

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 597.551.2+574.24

doi: 10.26907/2542-064X.2021.1.137-149

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ
У МОЛОДИ НЕКОТОРЫХ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ
ИЗ ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА РЕКИ ПОЗИМЬ
(УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА)**

А.К. Минеев

*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, 445003, Россия*

Аннотация

На основе результатов анализа, проведенного в 2012 г., изучены возникшие в результате антропогенного воздействия морфологические аномалии у молоди пяти массовых видов карповых рыб, обитающих на участке р. Позимь в пределах г. Ижевска: плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), красноперки (*Scardinius erythrophthalmus* Linnaeus, 1758), язя (*Leuciscus idus* Linnaeus, 1758), голавля (*Leuciscus cephalus* Linnaeus, 1758) и леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758). Выявлена высокая встречаемость особей с нарушениями у всех изученных видов. Показано, что количество особей с морфологическими аномалиями уменьшается от ранних личиночных стадий развития к поздним мальковым стадиям, что свидетельствует о летальном характере зафиксированных нарушений. Кроме того, обнаруженные морфологические аномалии не зависят от видовой принадлежности молоди рыб, что говорит о неспецифическом характере данных нарушений.

Ключевые слова: антропогенное влияние, загрязняющие вещества, молодь рыб, морфологические аномалии

Введение

При проведении экологического мониторинга состояния водной среды одним из важнейших индикаторов являются патологии, возникающие у населяющих ее организмов [1, 2] и часто развивающиеся под влиянием различных антропогенных факторов. Антропогенные воздействия становятся новыми параметрами водной среды, а также трансформируют ее изначальные, естественные свойства, тем самым в значительной степени определяя устойчивость аборигенных организмов к ним [3].

Биохимические и патофизиологические нарушения могут наблюдаться у различных видов водных организмов, но чаще всего для диагностики последствий антропогенного загрязнения вод токсичными веществами используют рыб как типичных представителей водных экосистем, которые занимают верхний уровень в трофической системе водоемов и имеют достаточно длинный жизненный цикл для того, чтобы информативно отражать последствия хронического загрязнения вод [4]: рыбы способны накапливать токсиканты в больших концентрациях, что заставляет их принимать на себя основную тяжесть антропогенной

нагрузки и приводит к сокращению численности и ухудшению качественных показателей их популяций [5–6]. Наибольшая чувствительность к действию абиотических факторов естественного характера (температуры воды, содержания кислорода, величины рН, скорости течения, освещенности и т. д.) и токсических веществ наблюдается у рыб в период эмбрионально-личиночного развития и приводит к развитию целого ряда морфологических нарушений [7–9].

Проведенные нами ранее ихтиологические исследования позволили установить, что качество воды на изученном участке р. Позимь является неудовлетворительным, что отрицательно сказывается на морфологическом состоянии молоди пяти массовых видов рыб данного водотока: плотвы (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), красноперки (*Scardinius erythrophthalmus* Linnaeus, 1758), язя (*Leuciscus idus* Linnaeus, 1758), голавля (*Leuciscus cephalus* Linnaeus, 1758) и леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758). Параллельный анализ гистопатологий внутренних органов и тканей у половозрелых особей плотвы и уклейки (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758) из того же участка р. Позимь, где отлавливалась молодь рыб, позволил выделить четыре типа гистопатологий скелетной мускулатуры [10] и двенадцать типов гистопатологий жабр [11], которые выступают индикаторами хронической интоксикации под воздействием комплекса загрязняющих веществ, присутствующих в воде.

Целью настоящего исследования является изучение встречаемости личинок и мальков рыб с морфологическими аномалиями и с нарушениями неспецифического и летального характера как одного из показателей экологического состояния водной среды р. Позимь в районе выраженного техногенного загрязнения.

Материалы и методы

Ихтиологические исследования проводились в весенне-летний период 2012 г. в городской черте г. Ижевска на акватории малой р. Позимь, притока р. Иж, впадающей в Нижнекамское водохранилище (для которого она является притоком 2-го порядка). Ее протяженность составляет 52 км, а максимальная ширина в устьевом участке 12 м.

На протяжении последних десятилетий, в том числе в период исследования, р. Позимь в черте г. Ижевска испытывает значительную антропогенную нагрузку [16]: в этот водоток поступают сточные воды городских предприятий (машиностроительных и сельскохозяйственных) и аэропорта. Вода реки соответствует 4-му «А» классу качества («грязная вода», УКИЗВ 4.48). Кислородный режим в 2011–2012 гг. был благоприятным (среднегодовое содержание кислорода составило 10.6 мг/л). В ряд характерных загрязняющих веществ вошли медь, цинк, азот аммонийный, фенолы, железо общее, а также легкоокисляемые органические вещества по величине БПК₅ (биологическое потребление кислорода) и органические вещества по величине ХПК (химическое потребление кислорода), повторяемость концентраций выше ПДК (для среднего и нижнего течения р. Позимь) для которых равнялась 50–100%. Среднегодовые концентрации составили: 6 ПДК для меди; 2 ПДК для цинка; 1.3–1.7 ПДК для железа общего, азота аммонийного, фенолов, органических веществ (по величине ХПК). Концентрации легкоокисляемых органических веществ (по величине БПК₅) достигали уровня ПДК (для среднего и нижнего течения р. Позимь) [17].

