из морфогенетических эффектов, отражающих воздействие на организмы различных стрессовых факторов, в т. ч. и химического загрязнения среды, часто рассматривают флуктуирующую асимметрию (ФА) — стохастические, ненаправленные и нелетальные отклонения от билатеральной или иной симметрии во внешнем строении органов тела [5, 6]. Рядом авторов показано, что в популяциях рыб, обитающих в водоемах, подверженных антропогенному воздействию, частота встречаемости особей с подобными отклонениями в количественном проявлении различных билатеральных метамерных органов скелета может увеличиваться [7–9]. Ранее нами отмечено, что у особей плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) и речного окуня *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758, обитающих в прудах Удмуртской Республики (УР), с повышением суммарного содержания в их воде растворенных неорганических веществ увеличиваются показатели ФА числа отверстий в сеймосенсорных каналах головы [10, 11].

Цель данной работы — изучить показатели флукутирующей асимметрии дискретных признаков сейсмоденсорной системы головы у особей плотвы, обитающих в средних реках УР, и оценить связи изученных показателей с уровнем химического загрязнения данных водотоков.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ихтиологический материал собран в летние периоды 2018–2019 гг. на средних реках УР, являющихся правобережными притоками разных порядков р. Камы. Отловы рыб произведены на плесовых участках рек вблизи контрольных створов государственного экологического мониторинга, расположенных выше и ниже г. Ижевска (р. Иж, ств. 1 и 2), г. Воткинска (р. Сива, ств. 3 и 4), пос. Игра (р. Лоза, ств. 5 и 6), пос. Балезино (р. Чепца, ств. 7а и 7б), а также возле с. Кильмезь (р. Кильмезь, ств. 8) на границе с Кировской областью (рис. 1). В качестве орудий лова использованы ставные жаберные экраны размером  $0,8 \times 1,0$  м с ячейей от 13 до 27 мм. У особей плотвы, преобладающих по численности в уловах, в камеральных условиях измерена стандартная длина тела (SL) и определен возраст по жаберным крышкам и клейтрумам. Также у каждого экземпляра подсчитано число отверстий в сейсмоденсорных каналах, расположенных в лобных, теменных, предкрышечных и зубных костях с левой и правой сторон головы, в соответствии с общепринятыми методами [12, 13]. Все кости просмотрены под бинокулярным микроскопом МБС-9 после их термической обработки, освобождения от мягких тканей и высушивания. Для каждой выборки плотвы оценена средняя частота встречаемости асимметричных вариантов билатеральных счетных признаков ( $F_{as}$ , %) у ее особей. Кроме того, для каждой особи вычислены суммарные значения числа отверстий по всем изученным костям головы отдельно слева и справа и по этим значениям рассчитаны величины выборочной дисперсии ФА ( $S_{as}^2$ ) по формуле В.М. Захарова [14].

Количественные данные по физико-химическим показателям качества воды в створах государственного экологического мониторинга, расположенных на средних реках Удмуртии, взяты из архивов Управления Минприроды УР за 2010–2014 гг. Используются данные по содержанию в речной воде разных створов взвешенных веществ,

