

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109

EDN: WVFHBJ

УДК 502.51:556.535.8(571.1)



Научная статья

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕКИ ИРТЫШ В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ В ГРАНИЦАХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Н. Жаркова, О.П. Баженова, А.С. Болтовская

Аннотация

Обоснование. Актуальность работы обусловлена необходимостью проведения мониторинга качества вод подверженной интенсивному антропогенному воздействию трансграничной реки Иртыш и выявлению закономерностей изменений концентраций тяжелых металлов ($\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+}) в период открытой воды в границах Омской области. Новизна исследований обусловлена отсутствием актуальных данных по содержанию тяжелых металлов в воде р. Иртыш на территории Омской области.

Цель. Оценить уровень содержания тяжелых металлов в воде реки Иртыш и установить их динамику в период открытой воды в границах Омской области.

Материалы и методы. В статье использованы материалы гидрохимического анализа реки Иртыш на территории Омской области в период открытой воды (май–октябрь) 2023 г. Отбор проб воды осуществляли один раз в месяц из поверхностного слоя (0–0,2 м) пробоотборником в 15 пунктах по течению реки. Гидрохимический анализ осуществляли в аккредитованной лаборатории ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному

округу» (г. Омск) по 6 показателям: $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+} . Концентрации $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Zn , Cu , Mn , определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, Hg – атомно-эмиссионным методом.

Результаты. Установлено превышение среднемесячных значений предельно допустимых концентраций для вод рыбохозяйственного назначения по ряду показателей: $\text{Fe}_{\text{общ}}$ – в 1,4-5,3 раза, Zn^{2+} – в 1,1-7,6 раз, Cu^{2+} – в 2,0-5,0 раз, Mn^{2+} – в 1,2-1,9 раз. Среднемесячные концентрации Hg^{2+} не превышали нормативных значений. Показатели содержания $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu^{2+} и Mn^{2+} зависели от сезона года – максимальные значения отмечались в весеннее половодье, а в период летне-осенней межени снижались. Для Zn^{2+} четких закономерностей в изменении содержания в природных водах по сезонам года не выявлено.

Заключение. Динамика содержания тяжелых металлов ($\text{Fe}_{\text{общ}}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+}) в воде р. Иртыш в период открытой воды 2023 г. в границах Омской области определяется взаимодействием антропогенных и природных факторов. Концентрации указанных ионов тяжелых металлов, кроме ртути, по всему течению реки в границах Омской области превышают ПДК_{р.х.}. Качество воды не соответствует гигиеническим нормативам.

Ключевые слова: поверхностные воды; тяжелые металлы; река; Иртыш; Омская область

Для цитирования. Жаркова, Н. Н., Баженова, О. П., & Болтовская, А. С. (2025). Динамика содержания тяжелых металлов в воде реки Иртыш в период открытой воды в границах Омской области. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 98-123. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109>

Original article

DYNAMICS OF HEAVY METALS CONTENT IN THE IRTYSH RIVER WATER DURING THE OPEN WATER PERIOD WITHIN THE BOUNDARIES OF OMSK REGION

N.N. Zharkova, O.P. Bazhenova, A.S. Boltovskaya

Abstract

Background. The relevance of the work is due to the need to monitor the water quality of the trans-boundary Irtysh River subjected to intensive anthropogenic impact and to identify patterns of changes in the concentrations of heavy metals (Fe_{total})

Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+}) during the open water period within the boundaries of the Omsk region. The novelty of the research is due to the lack of current data on the content of heavy metals in the Irtysh River water in the Omsk region.

Purpose. To estimate the level of heavy metals content in the Irtysh River water and to establish their dynamics during the period of open water within the boundaries of the Omsk region.

Materials and methods. Materials of hydrochemical analysis of the Irtysh River in the territory of Omsk region in the period of open water (May-October) 2023 were used in the article. Sampling was carried out once a month from the surface water layer (0-0.2 m) by sampler in 15 points along the river. A total of 90 water samples were collected and analyzed during the study period. Hydrochemical analysis was carried out in the accredited laboratory of FGBU “Center for Laboratory Analysis and Technical Measurements in the Siberian Federal District” (Omsk) for 6 indicators: Fe_{total} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+} . Concentrations of Fe_{total} , Zn, Cu, Mn were determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, Hg – by atomic emission method.

Results. The average monthly values of maximum permissible concentrations for fishery waters were found to be exceeded for a number of indicators: Fe – 1.4-5.3 times, Zn – 1.1-7.6 times, Cu – 2.0-5.0 times, Mn – 1.2-1.9 times. Average monthly concentrations of mercury did not exceed the normative values. Concentrations of Fe, Cu and Mn depended on the season of the year - maximum values were observed in spring floods. During the summer-autumn low water period the concentrations of these elements decreased. For Zn ions no clear patterns in the change of content in natural waters by seasons of the year were revealed.

Conclusion. Dynamics of heavy metal content (Fe_{total} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+}) in the Irtysh River water during the period of open water in 2023 within the boundaries of the Omsk region is determined by the interaction of anthropogenic and natural factors. Concentrations of the mentioned heavy metal ions, except for mercury, along the whole course of the river within the boundaries of the Omsk region exceed MPC_{fish} . Water quality does not meet hygienic standards.

Keywords: surface water; heavy metals; river; Irtysh; Omsk Region

For citation. Zharkova, N. N., Bazhenova, O. P., & Boltovskaya, A. S. (2025). Dynamics of heavy metals content in the Irtysh River water during the open water period within the boundaries of Omsk Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 98-123. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109>

Введение

Трансграничная река Иртыш является самым крупным левым притоком Оби с площадью бассейна 1643 тыс. км², протекающий по тер-

ритории трех государств: Китайской Народной Республики (КНР), Республики Казахстан (РК) и Российской Федерации (РФ). Наибольшую протяженность Иртыш имеет на территории России – 2048 км, в КНР длина реки составляет 618 км, в РК – 1614 км [6]. Водные ресурсы Иртыша интенсивно используются для обеспечения потребностей в питьевом, промышленном и сельскохозяйственном водоснабжении растущего населения трех государств.

Экосистема Иртыша подвержена высокому уровню антропогенного воздействия, что обусловлено рядом причин. Прежде всего, это зарегулирование верхнего течения реки каскадом глубоководных водохранилищ, расположенных на территории Казахстана – Бухтарминским, Усть-Каменогорским и Шульбинским [6]. В бассейне реки расположены крупные промышленные комплексы Казахстана и России, сточные воды которых в итоге поступают в Иртыш, поэтому для вод реки и его притоков на территории России характерна высокая загрязненность соединениями тяжелых металлов [14].

Водосборная площадь бассейна Иртыша в пределах РК подвержена значительному техногенному загрязнению тяжелых металлов, их средняя многолетняя концентрация превышает фоновое значение в десятки и сотни раз [23]. Кроме этого, бассейн Иртыша издавна является территорией интенсивного земледелия, огромное влияние на экосистему реки оказывают стоки с сельскохозяйственных угодий, животноводческих комплексов, продукты эрозии почв и неочищенные сточные воды населенных пунктов [6, 28].

В 2022 г. Иртыш был включен в единый федеральный проект по экологическому оздоровлению крупных рек России, начало которого планируется в 2025 г. [30]. В настоящее время, в целях повышения эффективности проводимых надзорных мероприятий в области использования и охраны водных объектов, а также предупреждения и пресечения правонарушений в области охраны окружающей среды, Федеральной службой по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) организована работа по предварительной оценке экологического состояния пяти крупных рек и их водоохранных зон в Российской Федерации, в т. ч. реки Иртыш [15].

Российский участок Иртыша расположен последним по течению реки и охватывает его среднее и нижнее течение, именно здесь наиболее полно проявляются все антропогенные воздействия, оказываемые на экосистему трансграничной реки [7]. Первый субъект РФ, на территорию которого

поступают воды Иртыша – Омская область, полностью расположенная в бассейне среднего течения реки.

