

УДК 574.52/58:597.5+57.044:504.4.054/06+550.47+556.5.01/04

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЗАСОЛЕНИЕ РУКОТВОРНЫХ ВОДОЕМОВ ПРЕДУРАЛЬЯ: ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ СОСТАВА РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ

© 2025 г. М. В. Ларионов[®], Б. Г. Котегов

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080 Россия

[®]E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.03.2024 г.

После доработки 08.11.2024 г.

Принята к публикации 08.11.2024 г.

В период с 2011 по 2020 г. изучались общая минерализация воды и состав ихтиофауны в плотинных прудах, обводненных карьерах и копанях, расположенных в Предуралье (Удмуртская Республика). Установлено, что на увеличение минерализации воды в исследованных водоемах в первую очередь влияет техногенная нагрузка на их водосборные территории, которая связана с воздействием нефтедобычи или урбанизации. Процесс умеренного вторичного засоления таких водоемов сопровождается статистически значимым увеличением числа видов в составе их рыбного населения, в основном за счет появления в них ряда короткоцикловых и малоценных представителей ихтиофауны. При этом видовое разнообразие рыб слабо связано с размерами водоемов. Полученные данные о составе рыбных сообществ могут служить биологическими показателями качества водных ресурсов в рукотворных водоемах. В санитарно-гигиенических и экологических оценках они могут использоваться в качестве дополнительных критериев к химическим показателям состояния вод, природно-ресурсного и хозяйственного потенциала соответствующих водных, прибрежных и водосборных ландшафтов. Антропогенное засоление водосборных ландшафтов и водоемов рассматривается как значимая экологическая проблема для региона.

Ключевые слова: пруды, загрязнения, минерализация воды, техногенное засоление, рыбное население, биологические показатели качества

DOI: 10.31857/S1026347025020096

Континентальные водоемы и водотоки в районах с гумидным климатом содержат основные запасы пресной воды, которые интенсивно используются человеком. Повсеместно нарастающий дефицит этих водных ресурсов связан не только с активным изъятием поверхностных природных вод на различные хозяйственные нужды, но и с изменением их химического состава вследствие прямого загрязнения или нарушения гидрологического режима водоемов (Бондур, Гребенюк, 2001; Бондур и др., 2009; Laws, 2018; Касимов и др., 2019; Kasimov *et al.*, 2020a, 2020b). Возрастающий техногенный прессинг существенно лимитирует устойчивость экосистем (Белонская и др., 2014; Романовская, 2018; Румянцев и др., 2018; Santana-González *et al.*, 2019; Pleshakova *et al.*, 2021; Volodkin *et al.*, 2021; Бондур и др., 2022; Vivallos Soto *et al.*, 2022; Ларионов, Кхедоуси, 2023; Galstyan *et al.*, 2023), что зачастую связано с повышением хозяйственных нагрузок и загрязнением. Фиксируются природные и антропогенные изменения (Matishov, Matishov, 2004; Матишов и др., 2014; Михайлов, Добролюбов, 2017; Болгов, Добролюбов,

2018; Балыкин и др., 2019) в режимах различных водоемов. Такие трансформации могут иметь кардинальное значение для самих водоемов (Семенов, Алешина, 2022) и для гидробионтов.

Отмечается снижение качества питьевой воды и возрастание экономических затрат на обеспечение ее токсикологической и экологической безопасности (Моисеенко и др., 2006; Гагарина, 2007; Fawell, 2013; Laws, 2018). Один из примеров такой трансформации источников водных ресурсов — антропогенное (вторичное) засоление пресных водоемов и водотоков, которое в настоящее время актуально не только для аридных территорий (Williams, 2001), но и для гумидных областей промышленно развитых стран с интенсивной урбанизацией (Kaushal *et al.*, 2005; Dugan *et al.*, 2017; Cañedo-Argüelles *et al.*, 2019). Как правило, оно сопровождается ухудшением санитарно-гигиенических показателей качества воды и направленными структурно-функциональными перестройками в водных биологических сообществах (Williams *et al.*, 2000; Cañedo-Argüelles *et al.*, 2013). При этом засоление природных источников

пресной воды может быть обусловлено различными антропогенными причинами и иметь свои локальные особенности, которые связаны с разным соотношением концентраций отдельных ионов, вносящих основной вклад в повышение ее общей минерализации (Kaushal *et al.*, 2018).

Цель настоящей работы – выяснить причины повышения общей минерализации воды в прудах Предуралья (на примере Удмуртской Республики), а также оценить его последствия для видового состава рыбного населения этих водоемов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Натурные исследования проведены на территориях г. Ижевска, Завьяловского, Воткинского и Якшур-Бодьинского районов Удмуртии, отчасти также в сопредельных административных районах, которые расположены в суббореальных равнинных условиях Среднего Предуралья (рис. 1). Изучены небольшие искусственные водоемы – в основном плотинные пруды на малых реках и ручьях, относящихся к бассейнам двух правобережных притоков реки Камы – средних рек Иж и Сива, а также несколько обводненных карьеров и копаней (всего 23 водных объекта). С мая по октябрь 2011–2020 гг. в их акватории проведены периодические замеры

общей минерализации воды (ОМ) кондуктометрично-мультимонитором «РНТ-028» (КНР) на глубине 50–70 см и солемером «TDS-meter HM Digital» (Южная Корея) у поверхности в ясную безветренную погоду при температуре воды 5–25°C с последующим усреднением результатов измерений. В эти же годы в рассматриваемых водоемах произведены отловы представителей ихтиофауны различными орудиями лова: преимущественно ставными экранами размером 0,8 × 1,0 м с ячейей 11–27 мм, дополнительно – ставными сетями с ячейей 18 и 30 мм, ловушками-«мордами», мальковым подъемником и крючковыми снастями. Всего отловлено более 3300 экземпляров (без учета сеголетков), определен их видовой состав и подсчитано число видов рыб (N_s), пойманных в каждом из водоемов.