В 2010 г. максимальные концентрации меди достигали 7 ПДК, азота аммонийного и железа общего – 4 ПДК, азота нитритного и цинка – 3 ПДК, фенолов – 2 ПДК, легкоокисляемых органических веществ по величине БПК₅ и органических веществ по величине ХПК – 1.6 ПДК. По сравнению с 2010 г. качество воды реки в 2011–2012 гг. по комплексному показателю не изменилось. Следует отметить, что среднегодовое содержание в воде азота аммонийного и азота нитритного уменьшилось: от 3 до 1.6 ПДК и от 1.3 до менее 1 ПДК соответственно. Однако среднегодовое содержание меди и цинка возросло: с 5 до 6 ПДК и от менее 1 до 2 ПДК (для среднего и нижнего течения р. Позимь) соответственно [17].

В 2012 г. концентрации загрязняющих веществ в р. Позимь существенно не изменились. Как и в 2011 г., в 2012 г. в реку было сброшено 5.5 тыс. куб. м сточных вод от предприятий г. Ижевска (по данным статистической отчетности 2ТП-водхоз). Объем всех загрязняющих компонентов, поступивших в р. Позимь в 2012 г., составил 0.28 т, среди них: взвешенных веществ – 0.02 т, БПК – 0.01 т, хлоридов – 0.06 т и сульфатов – 0.19 т [18].

С помощью гидробиологических сачков из мельничного газа на исследуемом участке реки Позимь отлавливали молодь массовых видов рыб: плотвы, красноперки, язя, голавля и леща. Ранее ихтиологических исследований на данном участке реки не проводилось, но по нашим собственным данным именно эти виды рыб являются доминирующими в исследованном участке реки. Все отловленные особи находились на ранних личиночных (C₁, C₂, D₁), поздних личиночных и ранних мальковых (D₂, E) стадиях развития.

Полученный материал фиксировали 4%-ным формальдегидом.

Перед отбором проб измеряли температуру воды в зоне скопления молоди рыб. Личинки и ранние мальки изученных массовых видов рыб отлавливались лишь при температуре воды в диапазоне 10.0–20.0 °С, так как именно данные рамки температурных значений являются оптимальными для их нереста и последующего эмбрионально-личиночного развития [12]. Для массового нереста большинства видов карповых рыб Куйбышевского водохранилища, наиболее крупного водоема Средней Волги, и его притоков оптимальна температура воды в пределах 13.0–15.0 °С [13].

Когда температура воды достигает определенных пороговых значений и затем превышает их в течение нескольких дней, происходит прекращение нереста (с последующей резорбцией икры у производителей) или гибель личинок, а также возникают массовые морфологические отклонения у развивающихся эмбрионов [12]. По этой причине отлов молоди не производили при температурах воды, не укладывающихся в значения оптимума для изученных видов, чтобы избежать присутствия в пробах особей с аномалиями, вызванными температурными перепадами.

Всего изучено 1936 особей рыб с применением метода патолого-морфологического анализа. Стадии развития и видовая принадлежность молоди рыб устанавливали по определителю А.Ф. Коблицкой 1981 г. [14].

Снимки получены при помощи окулярной цифровой микрофотокамеры Levenhuk C510 NG (Levenhuk, США) и бинокулярного микроскопа МБС-10 (ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», Россия). Данные о встречаемости

аномалий в выборке и частотности особей с морфологическими аномалиями даны в виде средних арифметических со стандартными ошибками среднего [15]. Статистическую обработку полученных данных проводили с применением программ Excel 2010 и Statistica 12. Для графического представления результатов использовали программы Statistica 12, Adobe Photoshop CS6 и Paint.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведенных ихтиологических исследований нами зафиксирован нерест всех пяти видов рыб, которые были изучены – плотвы, красноперки, язя, голавля и леща (табл. 1). В пробах преобладали личинки и мальки плотвы и язя.

Табл. 1

Встречаемость молоди рыб изученных видов в пробах, взятых на загрязненном участке р. Позимь

Вид рыб	Общее число особей каждого вида, экз.	Процент особей каждого вида в общем улове	Число особей с аномалиями среди каждого вида, экз.	Процент особей с аномалиями среди каждого вида
Плотва	945	48.8 ± 1.14	234	24.8 ± 1.40
Красноперка	232	12.0 ± 0.74	133	57.3 ± 3.25
Язь	670	34.6 ± 1.08	60	8.9 ± 1.10
Голавль	32	1.7 ± 0.29	4	12.5 ± 5.94
Лещ	57	2.9 ± 0.38	6	10.5 ± 4.10

Согласно данным проведенных ранее исследований, в условиях незарегулированной р. Волги и отсутствия такого уровня антропогенного воздействия, как в последние годы, встречаемость молоди рыб с морфологическими аномалиями может достигать 5% [19]. Приведенный выше процентный показатель количества личинок и мальков рыб с аномалиями строения в сообществах загрязненных природных водоемов является следствием процессов спонтанного мутагенеза и результатом воздействия стрессовых абиотических факторов (перепадов температуры, рН, содержания растворенного кислорода и т. д.). Это доказано исследованиями В.С. Кирпичникова на молоди рыб из водоемов Волго-Ахтубинской поймы в 1937 г. и на молоди карпов в условиях аквакультуры. Таким образом, величину встречаемости особей с аномалиями в популяциях, не превышающую 5%, принято считать условной нормой для естественных природных водоемов [19].