Тяжелыми металлами (ТМ) принято считать элементы с атомной массой больше 50. Данные элементы обладают высокой токсичностью для многих живых организмов и являются опасными загрязнителями водной среды, так как не подвергаются биодegradации и могут накапливаться в донных отложениях и гидробионтах [32, с. 48]. Определение содержания ТМ в водных объектах включают в программы экологического мониторинга, так как от концентрации этих элементов зависит качество воды.

На сегодняшний день загрязнение речных систем ТМ стало особой проблемой, так как их соединения в поверхностных водах способны сохраняться долгое время даже после устранения источника загрязнения. ТМ не подвергаются естественному разложению и способны накапливаться в различных компонентах окружающей среды, в том числе и в живых организмах. Поэтому наряду с определением концентраций ТМ важное значение имеет изучение закономерностей их распределения в основные фазы водного режима на отдельных участках речных систем [3, с. 121; 39].

В связи с вышесказанным, исследование качества вод Иртыша на территории Омской области имеет ключевое значение в оценке экологического состояния реки в целом.

Цель исследования – оценить уровень содержания тяжелых металлов (Zn, Cu, Mn, Fe, Hg) в воде реки Иртыш установить их динамику в период открытой воды в границах Омской области.

Материалы и методы исследования

В статье использованы материалы гидрохимического анализа реки Иртыш на территории Омской области в период открытой воды (май–октябрь) 2023 г. Пункты отбора проб были расположены в наиболее подверженных загрязнению участках, а также вблизи крупных объектов, расположенных на территории Омской области, и оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (табл. 1).

Отбор проб проводили один раз в месяц из поверхностного слоя воды (0–0,2 м) пробоотборником ПЦР-2,0 НС в 15 пунктах по течению реки, согласно требованиям ГОСТ 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». Отбор проб осуществлялся лично одним из соавторов. Общее количество проб воды – 90 (рис. 1).

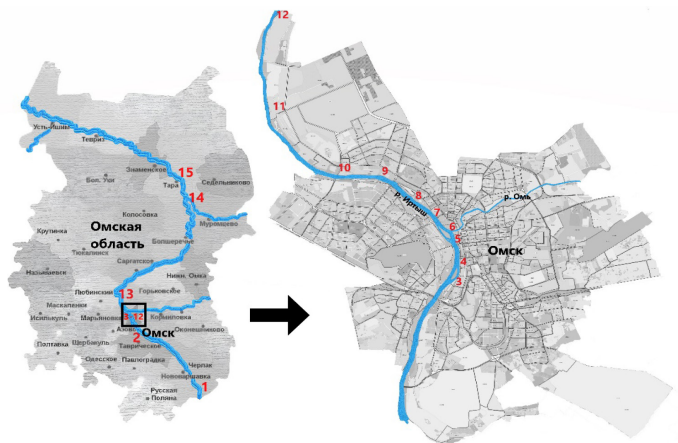
Таблица 1.

**Координаты пунктов отбора проб воды реки Иртыш в границах
Омской области, 2023 г. [15]**

№	Пункты отбора	Географические координаты
1	д. Ольховка, Черлакский район (граница с Республикой Казахстан)	N 53.88875° E 75.04651°
2	Выше пос. Ачаир, Омский район	N 54.58524° E 74.01983°
3	В створе ул. Рождественского, г. Омск	N 54.94709° E 73.37420°
4	В створе ул. Циолковского, г. Омск	N 54.96608° E 73.37640°
5	Ниже Ленинградского моста, г. Омск	N 54.97685° E 73.37216°
6	Ниже устья р. Оми, г. Омск	N 54.98396° E 73.36089°
7	Выше моста им. 60-летия Победы, г. Омск	N 54.98861° E 73.34826°
8	Затон вблизи пос. Рыбачий, г. Омск	N 55.00179° E 73.32338°
9	Ниже моста им. 60-летия ВЛКСМ, г. Омск	N 55.01679° E 73.29318°
10	В створе дома 27/2 по ул. Пригородная, г. Омск	N 55.02123° E 73.25544°
11	Ниже пос. Николаевка, г. Омск	N 55.07213° E 73.15096°
12	Ниже Красногорского гидроузла, г. Омск	N 55.09603° E 73.14217°
13	Ниже с. Красноярка, Омский район	N 55.34974° E 73.17397°
14	Ниже устья р. Тары, Тарский район	N 56.69556° E 74.60164°
15	Ниже г. Тары	N 56.93456° E 74.35900°

Гидрохимический анализ осуществляли в аккредитованной лаборатории ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному округу» (г. Омск) по 5 показателям: $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+} . Концентрации $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ПНД

Ф14.1:2:4.135-98), Hg^{2+} – атомно-эмиссионным методом с применением спектрометров серии ICAP 6000 D (ФР.1.31.2013.15940, НЦВ – 002-2012).



Примечание: номера пунктов отбора проб те же, что в табл. 1.

Рис. 1. Схема отбора проб воды реки Иртыш в границах Омской области [15]

Оценку качества воды проводили на основании Приказа Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [15].

Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами с использованием Microsoft Excel 2013. Рассчитывали среднее арифметическое, стандартное отклонение, ошибку средней и коэффициент корреляции (по Пирсону). Приведенные в работе средние значения и коэффициенты парной корреляции (r) значимы на уровне $p \leq 0,05$. Интерпретация и анализ данных проведены лично авторами статьи.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время во всем мире уделяется особое внимание исследованию содержания Fe в природных водах. По мнению Kritzberg E.S. и др. (2012), Пузанова А.В. и др. (2023), это связано с тем, что на значительной части Северного полушария отмечается явление «браунификации» или побурение внутренних вод, что является следствием поступления в них избыточного количества терригенного гумуса, смываемого с водосборного

бассейна, и увеличения количества растворенного органического вещества в водах. Браунификация также может быть вызвана поступлением в воду соединений Fe, влияющих на изменение цвета воды [26, с. 150; 41, с. 1465]. Присутствие соединений Fe в природных водах объясняется его широким распространением в земной коре – кларк Fe составляет 3,6 %, что соответствует четвертому месту среди других элементов [12].

Железо является важным биогенным элементом для многих гидробионтов. Повышенные концентрации Fe в природных водах ухудшают показатели качества воды, а недостаточное его содержание – снижается биопродуктивность водных объектов [35].

Одним из источников поступления соединений железа в поверхностные воды являются процессы химического выветривания горных пород [38]. Значительное количество ионов Fe поступает в водоемы с подземными стоками, промышленными и сельскохозяйственными сточными водами [43]. В природных водах соединения Fe образуют сложные комплексы с минеральными и органическими веществами [38].

Таблица 2.

Концентрация тяжелых металлов в воде р. Иртыш в границах Омской области, 2023 г.

Месяц	Среднемесячная концентрация, мг/дм ³				
	Fe _{общ}	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Hg ²⁺
Май	$\frac{0,14-0,78}{0,53 \pm 0,04}$	$\frac{0,005-0,02}{0,009 \pm 0,001}$	$\frac{0,003-0,007}{0,005 \pm 0,0004}$	$\frac{0,009-0,034}{0,017 \pm 0,002}$	< 0,00001
Июнь	$\frac{0,06-0,66}{0,35 \pm 0,05}$	$\frac{0,001-0,05}{0,011 \pm 0,003}$	$\frac{0,003-0,008}{0,005 \pm 0,0004}$	$\frac{0,005-0,024}{0,012 \pm 0,002}$	< 0,00001
Июль	$\frac{0,06-0,42}{0,14 \pm 0,02}$	$\frac{0,005-0,02}{0,006 \pm 0,001}$	$\frac{0,002-0,008}{0,004 \pm 0,0004}$	$\frac{0,003-0,018}{0,006 \pm 0,001}$	< 0,00001
Август	$\frac{0,05-0,34}{0,09 \pm 0,02}$	$\frac{0,005-0,06}{0,009 \pm 0,003}$	$\frac{0,002-0,004}{0,003 \pm 0,0002}$	$\frac{0,002-0,018}{0,006 \pm 0,001}$	< 0,00001
Сентябрь	$\frac{0,05-0,34}{0,14 \pm 0,03}$	$\frac{0,05-0,11}{0,076 \pm 0,004}$	$\frac{0,001-0,004}{0,002 \pm 0,0002}$	$\frac{0,003-0,012}{0,007 \pm 0,001}$	< 0,00001
Октябрь	$\frac{0,05-0,39}{0,17 \pm 0,02}$	$\frac{0,005-0,005}{0,005 \pm 0}$	$\frac{0,002-0,004}{0,003 \pm 0,0002}$	$\frac{0,001-0,068}{0,019 \pm 0,004}$	< 0,00001
ПДК _{рх}	0,1	0,01	0,001	0,01	0,0005

Примечание: в числителе приведены минимальные и максимальные значения показателей; в знаменателе – среднее $\pm$ ошибка средней; жирным шрифтом выделены превышения нормативного показателя.