По картографическим материалам, доступным в сети Интернет (www.maps.yandex.ru, www.kosmosnimki.ru), определены географические координаты мест замеров ОМ (N° – северная широта, E° – восточная долгота) и измерена площадь каждого из водоемов (S_p). Также с привлечением картографических материалов Экологического портала УР www.eco18.ru по соотношению площадей разных участков установлен преобладающий тип антропогенной трансформации (ПТАТ) территорий их водосборных бассейнов, на основании чего они распределены по пяти категориям:

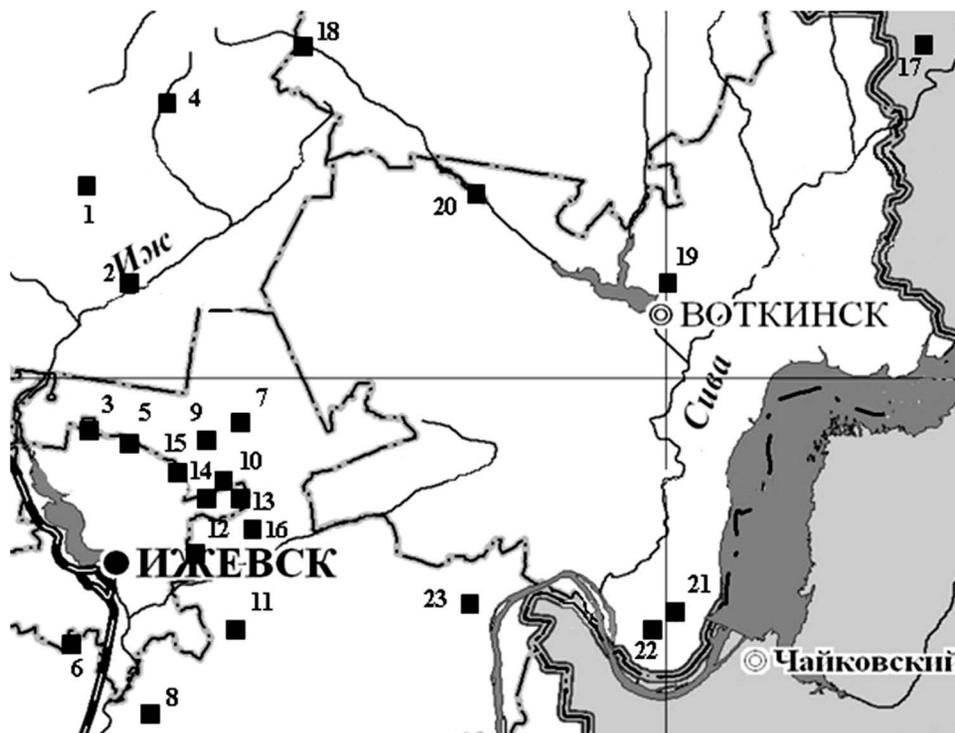


Рис. 1. Карта-схема района работ с указанием водоемов – мест сбора материала (масштаб – в 1 см 5 км, нумерацию см. в табл. 1).

1. нефтепромысловый тип (НП) – преобладание на водосборах участков территории эксплуатируемых месторождений нефти с развитой сетью объектов нефтедобычи;

2. селитебно-транспортно-промышленный тип (СТП) – преобладание участков городской территории с наличием промышленных зон и объектов автотранспортной инфраструктуры;

3. селитебно-аграрный тип (СА) – преобладание участков территории сельских населенных пунктов и сельхозугодий;

4. селитебно-рекреационный тип (СР) – преобладание участков территории пригородной малоэтажной застройки и дачных массивов;

5. природно-рекреационный тип (ПР) – преобладание загородных участков территории с естественными лесными насаждениями.

После дополнительного изучения водосборных территорий на местности для каждого из водоемов указано также наличие или отсутствие на этих территориях локальных источников антропогенного воздействия – хозяйственных объектов, отнесенных к шести категориям: «Н» – объекты нефтедобычи (нефтекачалки и др.); «П» – объекты

городской промышленности и энергетики (котельные, электроподстанции и др.); «Т» – объекты автотранспортной инфраструктуры (заправочные станции, гаражи и др.); «К» – объекты организованного коммунально-бытового водоотведения (локальные очистные сооружения и др.); «Ж» – объекты животноводства (фермы и др.); «С» – объекты массового садово-огородного хозяйства.

Статистическая обработка и анализ полученных результатов проведены стандартными методами с использованием ранговых критериев в компьютерных программах Microsoft Excel и STATISTICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение антропогенных водоемов, расположенных в Предуралье на примере центрально-восточной части Удмуртской Республики, показало, что они существенно различаются по показателям общей минерализации воды (табл. 1).