В нашем случае среди 1936 особей общая встречаемость личинок и мальков рыб с морфологическими аномалиями составила 22.5%, что более чем в четыре раза превышает значение установленной нормы для благополучных природных популяций. При этом доля особей, у которых возникли аномалии, существенно различается в зависимости от вида рыб, что можно было бы объяснить особенностями видовой чувствительности рыб к неблагоприятным факторам среды, если бы выборка особей разных видов на обнаруженных личиночных и мальковых стадиях была бы равномерной. В нашем случае соотношение в выборке молоди разных возрастов у разных видов рыб неодинаково, что является наиболее вероятной причиной различия встречаемости аномалий. Так, среди молоди красноперки

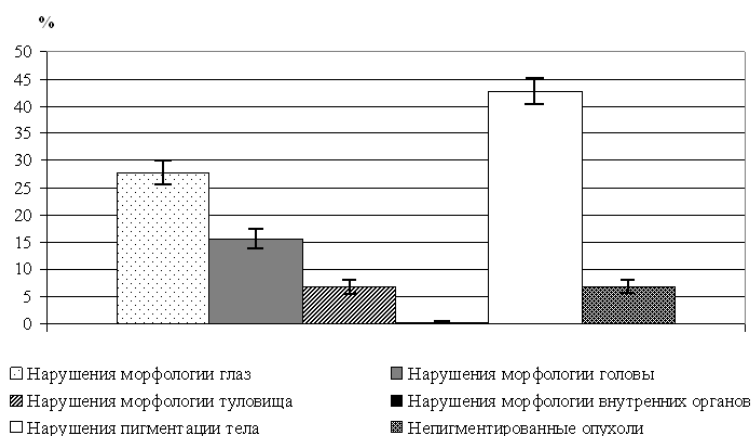


Рис. 1. Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из загрязненного участка р. Позимь

особи с морфологическими аномалиями составили 57.3% выборки, а среди язя – всего 8.9%. Однако значение принятой нормы для благополучных природных популяций превышено у всех пяти видов рыб, которые были изучены.

Все морфологические аномалии, обнаруженные нами у личинок и мальков рыб в р. Позимь, были отнесены к 20 типам и разделены на шесть групп (рис. 1).

Интересен тот факт, что у рыб в процессе эмбриогенеза и на стадиях личиночного развития в условиях кратковременного либо хронического токсического воздействия происходят такие же биохимические изменения, как и у половозрелых особей. Так, например, у личинок атерины (*Atherina hepsetus* L.) из наиболее загрязненных акваторий Черного моря происходит увеличение активности антиоксидантных ферментов и гетерогенности электрофоретических белков [20], как и у взрослых рыб, что можно считать неспецифическими адаптивными реакциями, направленными на нейтрализацию процессов интоксикации. В силу того, что на эмбриональных и личиночных стадиях развития рыбы являются очень чувствительными к воздействию даже незначительных сублетальных концентраций токсикантов, адаптационные процессы с течением времени стремительно преобразуются в патологические, что вызывает различные нарушения морфологии [21–25]. Быстрота данных реакций объясняется еще и повышенной скоростью естественных биохимических обменных процессов в организмах рыб на ранних стадиях эмбрионального и личиночного развития.

Анализируя опубликованные результаты экспериментальных исследований [28–29], можно говорить о том, что под влиянием различных по происхождению загрязнителей (сырая нефть, пестициды, тяжелые металлы и т. п.) у рыб обнаруживаются одни и те же виды аномалий развития, что свидетельствует о неспецифическом характере данных нарушений.

В научной литературе описываются также разные причины возникновения некоторых морфологических нарушений у рыб разных видов и возрастов. Например, многие искривления осевого скелета могут вызываться метацеркариями трематод [26], в редких случаях морфологические нарушения являются следствием механической травмы [27]. Примечательно, что фактор химических загрязнений в этих случаях также нельзя исключать.

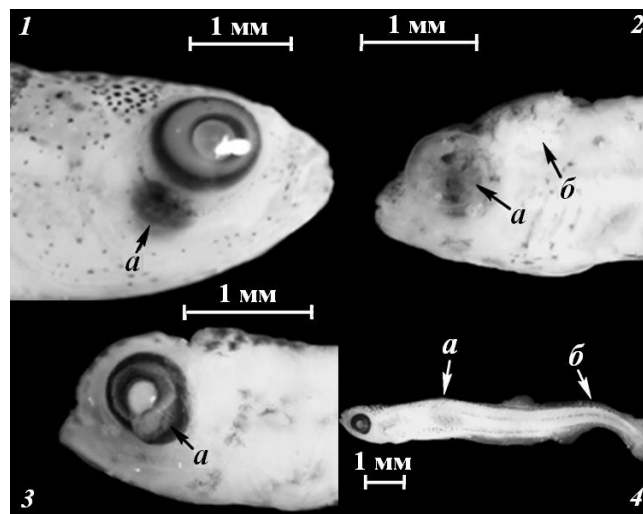


Рис. 2. 1 – плотва (стадия E), вид справа, *a* – пигментированная опухоль под правым глазным яблоком; 2 – плотва (стадия D₂), вид слева, *a* – полное отсутствие пигментации левого глазного яблока; *б* – непигментированная опухоль за левым глазным яблоком; 3 – плотва (C₂), вид слева, *a* – опухоль внутри левого глазного яблока; 4 – зязь (C₂), вид слева, *a* – искривление хорды в туловищном отделе тела, *б* – искривление хорды в хвостовом отделе тела

Основную долю среди зафиксированных морфологических аномалий у молоди рыб из р. Позимь составили нарушения пигментации тела (42.7%), включающие в себя пигментированные опухоли в области глаз (42.2%) (рис. 2, 1, *a*) и нарушения пигментации глазного яблока (0.5%) (рис. 2, 2).

Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о том [30], что в единичных случаях глазная глиомевома может образовываться и у взрослых особей рыб, но влияние факторов окружающей среды (например, водных загрязняющих веществ) не может быть оценено из-за единичности подобных фактов. Предполагается, что такие опухоли могут быть следствием микобактериоза или других инфекций, но не исключено, что и загрязнение окружающей среды может играть определенную потенциальную роль [30].

Наши исследования молоди рыб в р. Позимь подтверждают токсикологическую причину возникновения глазных опухолей и, возможно, нарушений пигментации тела, которые, по нашему мнению, могут являться начальной стадией новообразований, так как особенно часто эти и другие аномалии фиксируются в наиболее загрязненных акваториях [21, 28].

В 27.8% случаев обнаруживаются нарушения морфологии глаз: недоразвитие одного (12.3%) или обоих (6.0%) глазных яблок; полное отсутствие одного (2.0%) или обоих (0.5%) глаз; новообразования внутри одного (5.3%) (рис. 2, 3, *a*) или обоих (1.6%) глазных яблок и присутствие двух хрусталиков в одном глазном яблоке (0.2%), обнаруженное единично.

На третьем месте по встречаемости были нарушения морфологии головы (15.7%), среди которых преобладали асимметрия головы (9.5%) и «мопсовидная» деформация головы (5.3%), в то время как аномалии челюстей обнаруживались лишь в 0.6% (недоразвитие верхней челюсти) и 0.3% (искривление

нижней челюсти) случаев. Согласно зарубежным исследованиям, аномалии, поражающие структуры черепа, наиболее часто наблюдаются у рыб на стадиях эмбрионального развития в природных популяциях при воздействии различных загрязняющих веществ [31]. Подобные ответные реакции организма фиксировались у эмбрионов и личинок рыб при воздействии тяжелых металлов, фосфорорганических пестицидов, фипронила, дисульфирама и радиации [32–35].

На долю группы нарушений морфологии туловища, включающей в себя искривления позвоночника различной локализации и выраженности (рис. 2, 4, а, б), приходилось 6.8% от всех обнаруженных морфологических аномалий, как и в случае нарушений из группы наружных непигментированных опухолей (рис. 2, 2, б). Известно, что наличие скелетных аномалий у костистых рыб, выращенных на фермах, в настоящее время является одной из основных проблем в аквакультуре [31].

Большинство аномалий осевого скелета, обнаруживаемых на самых ранних онтогенетических стадиях (у только что вылупившихся личинок или на стадиях, когда скелетные ткани еще слабо дифференцированы), может перерасти в сублетальные скелетные аномалии на последующих этапах жизни [36], что не может положительно отразиться на дальнейшем развитии отдельных особей и популяций в целом.

В аквакультуре наиболее часто наблюдаемыми аномалиями осевого скелета являлись нотохордальные укорочения и искривления (лордоз, сколиоз, С-образное тело). В природных популяциях у эмбрионов и личинок рыб также отмечались подобные нарушения морфологии при воздействии различных загрязнителей – тяжелых металлов, фосфорорганических пестицидов, дитиокарбаматов, фипронила и дисульфидов [32–35]. Предположительно, в нашем случае аномалии позвоночника у молоди рыб также вызваны поллютантами, присутствующими в воде р. Позимь.

Отсутствие и деформация закладок костей черепа, входящие в группу нарушений морфологии внутренних органов, замечены лишь у единичных особей (0.2%).

Распределение встречаемости шести обнаруженных групп морфологических аномалий являлось аналогичным среди личинок и мальков всех пяти видов рыб, что также является доказательством неспецифического характера данных нарушений.

Все морфологические аномалии, обнаруженные у молоди рыб р. Позимь, необратимы (не подвержены регенерации в случае улучшения условий обитания при снижении уровня загрязнений) и летальны, то есть приводят к элиминации особей, о чем свидетельствуют данные рис. 3.

Среди молоди рыб особи с морфологическими аномалиями не регистрировались нами уже на стадии развития Е (ранние мальки), однако среди личинок на самой ранней стадии развития (C_1), зафиксированной в данном водоеме, доля таких особей может быть достаточно высокой – у некоторых видов рыб она достигает 66.7% (красноперка) и 42.1% (плотва). Личинок голавля и леща на стадии развития C_1 в пробах не обнаружено. Но мы можем предположить, что встречаемость особей данных видов с аномалиями на этой стадии развития была высока, поскольку на стадии C_2 доля таких особей достигает 25.0% у голавля и 11.8% у леща.

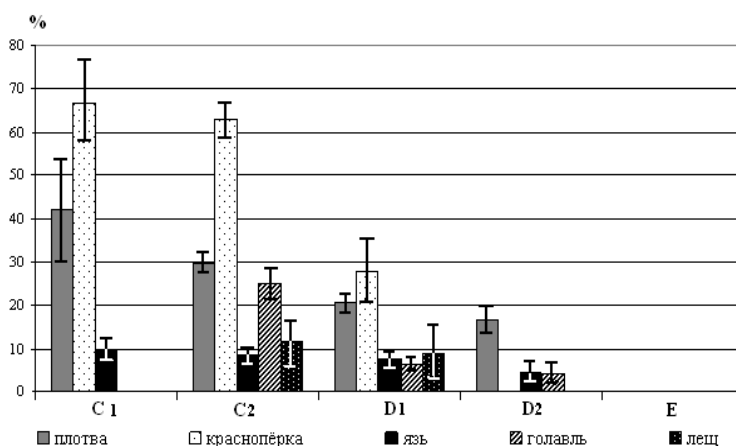


Рис. 3. Встречаемость особей с морфологическими аномалиями на разных стадиях развития среди исследованных видов рыб

Уже на стадии D_2 особи с морфологическими нарушениями не встречались среди красноперки и леща. В то же время среди плотвы доля таких особей снизилась до 16.7%, а особей язей и голавлей с отклонениями в морфологии не превышала 4.3% и 4.0% соответственно. К стадии E все особи с морфологическими аномалиями элиминируют и перестают обнаруживаться в пробах.