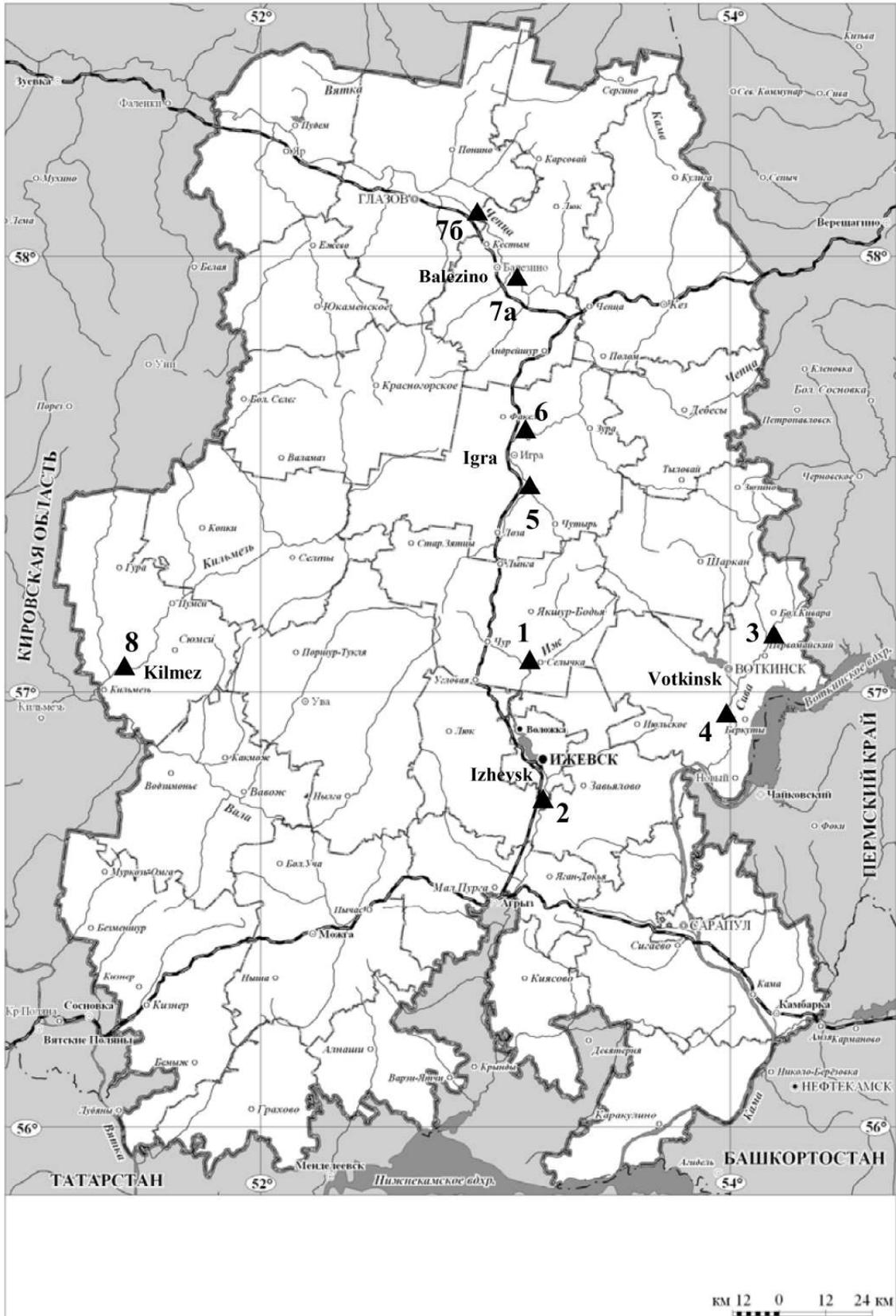
сухого остатка, растворенного кислорода, нефтепродуктов, аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, хлоридов, сульфатов, кальция, алюминия, общего железа, марганца, меди, свинца и никеля, а также по ХПК, БПК<sub>5</sub> и рН. На основании этих данных рассчитаны удельные комбинаторные индексы загрязнения воды (УКИЗВ) по стандартной методике [15]: для всех сезонов (кварталов) пятилетнего периода наблюдений и отдельно для второго квартала — мая–июня — в основные сроки протекания раннего онтогенеза у плотвы в исследованных водотоках.

Расчеты и статистическая обработка количественных данных произведены с использованием пакетов компьютерных программ MS Excel и STATISTICA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследований на контрольных участках средних рек Удмуртии отловлено 519 особей рыб, относящихся к 12 видам региональной ихтиофауны. В уловах преобладала плотва (относительная численность 65 % и выше), доля речного окуня не превышала 25 %, реже встречались другие виды рыб: уклея *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758), густера *Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758), голавль *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758), елец *Leuciscus leuciscus* (Linnaeus, 1758), ерш *Gymnocephalus cernua* (Linnaeus, 1758), лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), чехонь *Pelecus cultratus* (Linnaeus, 1758), жерех *Leuciscus aspius* (Linnaeus, 1758), язь *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758) и щука *Esox lucius* Linnaeus, 1758. По результатам отловов на основе 376 экз. плотвы сформировано восемь выборок для последующего морфологического анализа (табл. 1).