В воде Иртыша были зафиксированы широкие диапазоны значений концентрации $Fe_{\text{общ}}$ (0,09–0,53 мг/дм³), выходящие за пределы нормативных показателей в течение всего времени исследований, за исключением августа (табл. 2).

Среднемесячные концентрации $Fe_{\text{общ}}$ в воде Иртыша были почти в 8 раз выше его кларка в речных водах (0,067 мг/дм³) [12]. В водах реки Оби, куда впадает Иртыш, содержание железа постепенно возрастает от верхнего до нижнего течения. Эйрих А.Н. и др. (2022) в своих исследованиях установили, что в верхнем течении Оби в районе г. Барнаула средняя концентрация Fe составляла 0,064 мг/дм³, что практически сопоставимо с его кларком в речных водах [37]. В то же время по данным Робертус Ю.В. и др. (2018) в притоках Верхней Оби (Катунь, Майма, Каяс, Улала) в районе г. Горно-Алтайска наблюдались аномально высокие превышения (более 10 кларков) концентрации Fe – от 0,16 до 0,66 мг/дм³ [29]. В нижнем течении Оби, после впадения в нее реки Иртыш, в границах Сургутского и Нефтеюганского районов во всех пробах были превышены нормативы ПДК по Fe, в среднем концентрация железа здесь составляла 1,3 мг/дм³ [34].

В водах верхнего течения р. Енисей (ниже Красноярского водохранилища), по данным Бадмаевой С.Э., Соколова Ю.А. (2017), в 2014–2015 гг. концентрация Fe составляла 0,113–0,117 мг/дм³, что превышает кларк железа почти в 2 раза и незначительно ПДК [5].

В наших исследованиях наибольшие среднемесячные концентрации $Fe_{\text{общ}}$ в Иртыше отмечались в весенний период (табл. 2). Это связано с тем, что в период весеннего половодья в речную систему поступают поверхностно-склоновые воды, содержащие в значительном количестве гуминовые вещества и железо-органические комплексы, обеспечивающие максимальные концентрации $Fe_{\text{общ}}$. Относительно низкий уровень развития фитопланктона в это время [6] обуславливает незначительное поглощение железа водорослями, способствуя высокому его содержанию в воде. В летне-осенний период (июль–октябрь) концентрации $Fe_{\text{общ}}$ в воде снизились в 3–6 раз, что вызвано, в основном, наступлением летне-осенней межени и интенсивным развитием фитопланктона до эвтрофного уровня [7].

Превышение ПДК_{р.х.} $Fe_{\text{общ}}$ в значительных пределах было зарегистрировано по всему исследованному течению реки во все сезоны года. Наибольшее превышение ПДК характерно для периода весеннего половодья (май, 1,4–7,8 ПДК), постепенно пределы превышения ПДК снижаются (июнь 1,6–6,6 ПДК, июль 1,1–4,2 ПДК) и достигают минимума осенью в октябре (1,3–3,8 ПДК) (рис. 1).

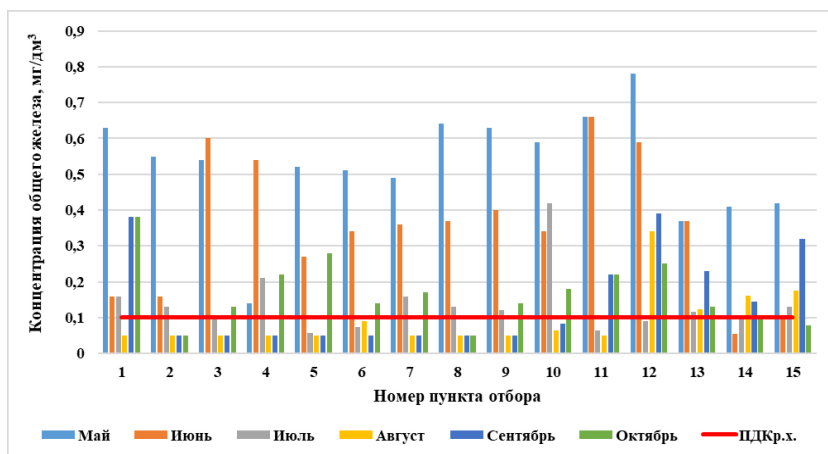


Рис. 1. Динамика среднемесячной концентрации $Fe_{общ}$ в воде р. Иртыш в границах Омской области, 2023 г.

В 2023 г. в верхнем течении бассейна Иртыша на территории РК также отмечено превышения ПДК_{р.х.} по железу [42]. В нижнем течении Иртыша в границах Тюменской области, куда вода поступает из Омской области, также было установлено превышение установленного ПДК_{р.х.} по железу от 2 до 10 ПДК_{р.х.}. Многолетняя динамика (> 10 лет) содержания общего железа в воде Иртыша в границах Тюменской области указывает на увеличение концентрации этого элемента в воде к 2021 г., что связано со снижением уровня воды в реке [20].

Основными источниками соединений Fe в поверхностных водах являются естественные процессы химического выветривания горных пород [34, 38, 40]. Но в большей степени повышенное содержание общего железа в воде Иртыша обусловлено региональными особенностями, связанными с болотным происхождением правых притоков Иртыша на территории региона [10], поскольку болотные и грунтовые кислые воды отличаются высокими концентрациями железа [4]. Кроме того, Fe поступает в речные системы с поверхностно-склоновыми водами, которые еще не проникли в почву, поэтому другим источником этого элемента в поверхностных водах, по мнению Даденко Ю.С. (2018), следует считать разложение листовного опада на территории водосбора [11].

Цинк, как и многие тяжелые металлы, попадает в речные системы в результате процессов разрушения и растворения горных пород и минералов с

его высоким содержанием, а также со сточными водами химических предприятий, с цинкосодержащими минеральными удобрениями и др. [38].

Среднемесячные концентрации Zn^{2+} в воде Иртыша во время исследований варьировали в широких пределах. Максимальное превышение ПДК_{р.х.} по цинку в 5,3–10,8 раз наблюдалось в сентябре во всех точках отбора. В это время максимальная концентрация Zn^{2+} была зарегистрирована на границе с Республикой Казахстан и ниже пос. Николаевка, г. Омск – 0,101 мг/дм³ и 0,108 мг/дм³ соответственно, что превышало ПДК_{р.х.} в 10,1–10,8 раз. Единичные случаи превышения ПДК_{zn} были отмечены в июне на границе с Республикой Казахстан, выше п. Ачаир и ниже с. Красноярка, Омский район. В августе превышение ПДК было зафиксировано только в одной точке в черте г. Омска ниже устья р. Оми, в октябре превышений нормативных значений по Zn не было (рис. 2).