Во многих из них рассматриваемые показатели превышают средние фоновые значения, характерные для природных озер лесной зоны, т.е. 100–150 мг/дм³

Таблица 1. Основные характеристики антропогенных водоемов и их водосборов

№№	N°	E°	S _p , км ²	ОМ, мг/дм ³	N _s	ПТАТ	Источники антропогенного воздействия					
							«Н»	«П»	«Т»	«К»	«Ж»	«С»
1	57.159	53.167	0.349	195 ± 03	6	СА	–	–	+	+	+	–
2	57.075	53.222	0.157	100 ± 01	5	ПР	–	–	–	–	–	–
3	56.959	53.164	0.102	175 ± 04	3	СР	–	–	–	+	–	+
4	57.230	53.267	0.073	237 ± 05	5	НП	+	–	–	–	+	–
5	56.946	53.213	0.008	122 ± 02	2	СР	–	–	–	–	–	–
6	56.782	53.156	0.381	164 ± 03	7	СА	–	–	+	+	+	+
7	56.952	53.375	0.191	155 ± 03	5	СА	+	–	–	+	+	–
8	56.721	53.266	0.189	185 ± 10	5	СА	+	–	+	+	+	+
9	56.947	53.318	0.136	172 ± 03	4	СА	–	–	–	+	+	+
10	56.918	53.362	0.101	112 ± 02	5	СР	–	–	–	+	–	+
11	56.802	53.371	0.076	222 ± 06	5	СА	–	–	+	+	+	+
12	56.857	53.326	0.062	243 ± 09	9	СТП	–	+	+	+	–	+
13	56.901	53.379	0.016	484 ± 18	7	СТП	–	+	+	+	–	+
14	56.898	53.298	0.015	233 ± 07	3	СТП	–	+	+	–	–	–
15	56.922	53.294	0.004	205 ± 06	5	СР	–	–	–	–	–	+
16	56.871	53.399	0.016	52 ± 00	1	СР	–	–	–	–	–	–
17	57.294	54.381	0.019	178 ± 06	4	ПР	–	–	–	–	–	–
18	57.282	53.463	0.238	529 ± 30	6	НП	+	–	+	–	+	–
19	57.090	54.003	0.072	403 ± 11	5	НП	+	+	+	–	–	+
20	57.159	53.713	0.009	272 ± 09	9	НП	+	–	+	+	+	–
21	56.810	54.022	0.006	81 ± 03	2	ПР	–	–	–	–	–	–
22	56.804	53.995	0.623	195 ± 02	7	ПР	–	+	+	–	–	–
23	56.817	53.705	0.007	496 ± 15	7	НП	+	–	–	–	–	+

Примечание. Обозначения – см. текст (разд. «Материал и методы исследования»).

(Китаев, 1984; Моисеенко и др., 2006). В некоторых плотинных прудах, расположенных на территориях старых действующих месторождений нефти (№ 18, 19, 23) и промышленных зон г. Ижевска (№ 13), нами зарегистрированы величины ОМ, достигающие в отдельные месяцы 500 мг/дм³ (0.5‰) и выше. Это соответствует их переходу из категории пресных в категорию олигогалинных, согласно Венецианской системе 1958 г., которая чаще всего рассматривается экологами и гидробиологами как стандарт классификации природных вод по величинам солености (Константинов, 1986; Cañedo-Argüelles *et al.*, 2013). Минимальными величинами ОМ, не превышающими 100 мг/дм³, характеризуются два самых малых бессточных водоема копаного типа (№ 16 и 21), которые расположены в пригородной и рекреационной зонах соответственно.

Ранговый однофакторный дисперсионный анализ по критерию Краскела–Уоллиса выявил статистически значимое влияние преобладающего типа антропогенной трансформации (ПТАТ) водосборной территории на формирование различий между исследованными водоемами по среднемуголетним величинам общей минерализации воды (значение критерия 15.95; $p < 0.01$). Как показано на рис. 2, малые антропогенные водоемы, расположенные в пригородных, сельских и природно-рекреационных ландшафтах, характеризуются величинами ОМ в среднем не более 150–200 мг/дм³, тогда как в таких же водоемах, находящихся на нефтепромысловых и урбанизированных территориях, эти величины в 2–3 раза выше. Показатели общей минерализации водоемов, на водосборах которых отмечены автотранспортные и/или промышленные хозяйственные объекты, выше аналогичных показателей водоемов, не подверженных влиянию рассматриваемых источников антропогенного воздействия, и различия между ними статистически значимы (табл. 2). В то же время наличие на водосборах коммунально-бытовых и сельскохозяйственных источников биогенного загрязнения значимо не влияет на увеличение ОМ изученных водных объектов. Ранговый корреляционный анализ по Спирмену не выявил также связей данного гидрохимического параметра с площадью и географическими координатами водоемов.