Особь плотвы, отловленные в р. Чепце на двух участках выше и ниже пос. Балезино (7а и 7б), объединены в одну выборку, т. к. эти участки не изолированы друг от друга, характеризуются сходными гидрологическими параметрами и не различаются ни по одному из 20 контролируемых физико-химических показателей качества воды. Во всех выборках преобладали экземпляры рыб в возрасте 4–6 лет, имеющие среднюю длину 10–11 см. Значимых связей счетных сейсмоденсорных признаков плотвы с возрастом или линейными размерами ее особей не выявлено ни в одной из выборок. По показателям ФА сильнее всего различались выборки плотвы из р. Кильмезь (выше



**Рис. 1.** Карта-схема Удмуртской Республики с местами отбора материала: 1 — выше Ижевска; 2 — ниже Ижевска; 3 — выше Воткинска; 4 — ниже Воткинска; 5 — выше Игры; 6 — ниже Игры; 7а+7б — около Балезино; 8 — около Кильмези

**Fig. 1.** Outline map of the Udmurt Republic with the sampling sites: 1 — above Izhevsk; 2 — below Izhevsk; 3 — above Votkinsk; 4 — below Votkinsk; 5 — above Igra; 6 — below Igra; 7a+7b — near Balezino; 8 — near Kilmez

**Таблица 1.** Линейные размеры (SL), возраст и показатели ФА плотвы, отловленной в средних реках Удмуртии вблизи створов государственного экологического мониторинга**Table 1.** Standard length (SL), age and FA indicators of the roach individuals caught in the middle rivers of Udmurtia near the state environmental monitoring stations

Река River	Створ / Station		n*	SL, мм SL, mm	Возраст, лет Age, years	F <sub>as</sub> , %	S <sub>as</sub> <sup>2</sup>
	№№ No.	Расположение Location					
Иж Izh	1	Выше Ижевска Above Izhevsk	41	<u>97,7±1,5**</u> 78–121***	<u>5,46±0,14</u> 4 <sup>+</sup> –7 <sup>+</sup>	73,2	3,595
	2	Ниже Ижевска Below Izhevsk	68	<u>98,1±1,8</u> 77–153	<u>4,62±0,13</u> 3 <sup>+</sup> –7 <sup>+</sup>	88,2	4,865
Сива Siva	3	Выше Воткинска Above Воткинск	49	<u>111,7±2,2</u> 91–160	<u>4,90±0,16</u> 3 <sup>+</sup> –8 <sup>+</sup>	73,5	2,170
	4	Ниже Воткинска Below Воткинск	41	<u>114,1±2,8</u> 81–158	<u>5,20±0,15</u> 4 <sup>+</sup> –8 <sup>+</sup>	85,4	2,902
Лоза Loza	5	Выше Игры Above Igra	41	<u>107,1±2,4</u> 84–147	<u>4,46±0,20</u> 3 <sup>+</sup> –8 <sup>+</sup>	87,8	3,476
	6	Ниже Игры Below Igra	43	<u>109,3±2,6</u> 85–155	<u>4,70±0,21</u> 4 <sup>+</sup> –8 <sup>+</sup>	79,1	2,901
Чепца Cheptsa	7а+7б	Около Балезино Near Balezino	50	<u>111,3±2,5</u> 82–154	<u>5,26±0,16</u> 3 <sup>+</sup> –8 <sup>+</sup>	76,0	3,102
Кильмезь Kilmez	8	Около Кильмези Near Kilmez	43	<u>108,1±2,2</u> 67–136	<u>5,40±0,17</u> 3 <sup>+</sup> –8 <sup>+</sup>	60,5	1,819

Примечание: \* Количество экземпляров; \*\* средние значения со стандартной ошибкой; \*\*\* диапазон варьирования

Note: \* Number of specimens; \*\* mean values with standard error; \*\*\* range of variation

с. Кильмезь) и р. Иж — с участка, расположенного ниже г. Ижевска (табл. 1). В первой выборке эти показатели статистически значимо ( $p < 0,01$ ) меньше, чем во второй:  $F_{as}$  — почти в полтора раза (критерий «хи-квадрат» с поправкой Йетса — 10,1),  $S_{as}^2$  — более чем в два с половиной раза (критерий Фишера — 2,67).