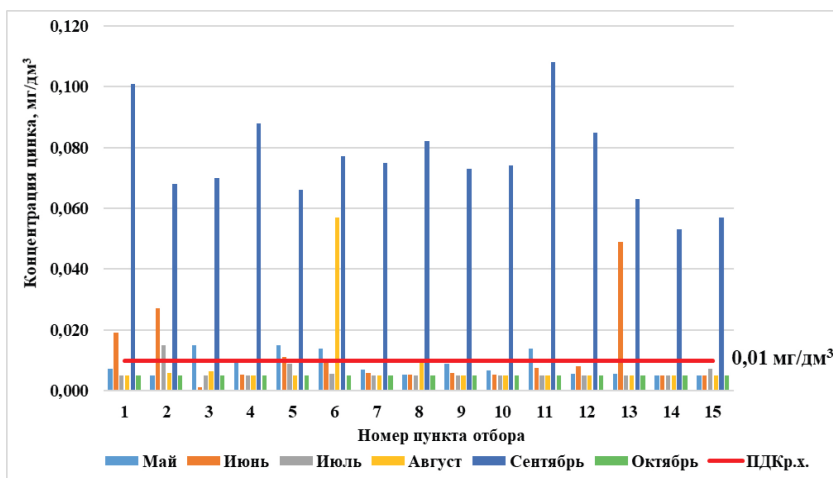


Рис. 2. Динамика среднемесячной концентрации цинка в воде р. Иртыш в границах Омской области, 2023 г.

По данным Колесникова В.А., Бойченко Н.Б. (2018), Шестеркиной Н.М., Шестеркина В.П. (2022), Эйрих А.Н. и др. (2022) повышенные концентрации ионов Zn^{2+} в речных водах обычно отмечаются в период весеннего половодья [17; 36; 37]. В реке Иртыш этой закономерности не отмечено как на территории Ханты-Мансийского автономного округа [10], так и в наших исследованиях. Установленное нами резкое превышение концентрации Zn^{2+} в сентябре по всему исследованному течению реки,

вероятно, имело антропогенный характер и связано с деятельностью предприятий цветной металлургии на территории Восточного Казахстана. Это косвенно подтверждается установленными в 2023 г. локальными превышениями содержания ионов цинка в воде Иртыша на территории РК [42].

Соединения Cu^{2+} имеют широкое распространение в природных водах. Шестеркина Н.М. и Шестеркин В.П. (2022) отмечают, что данный элемент образует прочные комплексы со многими органическими веществами, при этом их устойчивость намного выше, чем с другими металлами со степенью окисления 2^+ [36, с. 109].

Соединения Cu в поверхностных водах, как и другие тяжелые металлы, относятся к веществам двойного генезиса, их содержание обусловлено как естественными, так и антропогенными факторами [2]. Основными природными источниками поступления Cu в поверхностные воды являются процессы выветривания горных пород [40], антропогенным источником являются сточные воды предприятий металлургической, химической промышленности, альдегидные реагенты [38].

За исследуемый период наиболее значительный уровень загрязнения вод Иртыша был характерен для ионов меди. Превышения ПДК_{р.х.} по меди от 1,5 до 8 раз регулярно фиксировались во всех точках отбора во все сезоны года (рис. 3).

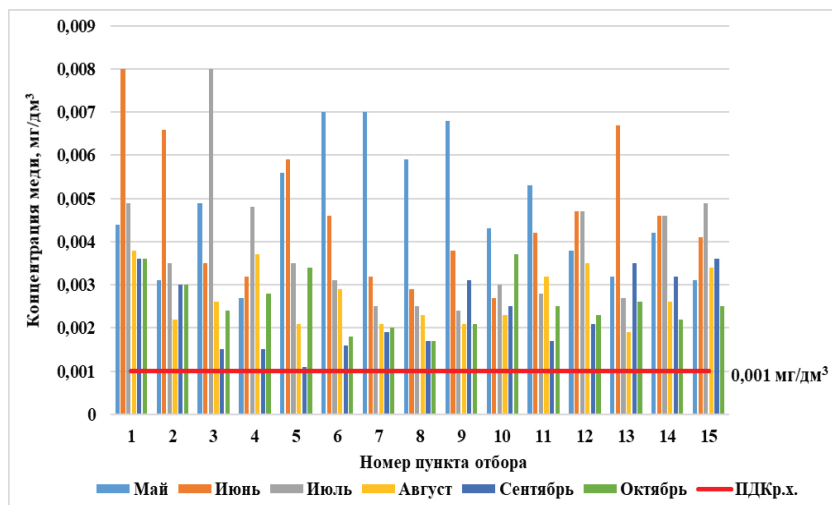


Рис. 3. Динамика среднемесячной концентрации меди в воде р. Иртыш в границах Омской области, 2023 г.

Среднемесячные концентрации Cu^{2+} изменялись в довольно узких пределах – от 0,002 до 0,005 мг/дм³ (табл. 2). Содержание меди в воде р. Иртыш было подвержено сезонным изменениям. Наибольшие среднемесячные показатели содержания Cu^{2+} в Иртыше были отмечены в период весеннего половодья (0,005 мг/дм³), в летне-осенний период концентрация меди снижалась, достигая минимума в сентябре-октябре (0,0024–0,0026 мг/дм³). В.С. Валиев и др. (2018) отмечают, что ТМ, содержащиеся в твердых фракциях, имеют четкую взаимосвязь с содержанием взвешенных веществ и, особенно, с мутностью воды [9, с. 94]. Именно этот показатель оказывает влияние на сезонную динамику содержания взвешенных форм ТМ. В весенне-летний период с увеличением мутности повышается концентрация ТМ, а в зимний и осенний периоды отмечается обратная ситуация [9, с. 95].

Усенова Н.А., Дильмагамбетов С.Н. (2010) повышенное содержание ионов меди в речных системах связывают с ландшафтно-геохимическими особенностями региона, активным выщелачиванием и высокой миграционной подвижностью данного элемента в поверхностных и подземных водах [33, с. 151], а также с наличием антропогенных источников, прежде всего горно-металлургических комбинатов, занимающихся добычей, обогащением и переработкой медной руды на территории Казахстана [42].

Другим важным элементом, повышенное содержание которого в основном связано с ландшафтно-геохимическими факторами, является марганец [20]. Этот элемент имеет высокую подвижность и способен легко переходить в водные объекты [13, с. 70]. Основными источниками поступления Mn^{2+} в водные объекты являются сточные воды металлургических заводов, марганцевых обогатительных фабрик, предприятий химической промышленности и шахтные воды [13, с. 70; 22, с. 177]. Кроме того, марганец поступает в природные водотоки в процессе разложения водных животных и растительных организмов, таких как цианопрокариоты, диатомовые водоросли, высшие водные растения [13, с. 70; 22, с. 177]. Соединения марганца являются одним из основных загрязнителей многих рек Российской Федерации, в том числе и р. Иртыш [8; 13].

Сибиркина А.Р. и др. (2021) отмечают, что концентрация Mn^{2+} в воде Иртыша подвержена сезонным колебаниям. Основными факторами, определяющими изменения его концентрации, являются соотношение между поверхностным и подземным стоком, интенсивность потребления при фотосинтезе, разложение фитопланктона, микроорганизмов и высшей водной растительности, а также процессы осаждения на дно водных объектов [31, с. 28].

Наибольшее содержание марганца в реке Иртыш отмечалось в мае и октябре, максимальные показатели превышали ПДК_{р.х.} в 1,2–6,8 раз (рис. 4).

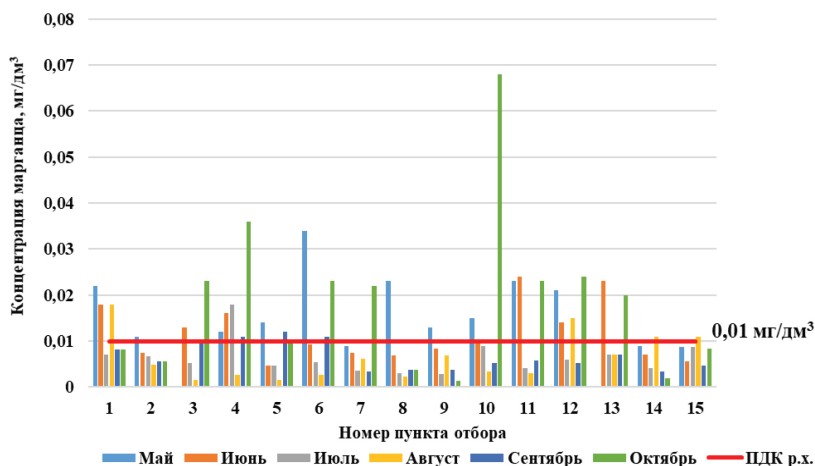


Рис. 4. Динамика среднесесячной концентрации марганца в воде р. Иртыш в границах Омской области, 2023 г.