Таким образом, именно техногенные факторы следует считать приоритетными для развития процессов вторичного засоления малых антропогенных водоемов Среднего Предуралья, в Удмуртии, среди которых ведущее место занимает длительная и интенсивная нефтедобыча в ряде районов республики. В отношении малых водотоков, протекающих по территориям нефтяных месторождений региона, это подтверждают исследования и других авторов (Гагарина, 2007; Холмогорова, 2009), которые обращают основное внимание на повышение в них концентраций хлоридов. Связано это не только

с проникновением высокоминерализованных межпластовых вод в верхние подземные горизонты на участках длительной нефтедобычи, но и с использованием на старых и истощенных месторождениях, содержащих тяжелую нефть, различных интенсивных технологий – в том числе с применением в качестве одного из реагентов, растворяющих подземные карбонатные пласты, соляной кислоты. В частности, такие технологии использовались на Чутырско-Киенгопском и Гремихинском месторождениях нефти (Богомольный, 2003), где расположены пруды-отстойники № 18 и № 23 соответственно. При этом роль природных факторов в изменении величин ОМ исследованных водоемов вторична: по нашим данным, она проявляется лишь на уровне некоторого влияния состава рыхлых

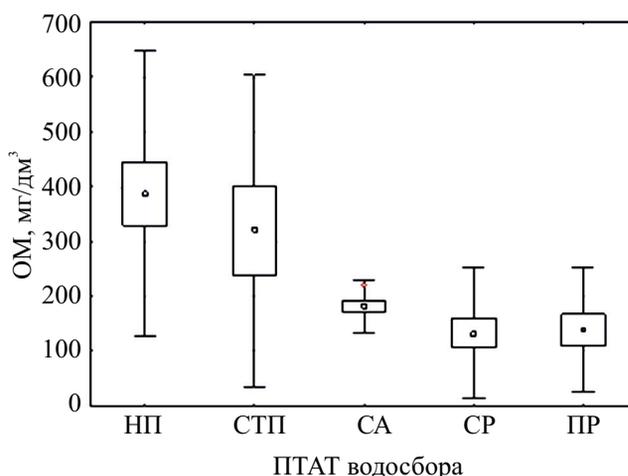


Рис. 2. Средние значения общей минерализации (ОМ) воды в антропогенных водоемах с разным преобладающим типом антропогенной трансформации (ПТАТ) водосбора.

Таблица 2. Оценка различий между группами исследованных водоемов по площади и величинам общей минерализации воды в зависимости от присутствия/отсутствия разных источников антропогенного воздействия на их водосборах (критерий Манна–Уитни)

Показатель	Источники антропогенного воздействия					
	«Н»	«П»	«Т»	«К»	«Ж»	«С»
S _p	52.0	42.5	41.5	37.5	25.0*	64.5
ОМ	22.0*	17.5*	23.0**	64.5	52.5	49.0
n ₊ / n ₋	7/16	5/18	11/12	11/12	9/14	11/12

Примечание. n₊ / n₋ – число водоемов в группах присутствия/отсутствия, * – значения критерия, статистически значимые на уровне $p < 0.05$, ** – на уровне $p < 0.01$, остальные обозначения – см. текст (разд. «Материал и методы исследования»).

почвообразующих пород, преобладающих на водосборах (Котегов, Лоханина, 2018).

В условиях урбанизированной среды г. Ижевска основными причинами засоления малых прудов являются организованные сбросы недостаточно очищенных промышленных сточных вод и неорганизованный смыв соледержащих реагентов с линейных участков автодорог и площадных объектов автотранспортной инфраструктуры в периоды весеннего снеготаяния. Примером воздействия первого типа является Смирновский пруд на р. Тонковка (№ 13), расположенный в 500 м ниже по течению от каскада прудов городской ТЭЦ-2, выполняющих функции резервуаров, отстойников и охладителей в системе оборотного водоснабжения данного энергетического производства. По нашим данным, величины ОМ в этом пруду достигают 600 мг/дм³, а в самом охладителе ТЭЦ-2 — 800 мг/дм³ и выше. Пример воздействия второго типа — Чемошурский пруд (№ 12), в котором ежегодно в начале мая за счет талых вод, поступающих с территорий восточных окраин г. Ижевска и насыщенных солями автотранспортного происхождения, общая минерализация воды повышается до 350 мг/дм³, постепенно снижаясь затем к середине лета до 150–200 мг/дм³. Еще в одном водоеме — специализированном отстойнике, куда вывозят избыток загрязненного снега после расчистки городских автодорог, величины ОМ составляют более 1000 мг/дм³, а величины рН — менее 4 ед. (по второй причине в этом водоеме отсутствуют какие-либо представители ихтиофауны, и потому он нами не учтен в статистическом анализе).

Таким образом, применение антигололедных минеральных реагентов на объектах автотранспортной инфраструктуры в зимний период наряду с промышленным химическим загрязнением тоже может приводить к вторичному засолению городских пресных вод. Это подтверждается и другими авторами (Williams *et al.*, 2000; Ramakrishna, Viraraghavan, 2005).