Р. Кильмезь в пределах Удмуртии характеризуется водосборной территорией с высокой степенью лесистости и низкой плотностью населения. Гидрохимические условия данной реки, испытывающей лишь незначительную и локальную антропогенную нагрузку, связанную с экстенсивным сельским хозяйством и торфоразработкой, могут рассматриваться в качестве условного регионального «фона». Наоборот, р. Иж ниже г. Ижевска (ств. 2) испытывает существенную антропогенную нагрузку, связанную с поступлением коммунально-бытовых стоков с центральных очистных сооружений городской канализации МУП «Ижводоканал», а также промышленных

и ливневых стоков с урбанизированной территории. В результате за весь период ежеквартальных наблюдений 2010–2014 гг. вода в данном речном створе характеризовалась как «грязная»: класс 4а (УКИЗВ от 4 до 6). В то же время в р. Иж выше г. Ижевска (ств. 1) и в р. Сиве ниже г. Воткинска (ств. 4) вода характеризовалась как «очень загрязненная»: класс 3б (УКИЗВ от 3 до 4). В остальных контрольных створах государственного экологического мониторинга, расположенных на средних реках УР, вода соответствовала классу 3а как «загрязненная» (УКИЗВ от 2 до 3). Наименьшие величины УКИЗВ за этот период отмечены в «фоновом» створе р. Кильмезь (табл. 2).

По результатам рангового корреляционного анализа показатель  $S_{as}^2$  плотвы оказался положительно и статистически значимо ( $p < 0,05$ ) связан с величинами УКИЗВ речных створов, рассчитанными за пятилетний период только по майским и июньским значениям концентраций загрязняющих веществ (коэффициент Спирмена — 0,786).

**Таблица 2.** Значения удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) речных створов государственного экологического мониторинга по Удмуртской Республике для всех сезонов и отдельно для мая–июня 2010–2014 гг.

**Table 2.** Values of the specific combinatorial water pollution index (SCWPI) of the state environmental monitoring river stations in the Udmurt Republic for all seasons and separately for May–June 2010–2014

УКИЗВ SCWPI	№ речного створа* / No. of the river station*								
	1	2	3	4	5	6	7a	7б	8
Все сезоны All seasons	3,10	4,57	2,51	3,31	2,49	2,45	2,57	2,73	2,43
Май–июнь May–June	3,38	3,84	2,37	2,65	2,21	2,16	2,49	2,48	1,89