Иными словами, в силу своей пониженной жизнеспособности молодь изученных видов рыб с различными типами морфологических нарушений подвержена полной элиминации при переходе на мальковые стадии развития.

Заключение

Общая встречаемость аномалий у изученных личинок и мальков плотвы, красноперки, язя, голавля и леща в р. Позимь составила 22.5%, что более чем в четыре раза превышает значение установленной нормы числа особей с морфологическими нарушениями на ранних стадиях эмбриогенеза, характерное для благополучных природных популяций. Наличие 20 типов морфологических аномалий из шести разных групп (по характеру патологии, локализации и степени выраженности), а также высокая встречаемость особей с морфологическими нарушениями у молоди являются прямым следствием негативного воздействия на сообщество рыб комплекса загрязняющих веществ, которые постоянно присутствуют в воде на исследуемом участке р. Позимь в концентрациях, значительно превышающих ПДК. Все выявленные аномалии (за исключением единичных) неспецифичны, то есть не зависят от видовой принадлежности рыб. Однако, несмотря на то что морфологические нарушения (всех групп и отдельных типов) были зарегистрированы на разных стадиях личиночного и малькового развития (начиная от C_1 и C_2 – ранние личинки, заканчивая поздними личиночными стадиями – D_1 и D_2), нами было отмечено, что частота встречаемости морфологических аномалий снижалась от максимальных значений на ранних личиночных стадиях, до минимальных значений на поздних личиночных стадиях (D_1 , D_2). Уже среди ранних мальков (E) мы не наблюдали особей с морфологическими отклонениями вследствие их низкой жизнеспособности. Очевидно, что все

обнаруженные нами нарушения морфологии являются летальными для молоди рыб. Таким образом, несмотря на большое разнообразие обнаруженных нарушений морфологии, их встречаемость и развитие подчиняются определенным закономерностям, что делает молодь рыб критически важными объектами экологического мониторинга.

Литература

1. Feist S.W., Lang T., Stentiford G.D., Köhler A. Biological effects of contaminants: Use of liver pathology of the European flatfish dab (*Limanda limanda* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.) for monitoring // ICES Tech. Mar. Environ. Sci. – 2004. – V. 38. – 42 p.
2. Sindermann C.J. Pollution-associated diseases and abnormalities of fish and shellfish: A review // Fish Bull. (U. S.) – 1979. – V. 76, No 4. – P. 717–749.
3. Stöcker G. Zu einigen theoretischen und methodischen Aspekten der Bioindikation // Methodische und theoretische Grundlagen der Bioindikation / Schubert R., Schulz J. – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: Wiss. Beiträge, 1980 – Т. 24. – S. 10–21.
4. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. – М.: Наука, 2009. – 400 с.
5. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна / Под ред. Д.С. Павлова, А.Д. Мочака. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. – 596 с.
6. Selyukov A.G. Morphofunctional transformations in fishes of the middle and lower Ob' basin under increasing anthropogenic influence // J. Ichthyol. – 2012. – V. 52, No 8. – P. 547–565. – doi: 10.1134/S0032945212040108.
7. Жукинский В.Н. Влияние абиотических факторов на разнокачественность и жизнеспособность рыб в раннем онтогенезе. – М.: Агропромиздат, 1986. – 243 с.
8. Лебедева О.А., Тихомирова Л.И., Филиппова Г.П., Завьялова М.Н. Изменения в характере эмбриогенеза карася: долгосрочные наблюдения и экспериментальные исследования // Докл. АН СССР. – 1990. – Т. 313, № 1. – С. 196–199.
9. Макеева А.П. Эмбриология рыб. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 216 с.
10. Минеев А.К. Патологии скелетной мускулатуры у рыб из загрязненного участка р. Позимь (Удмуртская республика) // Вода: химия и экология. – 2018. – № 4–6. – С. 50–54.
11. Минеев А.К. Гистопатологии жабр у карповых рыб из загрязненного участка р. Позимь (Удмуртская Республика) // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 167. – С. 52–58.
12. Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. – М.: Полиграф-Плюс, 2013. – 300 с.
13. Цыплаков В.П. Биология, сезонное распределение и рыбохозяйственное значение леща Куйбышевского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 1966. – 24 с.
14. Коблицкая А.Ф. Определитель молоди пресноводных рыб. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1981. – 208 с.
15. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
16. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2014 год / Под ред. Г.М. Черногаева. – М.: Росгидромет, 2015. – 199 с.
17. О состоянии и охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2011 г.: Государственный доклад. – Ижевск, 2012. – 246 с.
18. Ковальчук А.Г., Ермакова Т.Н., Рябов Д.С. Доклад об экологической обстановке в городе Ижевске в 2012 году / Под ред. Н.М. Попова. – Ижевск, 2013. – 79 с.
19. Кирпичников В.С. Генетика и селекция рыб. – Л.: Наука, 1987. – 520 с.