Результаты изучения видового состава рыбного населения малых антропогенных водоемов, расположенных на территории Удмуртской Республики, показали, что с повышением общей минерализации воды в пределах от 50–100 до 500–600 мг/дм³ число видов рыб, обитающих в них, возрастает (рис. 3). Связь значений N_s с величинами ОМ статистически значима на уровне $p < 0.01$ (значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена 0.616). При этом число видов рыб, зарегистрированных нами в рассматриваемых водоемах, не имеет значимых связей с их площадью и географическими координатами, тогда как встречаемость отдельных представителей ихтиофауны в значительной степени зависит от размерных характеристик водоемов. Так, малые антропогенные водоемы, где обитают плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), речной окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758),

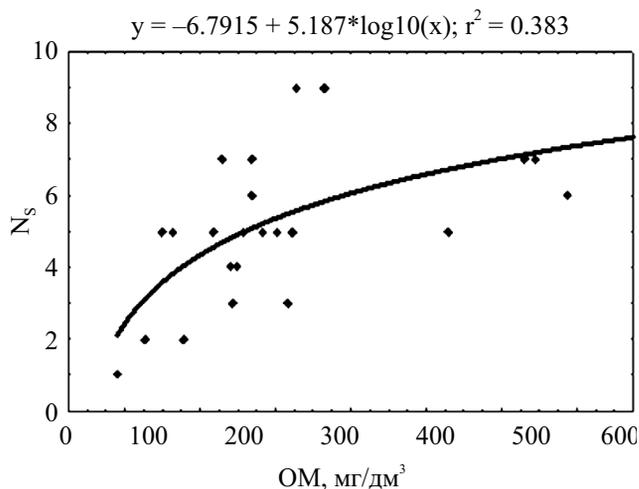


Рис. 3. Зависимость числа видов рыб (N_s), обитающих в антропогенных водоемах, от средних величин их общей минерализации (ОМ).

уклейка *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758), щука *Esox lucius* (Linnaeus, 1758) и лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), имеют в среднем большую площадь по сравнению с теми водоемами, где эти виды рыб нами не отмечены. Наоборот, золотой карась *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), серебряный карась *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), волжский пескарь *Gobio volgensis* Vasil'eva, Mendel, Vasil'ev, Lusk & Lusková, 2008 и усатый голец *Barbatula barbatula* (Linnaeus, 1758) предпочитают водоемы наименьшего размера (менее 0.02 км²) и реже встречаются в более крупных водоемах. Различия по величинам S_p между водоемами, в которых присутствуют или отсутствуют вышеуказанные виды рыб, статистически значимы (табл. 3). При этом в малых антропогенных водоемах, имеющих площадь более 0.05 км², всегда доминирует по численности плотва, часто совместно с речным окунем, реже с верховкой *Leucaspis delineatus* (Heckel, 1843). В свою очередь, в водоемах меньшего размера в числе видов-доминантов чаще всего отмечаются золотой карась и верховка, реже — плотва, волжский пескарь или (в последние годы) серебряный карась.

Таким образом, размер малых антропогенных водоемов в большей степени влияет на замену одних видов другими (в том числе на смену видов-доминантов) в составе их рыбного населения, нежели на общее число видов рыб. Тогда как это число (N_s) может зависеть от других характеристик водоема, например, от гидрохимических параметров, изменение которых способствует или препятствует появлению в них представителей ихтиофауны с определенными требованиями к абиотическим и биотическим условиям. Как видно из табл. 3, умеренное повышение общей минерализации таких водоемов сопровождается статистически значимым увеличением

Таблица 3. Оценка различий между группами исследованных водоемов по площади и величинам общей минерализации воды в зависимости от присутствия/отсутствия разных видов в составе их рыбного населения (критерий Манна–Уитни)

Показатель	Виды рыб										
	<i>Leucaspis deloneatus</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Carassius gibelio</i>	<i>Carassius carassius</i>	<i>Tinca tinca</i>	<i>Alburnus alburnus</i>	<i>Esox lucius</i>	<i>Abramis brama</i>	<i>Gobio volgensis</i>	<i>Barbatula barbatula</i>
S_p	36.5	4.0**↑	4.0**↑	29.5*↓	21.0*↓	35.5*↑	27.0*↑	23.0*↑	17.0*↑	11.5*↓	11.5*↓
ОМ	28.5	55.0	55.0	47.0	41.0	50.0	43.0	54.0	35.5	11.0*↑	11.0*↑
n_+ / n_-	17 / 6	15 / 8	15 / 8	12 / 11	11 / 12	10 / 13	8 / 15	7 / 16	4 / 19	4 / 19	4 / 19

Примечание. n_+ / n_- , *, ** – см. табл. 2, ↑ – средний показатель в группе присутствия выше, чем в группе отсутствия, ↓ – наоборот.

встречаемости в них двух видов рыб – волжского пескаря и усатого гольца. Взрослые особи этих видов пресноводной ихтиофауны питаются преимущественно донными беспозвоночными животными (Атлас ..., 2003; Kottelat, Freyhof, 2007), поэтому можно предположить, что их появление в составе рыбного населения ряда исследованных водоемов является следствием увеличения продуктивности кормовых организмов прудового зообентоса и расширения трофической ниши для рыб-бентофагов в измененных гидрохимических условиях. Так, некоторые исследователи отмечают, что с повышением общей минерализации воды в диапазоне значений, характерных для пресных вод, биомасса лентического зообентоса возрастает (Китаев, 1984), хотя при дальнейшем росте величины ОМ в миксогалинных диапазонах эта тенденция меняется на противоположную (Жукова, Безматерных, 2013).