Примечание: \* Как на рис. 1

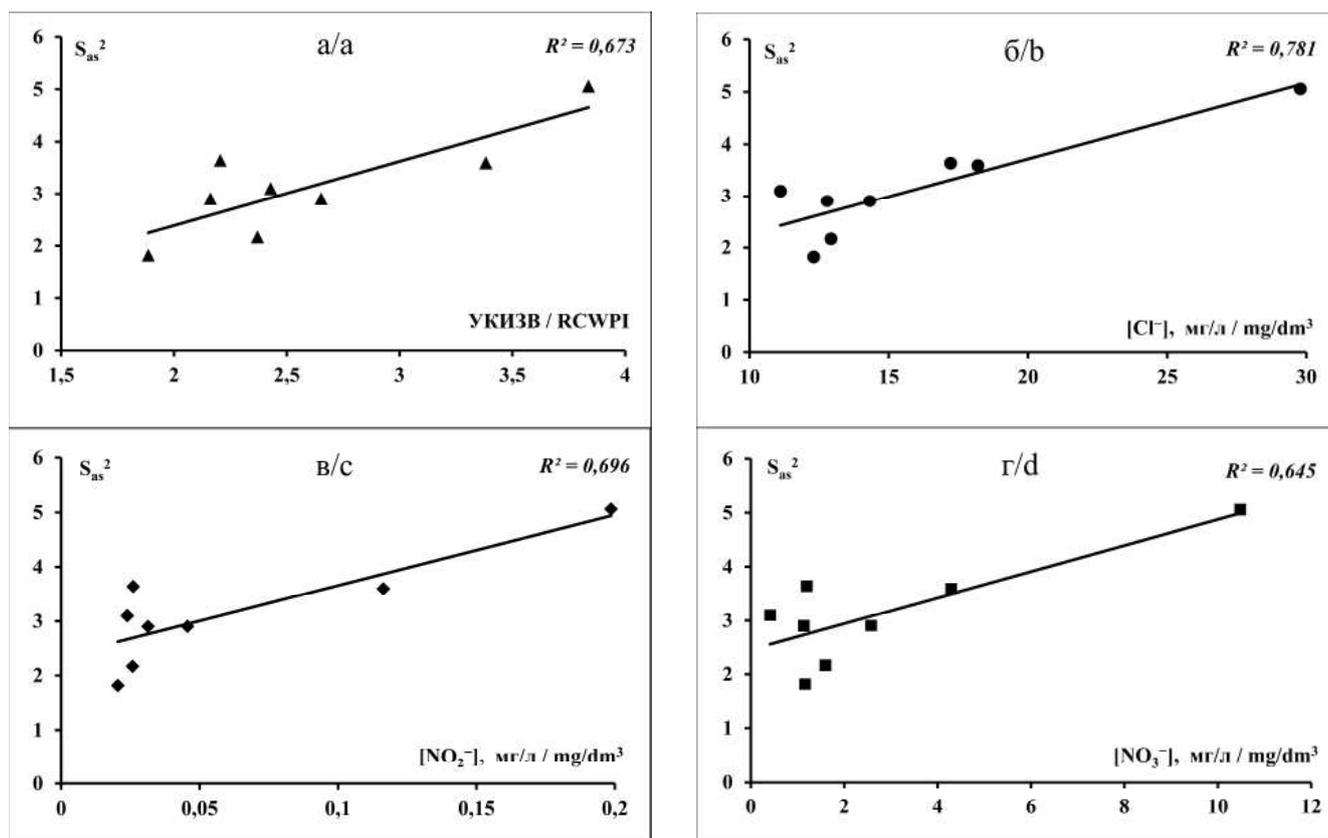
Note: \* As in Fig. 1

Следует отметить, что около 75 % ее особей, отловленных нами в 2018–2019 гг., согласно их возрастным характеристикам появились на свет в 2010–2014 гг. — как раз в период проведения мониторинговых наблюдений в контрольных створах, на основе которых рассчитаны величины УКИЗВ изученных речных участков. Исходя из этих данных, можно предположить, что концентрации загрязняющих веществ, определявшие УКИЗВ в средних реках Удмуртии в конце весны и начале лета рассматриваемого пятилетнего периода — в основные сроки протекания раннего онтогенеза плотвы — оказали непосредственное влияние на индивидуальное развитие ее молоди, в частности, на стабильность морфогенеза сейсмо-сенсорной системы головы ее личинок. В конечном итоге это отразилось на показателях ФА сейсмо-сенсорных счетных признаков, в первую очередь на величинах  $S_{as}^2$ , которые мы оценили в дальнейшем посредством морфологического анализа взрослых особей этого вида рыб. В соответствии со взглядами ряда авторов [16, 17], увеличение показателей ФА морфологических признаков организмов является одним из последствий их эустресса в период формирования данных признаков в онтогенезе: в нашем случае в стрессовом состоянии могли находиться личинки и мальки плотвы, развивавшиеся в неоптимальных гидрохимических условиях.

«Восходящие» тренды изменения показателя  $S_{as}^2$  в популяциях речной плотвы отмечены не только с увеличением УКИЗВ в мае–июне в местах ее постоянного обитания (рис. 2 а), но и с повышением содержания в воде отдельных ионов: хлоридов, нитритов и нитратов (рис. 2 б–г), а