20. Руднева И.И., Залевская И.Н. Личинки атерины (*Atherina hepsetus* L.) как биоиндикаторы загрязнения прибрежных акваторий Черного моря // Экология. – 2004. – № 2. – С. 107–112.
21. Stouthart X.J.H.X., Haans J.L.M., Lock R.A.C., Bonga S.E.W. Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*) // Environ. Toxicol. Chem. – 1996. – V. 15, No 3. – P. 376–383. – doi: 10.1002/etc.5620150323.
22. Kihara M., Ogata S., Kawano N., Kubota I., Yamaguchi R. Lordosis induction in juvenile red sea bream, *Pagrus major*, by high swimming activity // Aquaculture. – 2002. – V. 212, No 1–4. – P. 149–158. – doi: 10.1016/S0044-8486(01)00871-7.
23. Hassanain M.A., Abbas W.T., Ibrahim T.B. Skeletal ossification impairment in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) after exposure to lead acetate // Pak. J. Biol. Sci. – 2012. – V. 15, No 15. – P. 729–735. – doi: 10.3923/pjbs.2012.729.735.
24. Яблоков Н.О. Морфологические аномалии скелета у молоди рыб р. Качи (бассейн Среднего Енисея) в градиенте техногенной нагрузки // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. – 2018. – № 41. – С. 156–173. – doi: 10.17223/19988591/41/9.
25. Lajis A.F.B. Effect of chemical pollutants on craniofacial development of a zebrafish embryo // J. Bioinf. Syst. Biol. – 2018. – V. 1, No 1. – P. 001–010. – doi: 10.26502/jbsb.5107001.
26. Cunningham M.E., Markle D.F., Watral V.G., Kent M.L., Curtis L.R. Patterns of fish deformities and their association with trematode cysts in the Willamette River, Oregon // Environ. Biol. Fishes. – 2005. – V. 73, No 1. – P. 9–19. – doi: 10.1007/s10641-004-3153-5.
27. El-Mansy A.I.E., Shalloof K.A.Sh. A case of deformation in a fish from Lake Manzala, Egypt // Global Vet. – 2015. – V. 14, No 5. – P. 679–685. – doi: 10.5829/idosi.gv.2015.14.05.94238.
28. Crawford R.B., Guarino A.M. Effects of environmental toxicants on development of a teleost embryo // J. Environ. Pathol., Toxicol. Oncol. – 1985. – V. 6, No 2. – P. 185–194.
29. Pragatheeswaran V., Loganathan B., Natarajan R., Venugapalon V.K. Cadmium induced malformation in eyes of *Ambassis commersoni* Cuvier // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 1989. – V. 43, No 5. – P. 755–760. – doi: 10.1007/BF01701999.
30. Mandrioli L., Sirri R., Gustinelli A., Quaglio F., Sarli G., Chiocchetti R. Ocular glioneuroma with medulloepitheliomatous differentiation in a goldfish (*Carassius auratus*) // J. Vet. Diagn. Invest. – 2014. – V. 26, No 1. – P. 167–172. doi: 10.1177/1040638713515218.
31. Boglione C., Gisbert E., Gavaia P., Witten P.E., Moren M., Fontagné S., Koumoundouros G. Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: main typologies, occurrences and causative factors // Rev. Aquacult. – 2013. – V. 5, No s1. – P. S121–S167. – doi: 10.1111/raq.12016.
32. Van Leeuwen C.J., Helder T., Seinen W. Aquatic toxicological aspects of dithiocarbamates and related compounds. IV. Teratogenicity and histopathology in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // Aquat. Toxicol. – 1986. – V. 9, No 2–3. – P. 147–159. – doi: 10.1016/0166-445X(86)90020-2.
33. Middaugh D.P., Fournie J.W., Hemmer M.J. Vertebral abnormalities in juvenile inland silversides *Menidia beryllina* exposed to terbufos during embryogenesis // Dis. Aquat. Org. – 1990. – V. 9, No 2. – P. 109–116. – doi: 10.3354/dao009109.
34. Stehr C.M., Linbo T.L., Incardona J.P., Scholz N.L. The developmental neurotoxicity of fipronil: Notochord degeneration and locomotor defects in zebrafish embryos and larvae // Toxicol. Sci. – 2006. – V. 92, No 1. – P. 270–278. – doi: 10.1093/toxsci/kfj185.
35. Jezierska B., Ługowska K., Witeska M. The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review) // Fish Physiol. Biochem. – 2009. – V. 35, No 4. – P. 625–640. – doi: 10.1007/s10695-008-9284-4.

36. Witten P.E., Gil-Martens L., Hall B.K., Huysseune A., Obach A. Compressed vertebrae in Atlantic salmon *Salmo salar*: Evidence for metaplastic chondrogenesis as a skeletogenic response late in ontogeny // Dis. Aquat. Org. – 2005. – V. 64, No 3. – P. 237–246. – doi: 10.3354/dao064237.

Поступила в редакцию
28.01.2020

Минеев Александр Константинович, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН
ул. Комзина, д. 10, г. Тольятти, 445003, Россия
E-mail: mineev7676@mail.ru

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2021, vol. 163, no. 1, pp. 137–149

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2021.1.137-149

**Morphological Abnormalities in Some Dominant Fish Species
from the Polluted Site of the Pozim River (Udmurt Republic, Russia)**

A.K. Mineev

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS,
Togliatti, 445003 Russia
E-mail: mineev7676@mail.ru

Received January 28, 2020

Abstract

Morphological abnormalities resulting from the anthropogenic load on juveniles of five cyprinid species (common roach (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758), common rudd (*Scardinius erythrophthalmus* Linnaeus, 1758), ide (*Leuciscus idus* Linnaeus, 1758), European chub (*Leuciscus cephalus* Linnaeus, 1758), and common bream (*Abramis brama* Linnaeus, 1758)) that are dominant in the polluted site of the Pozim River near Izhevsk were analyzed based on the data obtained in 2012. The abundance of juveniles with abnormalities was high in all the fish species examined. The number of juveniles with morphological abnormalities decreased from the early larval to late fry stages, thereby confirming that the observed malformations are lethal to fish. None of the abnormalities was confined to a particular species, and this suggests that they are not species-specific.