Также нужно учесть, что, в отличие от большинства других видов рыб, зарегистрированных нами в антропогенных водоемах Удмуртии, волжский пескарь и усатый голец являются псаммофилами по типу нереста и предпочитают песчаные грунты в качестве подводного нерестового субстрата. Поэтому чаще всего они встречаются в небольших реках и ручьях с преобладанием грунтов такого типа, где могут доминировать в составе рыбной части сообществ (Kotegov, 2007). Как следствие, не исключено, что для их постоянного обитания в плотинных прудах более важным условием является наличие незаиленных донных отложений с осажденными минеральными взвешями, формирующихся в подпорных зонах таких водоемов в результате интенсивного эрозионного смыва частиц грунта тальми и дождевыми водами с антропогенно трансформированных водосборов и являющихся для этих видов рыб наиболее подходящими репродуктивными и кормовыми биотопами. Тогда как увеличение общей минерализации воды

для них – не определяющий, а лишь сопутствующий внешний фактор комплексного техногенного воздействия со стороны площадных объектов нефтедобычи и автотранспортной деятельности, по отношению к которому эти виды рыб проявляют определенную толерантность (Атлас ..., 2003).

Следует отметить, что максимальное число видов (9) зарегистрировано нами в составе рыбного населения двух малых антропогенных водоемов, каждый из которых подвержен техногенному воздействию, но при этом характеризуется не самыми высокими средними величинами TDS воды (см. табл. 1, рис. 3). Один из них – Чемошурский пруд, в котором, помимо аборигенных плотвы, речного окуня и золотого карася, обитают интродуцированные серебряный карась и карп *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). В этом же водоеме отмечены еще четыре вида рыб, короткоциклового и малоценного в промысловом отношении: волжский пескарь, усатый голец, верховка и уклейка. Первые два вида в основном придерживаются подпорной зоны пруда с глинисто-песчаными наносными отмелями в соответствии с их биологическими особенностями, отмеченными выше. В то же время наличие в Чемошурском пруду верховки и уклейки, по нашему мнению, в большей степени является следствием повышения внешней биогенной нагрузки на него со стороны урбанизированной среды: как минимум в части минерального азота. Большое количество нитратов, образующихся из оксидов азота автотранспортного и теплоэнергетического происхождения, которые накапливаются за зиму в снежном покрове, поступает в этот водоем весной с городской территории с тальми водами наряду с хлоридными солями антигололедных реагентов. Ранее нами уже отмечалось, что появление в составе рыбного населения малых антропогенных водоемов Предуралья этих двух стайных верхнепелагических видов рыб, относительно специализированных по питанию зоопланктоном, значимо

связано с повышением содержания в них ионных форм азота (Котегов, 2021). Хорошо известно, что такие растворенные биогены, как нитраты, стимулируют увеличение продуктивности фитопланктона в небольших водоемах, а это, в свою очередь, может положительно отражаться и на количественных показателях зоопланктона, который активно используется в пищу рассматриваемыми представителями ихтиофауны. Исходя из этого в дальнейшем нами дополнительно планируется изучить трофические особенности исследованных прудов по ряду химических и биологических критериев и оценить степень их возможного влияния на видовое богатство рыбного населения.

Второй водоем с наибольшим числом зарегистрированных видов рыб – Черновской прудостойник (№ 20) на р. Вотке, расположенный на территории одноименного месторождения нефти. Несмотря на его минимальные размеры (менее 0.01 км²), здесь нами отловлены не только плотва, речной окунь, золотой карась, верховка и уклейка, но и такие промысловые виды региональной ихтиофауны, как лещ и щука, а также единично – карп и голавль *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758). Появление особей последних четырех видов рыб в этом водоеме имеет транзитный характер. На него влияет возможность их периодического проникновения во время весенних миграций из нижнего бьефа реки через низкую плотину с нерегулируемым поверхностным водосливом (на фоне высоких уровней воды), а также наличие на данном водотоке в 10 км ниже по течению достаточно большого городского водохранилища (более 18 км², см. рис. 1) – основного места обитания леща, щуки и карпа в бассейне р. Вотки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, среди рукотворных водоемов Предуралья, расположенных в Удмуртской Республике, отмечаются пруды с умеренным вторичным засолением. Оно определяется, прежде всего, техногенным химическим воздействием со стороны нефтедобычи, городской промышленности и автотранспортной деятельности. С повышением общей минерализации пресной воды до определенного уровня (500–600 мг/дм³) прослеживается статистически значимая тенденция увеличения числа видов рыб, постоянно обитающих в таких водоемах. Чаше всего такое увеличение происходит за счет появления в составе рыбного населения малых антропогенных водоемов, подверженных техногенному воздействию, короткоциклового и непромыслового представителей ихтиофауны. Рассматриваемую тенденцию могут модулировать другие внешние факторы – совместное поступление в избыточном количестве с водосбора, подверженного техногенной

трансформации, не только главных солевых ионов, но и других веществ (минеральных форм азота, взвешей), а также степень пространственной изоляции водоема и вселение аллохтонных видов рыб. Таким образом, состав рыбного населения указывает на направления и последствия разнообразных хозяйственных и загрязняющих воздействий на окружающую среду, включая водосборные, околородные и водные экосистемы. Выявленная закономерность может быть положена в основу экомониторинга и включена в программы регионального и межрегионального экологического контроля водных и околородных территорий, учета водных и биологических ресурсов, а также для расширения критерияльных оценок гигиенического качества водоемов в населенных пунктах и в зонах техногенного влияния объектов нефтедобычи, хранения, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследовательская работа не имела внешнего финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов.