Резкое повышение концентрации Mn^{2+} (в 3,4 раза) было отмечено в мае в точке «впадение реки Омь в реку Иртыш» и в октябре (в 6,8 раз) в точке «в створе дома 27 к. 2 по улице Пригородная». Единичные случаи превышения ПДК по Mn^{2+} спорадически регистрировались в различных точках отбора.

Сезонная динамика содержания ионов марганца в р. Иртыш имеет следующие закономерности – значительные превышения ПДК в мае и снижение в летне-осенний период до нормативных значений. Аналогичные закономерности были установлены для р. Иртыш ранее [10]. Высокие концентрации марганца в весенний период определяются большим количеством органических веществ, поступающих с территории водосбора в период весенних паводков [18].

Особый интерес представляет исследование содержания ртути в р. Иртыш, что связано с неоднократно зафиксированными в последние годы (2020, 2021, 2024) многократными превышениями содержания этого высокотоксичного ТМ. При этом конкретные источники поступления ртути в реку Иртыш до сих пор не установлены. Никаноров А.М. (2005) изменение содержания ртути в воде связывает с переходом этого металла из донных

отложений в водную среду [21]. Кроме того, им установлена высокая корреляция между содержанием в воде ртути и растворенным органическим веществом [21]. Миграция соединений ртути в водных объектах происходит, главным образом, в растворенной форме, а во взвешенном веществе переносится не более 17% [19]. Многими исследованиями [16; 24; 25] установлено, что максимальный сток ртути приходится на весенний паводок и связан с переносом взвешенного вещества (67–88%), количество и качество которого зависит от гидрологического режима и времени года. Наибольшее содержание Hg^{2+} в речных водах приходится на холодное время года [27].

В 2023 г. содержание Hg^{2+} в воде Иртыша в течение всего периода исследований не превышало ПДК_{р.х.}.

Проведенный корреляционный анализ между содержанием в воде Иртыша взвешенных веществ (далее – ВВ) и тяжелых металлов позволил установить связи между наблюдаемыми параметрами. Была отмечена сильная положительная связь между содержанием ВВ и $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ ($r = 0,71$), ВВ и Mn^{2+} ($r = 0,78$), $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ и Cu^{2+} ($r = 0,87$). Средняя положительная связь установлена между содержанием $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ и Mn^{2+} ($r = 0,58$), ВВ и Cu^{2+} ($r = 0,59$) (рис. 5).

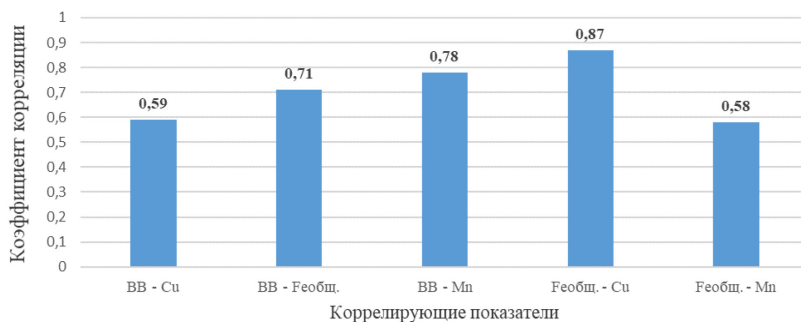


Рис. 5. Коррелирующие взаимосвязи между гидрохимическими показателями качества воды

Некоторые корреляционные связи являются ожидаемыми и хорошо объяснимыми. Например, отмеченная сильная связь между содержанием ВВ и $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Cu^{2+} , Mn^{2+} обусловлена их содержанием в твердой фракции речной воды. Валиев В.С. и др. (2018) отмечают, что взвешенные вещества как органического, так и минерального происхождения обеспечивают автохтонный и аллохтонный перенос металлов в водных объектах. Именно на их поверхности протекает межсредовой перенос того или иного металла [9, с. 94].

Положительная корреляция между содержанием железа и марганца обусловлена одинаковым геохимическим происхождением этих металлов, связанным с вымыванием их подвижных форм из водосборного бассейна в условиях кислых значений pH склоновых и грунтовых вод [1, с. 22].

Заключение

Динамика содержания тяжелых металлов ($\text{Fe}_{\text{общ}}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+}) в воде р. Иртыш в период открытой воды в границах Омской области определяется взаимодействием антропогенных и природных факторов. В период открытой воды 2023 г. по всему течению реки Иртыш в границах Омской области наблюдалось превышение нормативных показателей по четырем показателям – концентрации железа (1,4–7,8 раз), меди (1,5–8,0 раз), цинка (2,0–10,8 раз), марганца (1,2–6,8 раз). Экстремально высоких превышений ПДК_{р.х.} веществ в воде Иртыша в исследуемый период обнаружено не было. Среднемесячные концентрации ртути не превышали ПДК.

Динамика содержания тяжелых металлов в воде Иртыша имеет определенные закономерности: повышение концентрации ионов $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mn^{2+} , Cu^{2+} в период весеннего половодья (май) и снижение в период летне-осенней межени. Характер распределения ионов Zn^{2+} не зависел от сезона года.

Корреляционный анализ показал наличие сильной положительной связи между концентрациями $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Cu^{2+} ($r = 0,87$); взвешенных веществ и Mn^{2+} ($r = 0,78$).

Качество воды р. Иртыш в границах Омской области по содержанию тяжелых металлов не соответствует гигиеническим нормативам.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке гранта АО «Россельхозбанк» (РСХБ-009-40/39-2023).

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Sponsorship information. The study was supported by the grant of JSC «RosSelkhozbank» (RSHB-009-40/39-2023).

Список литературы

1. Арсланова, М. М., & Шорникова, Е. А. (2021). Взаимосвязь гидрохимических показателей и структуры микробного сообщества водотоков территорий нефтедобычи в Ханты-Мансийском автономном округе —

- Югре. *Самарский научный вестник*, 10(1), 20-23. <https://doi.org/10.17816/snv2021101102> EDN: <https://elibrary.ru/AVOUMS>
2. Атабиева, Ф. А., & Отарова, А. С. (2023). Исследование уровня содержания и миграции меди в воде рек Центрального Кавказа. *Успехи современного естествознания*, 9, 22-27. <https://doi.org/10.17513/use.38098> EDN: <https://elibrary.ru/OSNRIE>
 3. Атабиева, Ф. А., Чередник, Е. А., & Отарова, А. С. (2021). Пространственно-временная изменчивость уровня содержания соединений тяжелых металлов в воде рек Малка и Баксан. *Наука. Инновации. Технологии*, 3, 119-132. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.3.8> EDN: <https://elibrary.ru/NTVWBV>
 4. Бабушкин, А. Г., Московченко, Д. В., & Пикунов, С. В. (2007). *Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа Югры*. Новосибирск: 151 с.
 5. Бадмаева, С. Э., & Соколова, Ю. А. (2017). Мониторинг гидрохимического состояния реки Енисей в г. Красноярске. *Вестник КрасГАУ*, 8(131), 100-104. EDN: <https://elibrary.ru/ZDUDSP>
 6. Баженова, О. П. (2005). *Многолетняя динамика фитопланктона бассейна реки Иртыш (Состояние и тенденции)*: дис. ... д-ра биол. наук. Омск: 318 с.
 7. Баженова, О. П., Барсукова, Н. Н., & Янчевская, А. М. (2018). Современное состояние экосистемы реки Иртыш по данным биомониторинга. В: *Человек и Север: Антропология, археология, экология: матер. Всерос. науч. конф. (г. Тюмень, 2-6 апреля 2018 г.)*. Тюмень: ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, Вып. 4, 478-482. EDN: <https://elibrary.ru/YVHHIK>
 8. Бобренко, Е. Г., Розбах, Т. В., & Бобренко, М. И. (2013). Оценка трансграничного загрязнения реки Иртыш медью и марганцем. *Россия молодая: передовые технологии — в промышленность*, 3, 096-099. EDN: <https://elibrary.ru/RQCWSJ>
 9. Валиев, В. С., Иванов, Д. В., Шамаев, Д. Е., [и др.] (2018). Анализ структурных связей между гидрохимическими показателями речного стока. *Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина*, 4(61), 90-101. EDN: <https://elibrary.ru/YRJFHV>
 10. Голованова, О. А., & Маловская, Е. А. (2016). Динамика загрязнения ионами тяжелых металлов поверхностных вод рек Сибирского региона. *Вестник Омского университета*, 3(81), 64-73. EDN: <https://elibrary.ru/WRQSFB>
 11. Даценко, Ю. С. (2018). Особенности формирования речного стока марганца и железа в периоды половодья. *Вода: химия и экология*, 4-6(115), 3-6. EDN: <https://elibrary.ru/XZUENV>