Keywords: anthropogenic impact, pollutants, fish juveniles, morphological abnormalities

Figure Captions

Fig. 1. Occurrence frequency of different groups of morphological abnormalities in fish juveniles from the polluted site of the Pozim River.

Fig. 2. 1 – common roach (stage E), right-side view, *a* – pigmented tumor under the right eyeball; 2 – common roach (stage D₂), left-side view, *a* – unpigmented left eyeball; *b* – unpigmented tumor behind the left eyeball; 3 – common roach (C₂), left-side view, *a* – tumor inside the left eyeball; 4 – ide (C₂), left-side view, *a* – notochord curvature in the truncal segment, *b* – notochord curvature in the caudal segment.

Fig. 3. Occurrence frequency of juveniles bearing morphological abnormalities at different development stages in the fish species studied.

References

1. Feist S.W., Lang T., Stentiford G.D., Köhler A. Biological effects of contaminants: Use of liver pathology of the European flatfish dab (*Limanda limanda* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.) for monitoring. *ICES Tech. Mar. Environ. Sci.*, 2004, vol. 38. 42 p.
2. Sindermann C.J. Pollution-associated diseases and abnormalities of fish and shellfish: A review. *Fish Bull.* (U. S.), 1979, vol. 76, no. 4, pp. 717–749.
3. Stöcker G. Zu einigen theoretischen und methodischen Aspekten der Bioindikation. In: Schubert R., Schulz J. Methodische und theoretische Grundlagen der Bioindikation. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wiss. Beiträge, 1980, T. 24, S. 10–21. (In German)
4. Moiseenko T.I. *Vodnaya ekotoksikologiya: Teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Aquatic Ecotoxicology: Theoretical and Applied Aspects]. Moscow, Nauka, 2009. 400 p. (In Russian)
5. *Ekologiya ryb Ob'-Irtyskogo basseina* [Ecology of Fishes of the Ob-Irtys Basin]. Pavlov D.S., Mochev A.D. (Eds.). Moscow, T-vo. Nauch. Izd. KMK, 2006. 596 p. (In Russian)
6. Selyukov A.G. Morphofunctional transformations in fishes of the middle and lower Ob' basin under increasing anthropogenic influence. *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, no. 8, pp. 547–565. doi: 10.1134/S0032945212040108.
7. Zhukinskii V.N. *Vliyaniye abioticheskikh faktorov na raznokachestvenost' i zhiznesposobnost' ryb v rannem ontogeneze* [Influence of Abiotic Factors on Diversity and Viability of Fish in Early Ontogenesis]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 243 p. (In Russian)
8. Lebedeva O.A., Tychemirova L.I., Philippova G.P., Zav'yalova M.N. Changes in the nature of crucian carp embryogenesis: Long-term observations and experimental studies. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1990, vol. 313, no. 1, pp. 196–199. (In Russian)
9. Makeeva A.P. *Embriologiya ryb* [Fish Embryology]. Moscow, Izd. MGU, 1992. 216 p. (In Russian)
10. Mineev A.K. Pathologies of skeletal muscles in fish from the polluted site of the Pozim River (Udmurt Republic). *Voda: Khim. Ekol.*, 2018, nos. 4–6, pp. 50–54. (In Russian)
11. Mineev A.K. Gill histopathologies in cyprinids from the polluted site of the Pozim River (Udmurt Republic). *Tr. VNIRO*, 2017, vol. 167. pp. 52–58. (In Russian)
12. Golovanov V.K. *Temperaturnye kriterii zhiznedeyatel'nosti presnovodnykh ryb* [Temperature criteria for Living of Freshwater Fishes]. Moscow, Poligraf-Plyus, 2013. 300 p. (In Russian)
13. Tsyplakov V.P. Biology, seasonal distribution, and commercial importance of bream in the Kuibyshev Reservoir. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss. Kazan*, 1966. 24 p. (In Russian)
14. Koblit'skaya A.F. *Opredelitel' molodi presnovodnykh ryb* [Guide for Identification of Juvenile Freshwater Fishes]. Moscow, Legk. Pishch. Prom-st., 1981. 208 p. (In Russian)
15. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometry]. Moscow, Vysch. Shk., 1990. 352 p. (In Russian)
16. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2014 god* [Overview of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2014]. Chernogaeva G.M. (Ed.). Moscow, Rosgidromet, 2015. 199 p. (In Russian)
17. *The Udmurt Republic National Environmental Report for 2011*. Izhevsk, 2012. 246 p. (In Russian)
18. Koval'chuk A.G., Ermakova T.N., Ryabov D.S. *The Izhevsk Environmental Report for 2012*. Popov N.M. (Ed.). Izhevsk, 2013. 79 p. (In Russian)
19. Kirpichnikov V.S. *Genetika i selektsiya ryb* [Fish Genetics and Breeding]. Leningrad, Nauka, 1987. 520 p. (In Russian)
20. Rudneva I.I., Zalevskaya I.N. Larvae of sand smelts (*Atherina hepsetus* L.) as a bioindicator of pollution in the Black Sea coastal waters. *Russ. J. Ekol.*, 2004, vol. 35, no. 2, pp. 86–90. doi: 10.1023/B:RUSE.0000018932.66058.77.
21. Stouthart X.J.H.X., Haans J.L.M., Lock R.A.C., Bonga S.E.W. Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 1996, vol. 15, no. 3, pp. 376–383. doi: 10.1002/etc.5620150323.