также фосфатов и в меньшей степени — аммония. В то же время аналогичных связей показателей ФА сейсмо-сенсорной системы головы у этого вида рыб с содержанием в речной воде тяжелых металлов (Fe, Mn, Cu, Pb, Ni), алюминия, кальция, сульфатов, нефтепродуктов, взвешенных веществ, сухого остатка, растворенного кислорода или с величинами ее БПК<sub>5</sub>, ХПК и рН не выявлено. Следует отметить, что концентрации общего железа, марганца и меди во всех средних реках Удмуртии регулярно превышали рыбохозяйственные нормативы (ПДК<sub>рх</sub>), что, вероятно, связано с особенностями регионального геохимического «фона». Основные различия по расчетным значениям УКИЗВ между разными речными створами государственного экологического мониторинга по УР определялись превышением ПДК<sub>рх</sub> по содержанию в воде таких ионов, как  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$  и  $PO_4^{3-}$ , а также по БПК<sub>5</sub>. При этом по содержанию хлоридов и нитратов за период наблюдений ни в одном из створов превышений ПДК<sub>рх</sub> не зафиксировано, хотя различия их средних многолетних концентраций в разных речных створах достигали 3–6 раз.

Предполагаем, что некоторые анионы, содержащиеся в воде в концентрациях, превышающих региональные «фоновые» значения (но не всегда — рыбохозяйственные нормативы), могут напрямую влиять на стабильность морфогенеза пресноводных рыб, таких как плотва. Вероятно, подобные ионные формы неорганических веществ могут выступать в качестве гидрохимических стресс-факторов — инициаторов или участников эустрессовых биохимических реакций в организмах рыб в периоды их раннего индивидуального развития. Известно, например, что хлориды в повышенных



**Рис. 2.** Зависимости дисперсии ФА ( $S_{as}^2$ ) суммарного числа отверстий в сейсмодатчиках головы у плотвы из средних рек Удмуртии от величин УКИЗВ (а) и среднего содержания в их воде хлоридов (б), нитритов (в) и нитратов (г) в мае–июне

**Fig. 2.** Dependence of the FA variance ( $S_{as}^2$ ) of the total number of pores in the head seismosensory canals of the roach from the middle rivers of Udmurtia on the SCWPI values (a) and on the average content of chlorides (b), nitrites (c), and nitrates (d) in their water in May–June

концентрациях являются факторами осмотического стресса для пресноводных рыб [18], а нитриты и нитраты — экзогенными прекурсорами оксида азота, непосредственно участвующего в развитии нитрозативного стресса у разных организмов [19, 20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у плотвы из средних рек Удмуртии отмечена тенденция увеличения показателей флукутирующей асимметрии билатеральных счетных признаков сейсмодатчиков системы головы, связанная с повышением суммарного уровня химического загрязнения воды в некоторых из этих рек относительно регионального «фона». Наиболее чувствителен к изменению гидрохимических характеристик такой показатель, как дисперсия ФА, рассчитанная по парным значениям суммарного числа отверстий в краниальных сейсмодатчиках. Этот показатель у плотвы значимо связан

не только с величинами УКИЗВ, но и с содержанием ряда анионов в речной воде в сроки протекания ее раннего онтогенеза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alabaster J.S., Lloyd R. Water quality criteria for freshwater fish. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 382 p.
2. Жукинский В.И. Влияние абиотических факторов на разнокачественность и жизнеспособность рыб в раннем онтогенезе. М.: Агропромиздат, 1986. 243 с.
3. Яблоков Н.О. Морфологические аномалии скелета у молоди рыб р. Качи (бассейн Среднего Енисея) в градиенте техногенной нагрузки // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 41. С. 156–173. doi: 10.17223/19988591/41/9.
4. Минеев А.К. Морфологические аномалии у молоди рыб из загрязненного участка реки Позимь (Удмуртская Республика) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2021. Т. 163, кн. 1. С. 137–149. doi: 10.26907/2542-064X.2021.1.137-149.