БИОЭТИКА

Для исследований производился отлов особей в количестве, необходимом для получения достоверной информации и при соблюдении российских и международных биоэтических норм. Отловы не производили в сроки нерестового запрета, и всех отловленных особей после учета и определения видовой принадлежности отпускали обратно в водоем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. Т. 2. / Под ред. Ю.С. Решетникова. М.: Наука, 2003. 253 с.
- Балыкин П.А., Куцын Д.Н., Орлов А.М. Изменения солености и видового состава ихтиофауны в Азовском море // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 396–404. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574593396-404>
- Белоновская Е.А., Кренке-мл. А.Н., Тишков А.А., Царевская Н.Г. Природная и антропогенная фрагментация растительного покрова Валдайского Поозерья // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2014. № 5. С. 67–82.
- Богомольный Е.И. Интенсификация добычи высоковязких парафинистых нефтей из карбонатных коллекторов месторождений Удмуртии.

- Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 270 с.
- Болгов М.В., Добролюбов С.А.* Задачи гидрометеорологии Волго-Каспийского региона // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 5–7.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В.* Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты // Исследование Земли из космоса. 2001. № 6. С. 49–67.
- Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П.* Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М: Научный мир, 2009. 692 с.
- Бондур В.Г., Замшин В.В., Четркова О.И.* Исследование аномального биогенного загрязнения мраморного моря по спутниковым данным // Доклады РАН. Наука о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 138–147. <https://doi.org/10.31857/S2686739722601508>
- Гагарина О.В.* Анализ временной динамики и пространственной изменчивости качества поверхностных вод Удмуртии: Автореф. дис. канд. геогр. наук. Ижевск, 2007. 23 с.
- Жукова О.Н., Безматерных Д.М.* Минерализация как фактор формирования зообентоса озер юга Обь-Иртышского междуречья // Тр. Зоол. ин-та РАН. Прил. 2013. № 3. С. 120–127.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Лычагин М.Ю. и др.* Эколого-географический атлас-монография «Селенга – Байкал»: Труды Байкальской экспедиции. Вып. 1. М.: Геогр. фак. МГУ, 2019. 288 с.
- Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Константинов А.С.* Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1986. 469 с.
- Котегов Б.Г.* Особенности видового состава и структуры сообществ рыб в малых антропогенных водоемах с разным содержанием растворенного минерального азота // Известия Саратовского университета. Сер. Хим. Биол. Экол. 2021. Т. 21. № 4. С. 466–477.
- 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.
- Ларионов М.В., Кхедоуси С.М.* Ведущие экологически неблагоприятные и опасные факторы от объектов воздушного транспорта для окружающей среды и населения и биозащитные возможности озеленения (Московская агломерация) // Естественные и технические науки. 2023. № 12. С. 140–147. <https://doi.org/10.25633/ETN.2023.12.15>
- Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н., Лужняк В.А., Старцев А.В.* Результаты ихтиологических исследований устьевого взморья Дона. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014, 160 с.
- Михайлов В.Н., Добролюбов С.А.* Гидрология. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 752 с.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А.* Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 260 с.
- Романовская А.А.* Потребности и пути развития мониторинга адаптации // ПЭММЭ. Т. 29. №1. 2018. С. 107–126. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2018-107-126>
- Румянцев В.А., Измайлова А.В., Дробкова В.Г., Кондратьев С.А.* Современное состояние и проблемы озёрного фонда европейской части России // Вестник РАН. 2018. Т. 88. № 6. С. 539–550. <https://doi.org/10.7868/S0869587318060075>
- Семенов В.А., Алешина М.А.* Сценарные прогнозы изменений температурного и гидрологического режима Крыма в XXI веке по данным моделей климата CMIP61 // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 4. С. 506–516.
- Холмогорова Н.В.* Трансформация фауны макрозообентоса малых рек Удмуртии под воздействием факторов нефтедобычи: Автореф. дис. канд. биол. наук. Казань, 2009. 24 с.
- Cañedo-Argüelles M., Kefford B.J., Piscart C., Prat N., Schäfer R.B., Schulz C.-J.* Salinisation of rivers: an urgent ecological issue // Environ. Poll. 2013. V. 173. P. 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.011>
- Cañedo-Argüelles M., Kefford B., Schäfer R.* Salt in freshwaters: causes, effects and prospects – introduction to the theme issue // Phil. Trans. Roy. Soc. B. 2019. V. 374. 20180002. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0002>
- Dugan H.A., Barlett S.L., Burke S.M., Doubek Jn.P., Krivak-Tetley F.E., Skaff N.K., Summers J.C., Farrell K.J., McCullough I.M., Morales-Williams A.M., Roberts D.C., Ouyang Z., Scordo F., Hanson P.C., Weathers K.C.* Salting our freshwater lakes // PNAS. 2017. V. 114. № 17. P. 4453–4458. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620211114>
- Fawell J.K.* Drinking water quality and health // Pollution: causes, effects and control / Ed. by R.M. Harrison. Cambridge: RSC, 2013. P. 60.
- Galstyan M.H., Larionov M.V., Sayadyan H.Y., Sargsyan K.S.* Assessment of Ecological and Toxicological State of Soils and Waters in the Neighborhood of Mining Industry Enterprises in the Armenian Highlands // Life. 2023. V. 13. № 2. 394. <https://doi.org/10.3390/life13020394>
- Kasimov N., Shinkareva G., Lychagin M., Kosheleva N., Chalov S., Pashkina M., Thorslund J., Jarsjö J.* River Water Quality of the Selenga-Baikal Basin: Part I-Spatio-Temporal Patterns of Dissolved and Suspended Metals // Water. 2020a. V. 12. № 8. 2137. <https://doi.org/10.3390/w12082137>
- Kasimov N., Shinkareva G., Lychagin M. et al.* River Water Quality of the Selenga-Baikal Basin: Part II-Metal Partitioning under Different Hydroclimatic Conditions // Water. 2020b. V. 12. № 9. 2392. <https://doi.org/10.3390/w12092392>