22. Kihara M., Ogata S., Kawano N., Kubota I., Yamaguchi R. Lordosis induction in juvenile red sea bream, *Pagrus major*, by high swimming activity. *Aquaculture*, 2002, vol. 212, nos. 1–4, pp. 149–158. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00871-7.
23. Hassanain M.A., Abbas W.T., Ibrahim T.B. Skeletal ossification impairment in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) after exposure to lead acetate. *Pak. J. Biol. Sci.*, 2012, vol. 15, no. 15, pp. 729–735. doi: 10.3923/pjbs.2012.729.735.
24. Yablokov N.O. Morphological abnormalities in the skeleton of juvenile fishes from the Kacha River (Middle Yenisei River system) along the gradient of anthropogenic impact. *Vestn. Tomsk. Gos. Univ. Biol.*, 2018, vol. 41, pp. 156–173. doi: 10.17223/19988591/41/9. (In Russian)
25. Lajis A.F.B. Effect of chemical pollutants on craniofacial development of a zebrafish embryo. *J. Bioinf. Syst. Biol.*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 001–010. doi: 10.26502/jbsb.5107001.
26. Cunningham M.E., Markle D.F., Watral V.G., Kent M.L., Curtis L.R. Patterns of fish deformities and their association with trematode cysts in the Willamette River, Oregon. *Environ. Biol. Fishes*, 2005, vol. 73, no. 1, pp. 9–19. doi: 10.1007/s10641-004-3153-5.
27. El-Mansy A.I.E., Shalloof K.A.Sh. A case of deformation in a fish from Lake Manzala, Egypt. *Global Vet.*, 2015, vol. 14, no. 5, pp. 679–685. doi: 10.5829/idosi.gv.2015.14.05.94238.
28. Crawford R.B., Guarino A.M. Effects of environmental toxicants on development of a teleost embryo. *J. Environ. Pathol., Toxicol. Oncol.*, 1985, vol. 6, no. 2, pp. 185–194.
29. Pragatheeswaran V., Loganathan B., Natarajan R., Venugapalon V.K. Cadmium induced malformation in eyes of *Ambassis commersoni* Cuvier. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1989, vol. 43, no. 5, pp. 755–760. doi: 10.1007/BF01701999.
30. Mandrioli L., Sirri R., Gustinelli A., Quaglio F., Sarli G., Chiocchetti R. Ocular gliomeuroma with medulloepitheliomatous differentiation in a goldfish (*Carassius auratus*). *J. Vet. Diagn. Invest.*, 2014, vol. 26, no. 1, pp. 167–172. doi: 10.1177/1040638713515218.
31. Boglione C., Gisbert E., Gavaia P., Witten P.E., Moren M., Fontagné S., Koumoundouros G. Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: main typologies, occurrences and causative factors. *Rev. Aquacult.*, 2013, vol. 5, no. s1, pp. S121–S167. doi: 10.1111/raq.12016.
32. Van Leeuwen C.J., Helder T., Seinen W. Aquatic toxicological aspects of dithiocarbamates and related compounds. IV. Teratogenicity and histopathology in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquat. Toxicol.*, 1986, vol. 9, nos. 2–3, pp. 147–159. doi: 10.1016/0166-445X(86)90020-2.
33. Middaugh D.P., Fournie J.W., Hemmer M.J. Vertebral abnormalities in juvenile inland silversides *Menidia beryllina* exposed to terbufos during embryogenesis. *Dis. Aquat. Org.*, 1990, vol. 9, no. 2, pp. 109–116. doi: 10.3354/dao009109.
34. Stehr C.M., Linbo T.L., Incardona J.P., Scholz N.L. The developmental neurotoxicity of fipronil: Notochord degeneration and locomotor defects in zebrafish embryos and larvae. *Toxicol. Sci.*, 2006, vol. 92, no. 1, pp. 270–278. doi: 10.1093/toxsci/kfj185.
35. Jezierska B., Ługowska K., Witeska M. The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review). *Fish Physiol. Biochem.*, 2009, vol. 35, no. 4, pp. 625–640. doi: 10.1007/s10695-008-9284-4.
36. Witten P.E., Gil-Martens G.L., Hall B.K., Huysseune A., Obach A. Compressed vertebrae in Atlantic salmon *Salmo salar*: Evidence for metaplastic chondrogenesis as a skeletogenic response late in ontogeny. *Dis. Aquat. Org.*, 2005, vol. 64, no. 3, pp. 237–246. doi: 10.3354/dao064237.

Для цитирования: Mineev A.K. Морфологические аномалии у молоди некоторых массовых видов рыб из загрязненного участка реки Позимь (Удмуртская Республика) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2021. – Т. 163, кн. 1. – С. 137–149. – doi: 10.26907/2542-064X.2021.1.137-149.

For citation: Mineev A.K. Morphological abnormalities in some dominant fish species from the polluted site of the Pozim River (Udmurt Republic, Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 1, pp. 137–149. doi: 10.26907/2542-064X.2021.1.137-149. (In Russian)