5. Захаров В.М., Трофимов И.Е. Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. 160 с.
6. Graham J.H. Fluctuating asymmetry and developmental instability, a guide to best practice // *Symmetry*. 2021. Vol. 13, issue 1. Pp. 1–8. doi: 10.3390/sym13010009.
7. Klymenko M.O., Biedunkova O.O., Klymenko O.M., Statnyk I.I. Influence of river water quality on homeostasis characteristics of cypriniform and perciform fish // *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26, issue 1. Pp. 16–23. doi: 10.15421/011803.
8. Баранов В.Ю. Асимметрия билатеральных признаков скелета лещей в водоемах-охладителях тепловых электростанций на Среднем Урале // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 2. С. 7–13. doi: 10.24143/2073-5529-2019-2-7-13.
9. Толмачева Ю.П., Небесных И.А., Мартемьянова А.А., Лузан А.А., Дзюба Е.В. Исследование флуктуирующей асимметрии у обыкновенной плотвы *Rutilus rutilus* L., 1758 (Cyprinidae) системы реки Ангара // *Вестник Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского*. 2022. Т. 5, № 112. С. 137–151. doi: 10.51215/1999-3765-2022-112-137-151.
10. 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 Journal of Ecology*. 2018. Vol. 49, issue 3. Pp. 232–240. doi: 10.1134/1067413618030049.
11. 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 // *Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2020. Vol. 47, issue 10. Pp. 1372–1377. doi: 10.1134/S1062359020100131.
12. Зиновьев Е.А., Мандрица С.А. Методы исследования пресноводных рыб. Пермь: Изд-во Пермского государственного университета, 2003. 113 с.
13. Webb J.F. Morphological diversity, development, and evolution of the mechanosensory lateral line system // *The lateral line system* / S. Coombs, H. Bleckmann, R.R. Fay, A.N. Popper (Eds.). New York: Springer Science + Business Media. 2014. Pp. 17–72.
14. Захаров В.М. Асимметрия животных: популяционно-феногенетический подход. М.: Наука, 1987. 215 с.
15. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Сост. В.П. Емельянова, Е.Е. Лобченко. СПб: Изд-во Росгидромета, изд-во Гидрохимического института, 2002. 50 с.
16. Leary R.F., Allendorf F.W. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: Implications for conservation biology // *Trends in Ecology & Evolution*. 1989. Vol. 4, issue 7. Pp. 214–217. doi: 10.1016/0169-5347(89)90077-3.
17. Zakharov V.M., Trofimov I.E. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress // *Emerging Topics in Life Sciences*. 2022. Vol. 6, issue 3. Pp. 295–301. doi: 10.1042/ETLS20210274.
18. Kültz D. Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress // *Journal of Experimental Biology*. 2015. Vol. 218, part 12. Pp. 1907–1914. doi: 10.1242/jeb.118695.
19. Malyshev I.Yu., Manukhina E.V. Stress, adaptation, and nitric oxide // *Biochemistry (Moscow)*. 1998. Vol. 63, issue 7. Pp. 840–853.
20. Dröge W. Free radicals in the physiological control of cell function // *Physiological Reviews*. 2002. Vol. 82, issue 1. Pp. 47–95. doi: 10.1152/physrev.00018.2001.

## REFERENCES

1. Alabaster J.S., Lloyd R. Water quality criteria for freshwater fish. Cambridge: Cambridge University Press, 1982, 382 p.
2. Zhukinskiy V.I. Vliyanie abioticheskikh faktorov na raznokachestvennost' i zhiznesposobnost' ryb v rannem ontogeneze [The influence of abiotic factors on the heterogeneity and viability of fishes in early ontogenesis]. Moscow: Agropromizdat [Agriculture Industry Publishing House], 1986, 243 p. (In Russian).
3. Yablokov N.O. Morfologicheskie anomalii skeleta u molodi ryb r. Kachi (basseyn Srednego Eniseya) v gradiente tekhnogennoy nagruzki [Morphological abnormalities in the skeleton of juvenile fish from the Kacha River (Middle Yenisei system) in the gradient of anthropogenic impact]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2018, no. 41, pp. 156–173. doi: 10.17223/19988591/41/9. (In Russian).
4. Mineev A.K. Morfologicheskie anomalii u molodi ryb iz zagryaznennogo uchastka reki Pozim' (Udmurtskaya Respublika) [Morphological abnormalities in some dominant fish species from the polluted site of the Pozim River (Udmurt Republic, Russia)]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki* [Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series], 2021, vol. 163, no. 1, pp. 137–149. doi: 10.26907/2542-064X.2021.1.137-149. (In Russian).
5. Zakharov V.M., Trofimov I.E. Otsenka sostoyaniya bioraznoobraziya: issledovanie stabil'nosti razvitiya [Assessment of biodiversity status: study of developmental stability]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [KMK Scientific Press], 2019, 160 p. (In Russian).
6. Graham J.H. Fluctuating asymmetry and developmental instability, a guide to best practice. *Symmetry*, 2021, vol. 13, issue 1, pp. 1–8. doi: 10.3390/sym13010009.