12. Добровольский, В. В. (1998). *Основы биогеохимии*. Москва: 413 с.
13. Дударева, И. А., Алимова, Г. С., & Токарева, А. Ю. (2017). Марганец в воде и донных отложениях нижнего течения реки Иртыш. *Успехи современного естествознания*, 8, 70-74. EDN: <https://elibrary.ru/ZFDNMB>
14. Ежегодник качества поверхностных вод РФ за 2022 год / Под ред. М. М. Трофимчука. Ростов-на-Дону: 2023. 613 с.
15. Жаркова, Н. Н., Баженова, О. П., Гаврильченко, О. Л., & Болтовская, А. С. (2024). Сезонная динамика химического состава воды реки Иртыш на территории Омской области. *Водные биоресурсы и среда обитания*, 7(2), 7-20. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2024_7_2_7 EDN: <https://elibrary.ru/AIJEKV>
16. Козлова, С. И., Кулебакина, Л. Г., & Зелюкова, Ю. В. (1985). Содержание ртути в воде, взвешенном веществе и донных отложениях устьевой зоны реки Дунай. *Водные ресурсы*, 12(1), 155-159.
17. Колесников, В. А., & Бойченко, Н. Б. (2014). Годовая и сезонная динамика содержания тяжелых металлов в воде рек Бузим и Есауловка Красноярского края. *Вестник КрасГАУ*, 6(93), 186-190. EDN: <https://elibrary.ru/SMWOUN>
18. Кондратьева, Л. М., & Голубева, Е. М. (2015). Сезонные изменения содержания марганца в р. Амур при различном гидрологическом режиме. *Тихоокеанская геология*, 34(3), 93-103. EDN: <https://elibrary.ru/UUTCWL>
19. Лобус, Н. В., Комов, В. Т., & Нгуен Тхи Хай Тхань (2011). Содержание ртути в компонентах экосистем водоемов и водотоков провинции Кхань Хоа (Центральный Вьетнам). *Водные ресурсы*, 38(6), 733-739. EDN: <https://elibrary.ru/OJHDAL>
20. Меркушина, Г. А. (2020). Содержание железа и марганца в поверхностных водах Тюменской области. *Вестник рыбохозяйственной науки*, 7(4), 13-19. EDN: <https://elibrary.ru/CITCJG>
21. Никаноров, А. М. (2005). *Научные основы мониторинга качества вод*. Санкт-Петербург: 576 с. ISBN: 5-286-01512-3 EDN: <https://elibrary.ru/QKOJYL>
22. Огрызкова, О. С., Эйрих, А. Н., Серых, Т. Г., и др. (2014). Сезонные изменения содержания марганца в воде Новосибирского водохранилища. *Известия Алтайского государственного университета*, 3-2(83), 176-180. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-31](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-31) EDN: <https://elibrary.ru/TACFHL>
23. Панин, М. С. (2000). Антропогенное загрязнение тяжелыми металлами водосборной площади бассейна реки Иртыш в пределах Республики Казахстан. В: *Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы: матер. науч. конф.* Томск, 21-22.

24. Папина, Т. С. (2001). *Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода — взвешенное вещество — донные отложения речных экосистем: аналит. обзор*. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН, 58 с.
25. Папина, Т. С., Артемьева, С. С., & Темерев, С. В. (1995). Особенности миграции ртути в бассейне Катунь. *Водные ресурсы*, 22(1), 60-66. EDN: <https://elibrary.ru/SGCOHR>
26. Пузанов, А. В., Бабошкина, С. В., Рождественская, Т. А., и др. (2023). Динамика содержания растворенных форм железа в водах притоков Телецкого озера и ее анализ в связи с показателями солнечной активности. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 334(11), 147-155. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/11/4134> EDN: <https://elibrary.ru/ABWTOD>
27. Решетняк, О. С. (2022). Многолетняя изменчивость содержания соединений ртути в речных экосистемах России по данным мониторинга. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*, 2, 70-79. <https://doi.org/10.31857/S0869780922020060> EDN: <https://elibrary.ru/YVBJJK>
28. Решетняк, О. С., Брызгалов, В. А., & Косменко, Л. С. (2013). Региональные особенности высокого уровня загрязненности рек Обь-Иртышского бассейна. *Вода: химия и экология*, 6(60), 3-9. EDN: <https://elibrary.ru/QJDVMD>
29. Робертус, Ю. В., Ситникова, В. А., & Кивацкая, А. В. (2018). Особенности макро- и микрохимического состава руслового стока Верхней Оби в районе города Горно-Алтайска. *Вода: химия и экология*, 1-3(114), 32-40. EDN: <https://elibrary.ru/XZTWOD>
30. Сибирина, С. (2023). Иртыш вошел в программу экологического оздоровления рек и озер. *Российская газета - Экономика Сибири*, №74(9019). URL: <https://rg.ru/2023/04/06/reg-sibfo/irtysh-voshel-v-programmu-ekologicheskogo-ozdorovleniia-rek-i-ozer.html> (дата обращения: 04.06.2024)
31. Сибиркина, А. Р., Лихачев, С. Ф., Двинин, Д. Ю., и др. (2021). Экологическая оценка состояния озера Аракуль (Челябинская область) по результатам мониторинговых исследований 2007 и 2020 годов. *Международный научно-исследовательский журнал*, 4(106), 24-29. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.029> EDN: <https://elibrary.ru/OPEESL>
32. Соромотин, А. В., Кудрявцев, А. А., Ефимова, А. А., и др. (2019). Фоновое содержание тяжелых металлов в воде малых рек Надым-Пуровского междуречья. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*, 2, 48-55. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019248-55> EDN: <https://elibrary.ru/TWTCHQ>