- Kaushal S.S., Groffman P.M., Likens G.E., Belt K.T., Stack W.P., Kelly V.R., Band L.E., Fisher G.T.* Increased salinization of fresh water in the Northeastern United States // *PNAS*. 2005. V. 102. № 38. P. 13517–13520. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506414102>
- Kaushal S.S., Likens G.E., Pace M.L., R.M. Utz, Haq Sh., Gorman Ju., Grese M.* Freshwater salinization syndrome on a continental scale // *PNAS*. 2018. V. 115. № 4. P. E574–E583. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711234115>
- Kotegov B.G.* Special features of fish species composition and community structure in small rivers of the Udmurt Republic // *Russ. J. Ecol.* 2007. V. 38. № 4. P. 253–261. <https://doi.org/10.1134/S1067413607040066>
- Kottelat M., Freyhof J.* Handbook of European freshwater fishes. Cornol, Switzerland, Berlin, Germany: Kottelat & Freyhof, 2007.
- Laws E.A.* Aquatic pollution: an introductory text. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 768 p.
- Matishov D.G., Matishov G.G.* Radioecology in Northern European Seas. Heidelberg: Springer Berlin, 2004. 340 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09658-1>
- Pleshakova E., Ngun C., Reshetnikov M., Larionov M.V.* Evaluation of the Ecological Potential of Microorganisms for Purifying Water with High Iron Content // *Water*. 2021. V. 13. № 7. 901. <https://doi.org/10.3390/w13070901>
- Ramakrishna D.M., Viraraghavan T.* Environmental impact of chemical deicers – a review // *Water, Air & Soil Pollution*. 2005. V. 166. № 1-4. P. 49–63. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-8265-9>
- Santana-González C., González-Dávila M., Santana-Casiano J.M., Gladyshev S., Sokov A.* Organic matter effect on Fe(II) oxidation kinetics in the Labrador Sea // *Chemical Geology*. 2019. V. 511. № 2. P. 238–255. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.12.019>
- Vivallos Soto C., Ruiz Bertín F., Robles Calderón C., Larionov M.V., Arias Ordóñez P.J., Cevallos Baque I.* Bio-digestion System Made of Polyethylene and Polystyrene Insulator for Dog Farm (on the Example of the Republic of Chile) // *Life*. 2022. V. 12. № 12. 2039. <https://doi.org/10.3390/life12122039>
- Volodkin A.A., Larionov M.V., Sharunov O.A.* Changes in the structure of forest communities in Penza region under the influence of natural factors // *IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci.* 2021. V. 808. № 1. 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/808/1/012064>
- Williams D.D., Williams N.E., Cao Y.* Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact // *Wat. Res.* 2000. V. 34. № 1. P. 127–138. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00129-3)
- Williams W.D.* 2001. Anthropogenic salinisation of inland waters // *Hydrobiologia*. V. 466. № 1-3. P. 329–337. <https://doi.org/10.1023/a:1014598509028>

Technogenic Pollution and Salinization of the Man-Made Reservoirs in the Cis-Urals: the Main Causes and Consequences for the Composition of the Fish Communities

M. V. Larionov[#], B. G. Kotegov

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University), Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080 Russia
#e-mail: m.larionow2014@yandex.ru*

Over the past few years, the assessment of water pollution has been carried out in dam ponds, flooded quarries and diggings located in the Cis-Ural Region (Udmurt Republic). This is the significant environmental and hygienic problem for the region due to the diversity of sources supplying pollutants to drainage landscapes and water bodies. It was found out that the increase in water mineralization in the studied reservoirs is primarily influenced by the technogenic load on their catchments, which is associated with the impact of the oil production or urbanization. The process of secondary technogenic salinization of such reservoirs is accompanied by the statistically significant increase in the number of the species in their fish communities, mainly due to the appearance of the some short-cycle and low-valuable representatives of the ichthyofauna. The obtained data on the reactions of aquatic organisms using the example of the actual composition of the fish population can be used as biological indicators of the quality of water resources in man-made reservoirs. In hygienic and environmental assessments, they can be used as additional criteria to chemical indicators of the state of waters, natural resource and economic potential of the corresponding water, coastal and drainage landscapes.

Keywords: ponds, pollution, water mineralization, technogenic salinization, fish population, biological quality indicators