7. Klymenko M.O., Biedunkova O.O., Klymenko O.M., Statnyk I.I. Influence of river water quality on homeostasis characteristics of cypriniform and perciform fish. *Biosystems Diversity*, 2018, vol. 26, issue 1, pp. 16–23. doi: 10.15421/011803.
8. Baranov V.Yu. Asimetriya bilateral'nykh priznakov skeleta leshchey v vodoemakh-okhladitelyakh teplovykh elektrostantsiy na Srednem Urale [Asymmetry of bream skeleton bilateral features in thermoelectric power stations basin-coolers in the Middle Urals]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo* [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry], 2019, no. 2, pp. 7–13. doi: 10.24143/2073-5529-2019-2-7-13. (In Russian).
9. Tolmacheva Yu.P., Nebesnykh I.V., Martemyanova A.A., Luzan A.A., Dzyuba E.V. Issledovanie fluktuiruyushchey asimmetrii u obyknovennoy plotvy *Rutilus rutilus* L., 1758 (Cyprinidae) sistemy reki Angara [Study of fluctuation asymmetry in the common roach *Rutilus rutilus* L., 1758 (Cyprinidae) of the Angara River system]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni A.A. Ezhevskogo* [Bulletin of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky], 2022, vol. 5, issue 112, pp. 137–151. doi: 10.51215/1999-3765-2022-112-137-151. (In Russian).
10. 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 Journal of Ecology*, 2018, vol. 49, issue 3, pp. 232–240. doi: 10.1134/1067413618030049.
11. 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. *Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2020, vol. 47, issue 10, pp. 1372–1377. doi: 10.1134/S1062359020100131.
12. Zinovyev E.A., Mandritsa S.A. Metody issledovaniya presnovodnykh ryb [Methods of study of freshwater fishes]. Perm: Permskiy gosudarstvennyy universitet [Perm State University] Publ., 2003, 113 p. (In Russian).
13. Webb J.F. Morphological diversity, development, and evolution of the mechanosensory lateral line system. In: *The lateral line system*. S. Coombs, H. Bleckmann, R.R. Fay, A.N. Popper (Eds.). New York: Springer Science + Business Media, 2014, pp. 17–72.
14. Zakharov V.M. Asimetriya zhivotnykh: populyatsionno-fenogeneticheskiy podkhod [Animal asymmetry: population-phenogenetic approach]. Moscow: Nauka [Science], 1987, 215 p. (In Russian).
15. RD 52.24.643-2002 Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Regulatory Document 52.24.643-2002 Method of comprehensive assessment of the pollution rate of exposed continental waters using hydrochemical indicators]. V.P. Emelyanova, E.E. Lobchenko (Eds.). Saint Petersburg: Rosgidromet [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., Gidrokhimicheskii institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2002, 50 p. (In Russian).
16. Leary R.F., Allendorf F.W. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: Implications for conservation biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 1989, vol. 4, issue 7, pp. 214–217. doi: 10.1016/0169-5347(89)90077-3.
17. Zakharov V.M., Trofimov I.E. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress. *Emerging Topics in Life Sciences*, 2022, vol. 6, issue 3, pp. 295–301. doi: 10.1042/ETLS20210274.
18. Kültz D. Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress. *Journal of Experimental Biology*, 2015, vol. 218, part 12, pp. 1907–1914. doi: 10.1242/jeb.118695.
19. Malyshev I.Yu., Manukhina E.V. Stress, adaptation, and nitric oxide. *Biochemistry (Moscow)*, 1998, vol. 63, no. 7, pp. 840–853.
20. Dröge W. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 2002, vol. 82, issue 1, pp. 47–95. doi: 10.1152/physrev.00018.2001.

Поступила 18.01.2023

Принята к печати 13.03.2023