33. Усенова, Н. А., & Дильмаганбетов, С. Н. (2010). О содержании некоторых микроэлементов в воде р. Эмбы Актюбинской области. *Геология, география и глобальная энергия*, 2(37), 148-152. EDN: <https://elibrary.ru/MWILZL>
34. Чернига, Ю. В., & Шорникова, Е. А. (2022). Гидрохимическая характеристика реки Оби и ее притоков (в границах Сургутского и Нефтеюганского районов). *Вестник Сургутского государственного педагогического университета*, 6(81), 183-191. <https://doi.org/10.26105/SSPU.2022.81.6.019> EDN: <https://elibrary.ru/NQTRZD>
35. Шестеркин, В. П., & Шестеркина, Н. М. (2016). Пространственная и сезонная динамика содержания железа в водах среднего Амура. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*, 5(189), 21-30. EDN: <https://elibrary.ru/XHOEER>
36. Шестеркина, Н. М., & Шестеркин, В. П. (2022). Микроэлементы в воде малых рек бассейна реки Анюй (западный макросклон северного Сихотэ-Алиня). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 333(7), 104-114. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/7/3294> EDN: <https://elibrary.ru/WQJRFU>
37. Эйрих, А. Н., Серых, Т. Г., Овчаренко, Е. А., и др. (2022). Сезонная динамика химического состава поверхностной воды р. Оби. *Теоретическая и прикладная экология*, 3, 96-102. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-096-102> EDN: <https://elibrary.ru/VUALDX>
38. Яровая, О. В., Молчанова, Т. В., Гусева, А. А., и др. (2014). *Растворенные и взвешенные неорганические вещества в водных системах*. Москва: 64 с.
39. Atabieva, F., & Gekkieva, S. (2020). Seasonal variability of the content of heavy metal compounds in the water of rivers in the foothills of the Central Caucasus. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 913, 052055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/5/052055> EDN: <https://elibrary.ru/HLZILY>
40. Khilchevskiy, V. K., Leta, V. V., Sherstyuk, N. P., Pylypovych, O. V., Zabokrytska, M. R., Pasichnyk, M. P., & Tsvietaieva, O. V. (2023). Hydrochemical characteristics of the Upper reaches of the Tisza River. *Journal of Geology and Geography*, 32(2), 283-294. <https://doi.org/10.15421/112327> EDN: <https://elibrary.ru/TBDTQM>
41. Kritzberg, E. S., & Ekström, S. M. (2012). Increasing iron concentrations in surface waters — A factor behind brownification? *Biogeosciences*, 9, 1465-1478. <https://doi.org/10.5194/bgd-8-12285-2011>
42. Krupa, E., Romanova, S., Serikova, A., & Shakhvorostova, L. (2024). A Comprehensive Assessment of the Ecological State of the Transboundary Irtysh

River (Kazakhstan, Central Asia). *Water*, 16(7), 973. <https://doi.org/10.3390/w16070973> EDN: <https://elibrary.ru/KGBEDO>

43. Slazhneva, S., Kozyreva, Y., & Maurer, M. (2022). Assessment of surface water quality (on the example of the Chumysh river). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(2), 296-311. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-296-311> EDN: <https://elibrary.ru/EWYWZL>

References

1. Arslanova, M. M., & Shornikova, E. A. (2021). Relationship between hydrochemical indicators and the structure of the microbial community of watercourses in the oil-producing areas of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra. *Samarra Scientific Bulletin*, 10(1), 20-23. <https://doi.org/10.17816/snv2021101102> EDN: <https://elibrary.ru/AVOUMS>
2. Atabieva, F. A., & Otarova, A. S. (2023). Study of the level of copper content and migration in the water of the rivers of the Central Caucasus. *Advances in Modern Natural Sciences*, 9, 22-27. <https://doi.org/10.17513/use.38098> EDN: <https://elibrary.ru/OSNRIE>
3. Atabieva, F. A., Cherendnik, E. A., & Otarova, A. S. (2021). Spatio-temporal variability of the level of heavy metal compounds in the water of the Malka and Baksan rivers. *Science. Innovations. Technologies*, 3, 119-132. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.3.8> EDN: <https://elibrary.ru/NTVWBV>
4. Babushkin, A. G., Moskovchenko, D. V., & Pikunov, S. V. (2007). *Hydrochemical monitoring of surface waters of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra*. Novosibirsk. 151 p.
5. Badmaeva, S. E., & Sokolova, Yu. A. (2017). Monitoring of the hydrochemical state of the Yenisei River in Krasnoyarsk. *Vestnik KrasGAU*, 8(131), 100-104. EDN: <https://elibrary.ru/ZDUDSP>
6. Bazhenova, O. P. (2005). *Long-term dynamics of phytoplankton in the Irtysh River basin (State and trends)* (Doctoral dissertation). Omsk. 318 p.
7. Bazhenova, O. P., Barsukova, N. N., & Yanchovskaya, A. M. (2018). Current state of the Irtysh River ecosystem based on biomonitoring data. In *Man and the North: Anthropology, Archaeology, Ecology: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference (Tyumen, April 2-6, 2018)* (Vol. 4, pp. 478-482). Tyumen: FIC TymNC SO RAS. EDN: <https://elibrary.ru/YVHHIK>
8. Bobrenko, E. G., Rozbah, T. V., & Bobrenko, M. I. (2013). Assessment of trans-boundary pollution of the Irtysh River with copper and manganese. *Russia is young: advanced technologies — to industry*, 3, 096-099. EDN: <https://elibrary.ru/RQCWSJ>

9. Valiev, V. S., Ivanov, D. V., Shamayev, D. E., et al. (2018). Analysis of structural relationships between hydrochemical indicators of river runoff. *Bulletin of Ryazan State University named after S.A. Yesenin*, 4(61), 90-101. EDN: <https://elibrary.ru/YRJFHV>
10. Golovanova, O. A., & Malovskaya, E. A. (2016). Dynamics of heavy metal ion pollution of surface waters of Siberian rivers. *Bulletin of Omsk University*, 3(81), 64-73. EDN: <https://elibrary.ru/WRQSFB>
11. Datsenko, Yu. S. (2018). Features of manganese and iron river runoff formation during flood periods. *Water: Chemistry and Ecology*, 4-6(115), 3-6. EDN: <https://elibrary.ru/XZUENV>
12. Dobrovolsky, V. V. (1998). *Fundamentals of biogeochemistry*. Moscow. 413 p.
13. Dudareva, I. A., Alimova, G. S., & Tokareva, A. Yu. (2017). Manganese in water and bottom sediments of the lower reaches of the Irtysh River. *Advances in Modern Natural Sciences*, 8, 70-74. EDN: <https://elibrary.ru/ZFDNMB>
14. *Annual Report on the Quality of Surface Waters of the Russian Federation for 2022* (Ed. M. M. Trofimchuk). Rostov-on-Don: 2023. 613 p.
15. Zharkova, N. N., Bazhenova, O. P., Gavrilchenko, O. L., & Boltovskaya, A. S. (2024). Seasonal dynamics of the chemical composition of the Irtysh River water in the Omsk region. *Water Bioresources and Habitat*, 7(2), 7-20. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2024_7_2_7 EDN: <https://elibrary.ru/AIJEKV>
16. Kozlova, S. I., Kulebakina, L. G., & Zelyukova, Yu. V. (1985). Mercury content in water, suspended matter and bottom sediments of the Danube River estuary zone. *Water Resources*, 12(1), 155-159.
17. Kolesnikov, V. A., & Boychenko, N. B. (2014). Annual and seasonal dynamics of heavy metal content in the waters of the Buzim and Esaulovka rivers of the Krasnoyarsk Territory. *Vestnik KrasGAU*, 6(93), 186-190. EDN: <https://elibrary.ru/SMWOUN>
18. Kondratyeva, L. M., & Golubeva, E. M. (2015). Seasonal changes in manganese content in the Amur River under different hydrological regimes. *Pacific Geology*, 34(3), 93-103. EDN: <https://elibrary.ru/UUTCWL>
19. Lobus, N. V., Komov, V. T., & Nguyen Thi Hai Thanh (2011). Mercury content in the components of aquatic ecosystems of reservoirs and streams of Khanh Hoa province (Central Vietnam). *Water Resources*, 38(6), 733-739. EDN: <https://elibrary.ru/OJHDAL>
20. Merkushina, G. A. (2020). Iron and manganese content in surface waters of the Tyumen region. *Bulletin of Fisheries Science*, 7(4), 13-19. EDN: <https://elibrary.ru/CITCJG>
21. Nikanorov, A. M. (2005). *Scientific foundations of water quality monitoring*. Saint Petersburg. 576 p. ISBN: 5-286-01512-3 EDN: <https://elibrary.ru/QKOJYL>

22. Ogryzkova, O. S., Eyrych, A. N., Serykh, T. G., et al. (2014). Seasonal changes in manganese content in the water of the Novosibirsk reservoir. *Izvestiya Altai State University*, 3-2(83), 176-180. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-31](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-31) EDN: <https://elibrary.ru/TACFHL>
23. Panin, M. S. (2000). Anthropogenic pollution of heavy metals in the watershed area of the Irtysh River basin within the Republic of Kazakhstan. In *Ecology and rational nature management at the turn of the century. Results and prospects: Proceedings of the scientific conference* (Tomsk, 21-22).
24. Papina, T. S. (2001). Transport and distribution features of heavy metals in the series: water — suspended matter — bottom sediments of river ecosystems: analytical review. Novosibirsk: GNTB SO RAN; IVEP SO RAN. 58 p.
25. Papina, T. S., Artemyeva, S. S., & Temerev, S. V. (1995). Features of mercury migration in the Katun basin. *Water Resources*, 22(1), 60-66. EDN: <https://elibrary.ru/SGCOHR>
26. Puzanov, A. V., Baboshkina, S. V., Rozhdestvenskaya, T. A., et al. (2023). Dynamics of dissolved iron content in the waters of the inflows of Lake Teletskoye and its analysis in relation to solar activity indicators. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Engineering of georesources*, 334(11), 147-155. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/11/4134> EDN: <https://elibrary.ru/ABWTOD>
27. Reshetnyak, O. S. (2022). Multi-year variability of mercury compounds content in Russian river ecosystems based on monitoring data. *Goeconomics. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2, 70-79. <https://doi.org/10.31857/S0869780922020060> EDN: <https://elibrary.ru/YYBJJK>
28. Reshetnyak, O. S., Bryzgalo, V. A., & Kosmenko, L. S. (2013). Regional features of high pollution levels in the Ob-Irtysh basin. *Water: Chemistry and Ecology*, 6(60), 3-9. EDN: <https://elibrary.ru/QJDVMD>
29. Robertus, Yu. V., Sitnikova, V. A., & Kivatskaya, A. V. (2018). Macro- and microchemical composition features of the Upper Ob river flow in the city of Gorno-Altaysk. *Water: Chemistry and Ecology*, 1-3(114), 32-40. EDN: <https://elibrary.ru/XZTWOD>
30. Sibina, S. (2023). Irtysh has entered the program of environmental rehabilitation of rivers and lakes. *Rossiyskaya Gazeta - Economy of Siberia*, №74(9019). URL: <https://rg.ru/2023/04/06/reg-sibfo/irtysh-voshel-v-programmu-ekologicheskogo-ozdorovleniia-rek-i-ozher.html> (Accessed: June 4, 2024)
31. Sibirskina, A. R., Likhachev, S. F., Dvinin, D. Yu., et al. (2021). Environmental assessment of the Arakul Lake (Chelyabinsk region) based on the results of monitoring studies in 2007 and 2020. *International Research Journal*, 4(106), 24-29. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.029> EDN: <https://elibrary.ru/OPEESL>

32. Soromotin, A. V., Kudryavtsev, A. A., Efimova, A. A., et al. (2019). Background content of heavy metals in the water of small rivers of the Nadym-Pur inter-fluve. *Geoeconomics. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2, 48-55. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019248-55> EDN: <https://elibrary.ru/TWTCHQ>
33. Usenova, N. A., & Dilmanbetov, S. N. (2010). On the content of some trace elements in the water of the Emba River in the Aktobe region. *Geology, Geography and Global Energy*, 2(37), 148-152. EDN: <https://elibrary.ru/MWILZL>
34. Cherniga, Yu. V., & Shornikova, E. A. (2022). Hydrochemical characteristics of the Ob River and its tributaries (within the boundaries of the Surgut and Neft-eyugansk districts). *Bulletin of the Surgut State Pedagogical University*, 6(81), 183-191. <https://doi.org/10.26105/SSPU.2022.81.6.019> EDN: <https://elibrary.ru/NQTRZD>
35. Shesterkin, V. P., & Shesterkina, N. M. (2016). Spatial and seasonal dynamics of iron content in the waters of the middle Amur River. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 5(189), 21-30. EDN: <https://elibrary.ru/XHOEER>
36. Shesterkina, N. M., & Shesterkin, V. P. (2022). Trace elements in the water of small rivers of the Anyuy River basin (western macrocline of the northern Sikhote-Alin). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Engineering of georesources*, 333(7), 104-114. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/7/3294> EDN: <https://elibrary.ru/WQJRFU>
37. Eyrikh, A. N., Serykh, T. G., Ovcharenko, E. A., et al. (2022). Seasonal dynamics of the chemical composition of surface water of the Ob River. *Theoretical and Applied Ecology*, 3, 96-102. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-096-102> EDN: <https://elibrary.ru/VUALDX>
38. Yarova, O. V., Molchanova, T. V., Guseva, A. A., et al. (2014). *Dissolved and suspended inorganic substances in aquatic systems*. Moscow. 64 p.
39. Atabieva, F., & Gekkieva, S. (2020). Seasonal variability of the content of heavy metal compounds in the water of rivers in the foothills of the Central Caucasus. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 913, 052055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/5/052055> EDN: <https://elibrary.ru/HLZILY>
40. Khilchevskiy, V. K., Leta, V. V., Sherstyuk, N. P., Pylypovych, O. V., Zabokrytska, M. R., Pasichnyk, M. P., & Tsvietaieva, O. V. (2023). Hydrochemical characteristics of the Upper reaches of the Tisza River. *Journal of Geology and Geography*, 32(2), 283-294. <https://doi.org/10.15421/112327> EDN: <https://elibrary.ru/TBDTQM>

41. Kritzberg, E. S., & Ekström, S. M. (2012). Increasing iron concentrations in surface waters — A factor behind brownification? *Biogeosciences*, 9, 1465-1478. <https://doi.org/10.5194/bg-8-12285-2011>
42. Krupa, E., Romanova, S., Serikova, A., & Shakhvorostova, L. (2024). A Comprehensive Assessment of the Ecological State of the Transboundary Irtysh River (Kazakhstan, Central Asia). *Water*, 16(7), 973. <https://doi.org/10.3390/w16070973> EDN: <https://elibrary.ru/KGBEDO>
43. Slazhneva, S., Kozyreva, Y., & Maurer, M. (2022). Assessment of surface water quality (on the example of the Chumysh river). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(2), 296-311. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-296-311> EDN: <https://elibrary.ru/EWYWZL>

ВКЛАД АВТОРОВ

Жаркова Н.Н.: разработка концепции научной работы, статистическая обработка материалов, анализ данных, написание рукописи.

Баженова О.П.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи.

Болтовская А.С.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zharkova N.N.: study conception, statistical data analysis of materials, data analysis, writing of the manuscript.

Vazhenova O.P.: study conception, editing of the draft of the manuscript.

Фамилия И.О.: data collection and analysis.

Фамилия И.О.: statistical data analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Жаркова Наталья Николаевна, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры экологии, природопользования и биологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»
Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
nn.zharkova@omgau.org

Баженова Ольга Прокопьевна, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры экологии, природопользования и биологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
op.bazhenova@omgau.org*

Болтовская Алена Сергеевна, аспирант кафедры экологии, природопользования и биологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
as.kravets2025@omgau.org*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Zharkova, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Ecology, Nature Management and Biology

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Pl., Omsk, 644008, Russian Federation

nn.zharkova@omgau.org

SPIN-code: 8434-3574

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2970-328X>

Olga P. Bazhenova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology, Nature Management and Biology

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Pl., Omsk, 644008, Russian Federation

op.bazhenova@omgau.org

SPIN-code: 6495-5649

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2406-4319>

ResearcherID: <https://publons.com/researcher/ABB-8737-2021/>

Scopus AuthorID: 6603882158

Alena S. Boltovskaya, postgraduate student of the Department of Ecology, Nature Management and Biology

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Pl., Omsk, 644008, Russian Federation

as.kravets2025@omgau.org

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5229-822X>

Поступила 25.07.2024

После рецензирования 24.09.2024

Принята 16.10.2024

Received 25.07.2024

Revised 24.09.2024

Accepted 16.10.2024