



Читать
онлайн

Read
online

Панов А.В.¹, Коржавин А.В.², Коржавина Т.Н.²

Тяжёлые металлы и мышьяк в рыбных ресурсах района слияния рек Обь и Иртыш

¹Обнинский институт атомной энергетики – филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 249039, Обнинск, Россия;

²ФГБУН «Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН» Минобрнауки России, 620144, Екатеринбург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Многолетняя техногенная нагрузка, создаваемая добывающими, промышленными, энергетическими и сельскохозяйственными предприятиями Урала и Сибири на водные экосистемы, определяет необходимость оценки содержания тяжёлых металлов и мышьяка в рыбе наиболее крупных рек – Оби и Иртыша.

Материалы и методы. Исследование проведено в период 2004–2010 гг. на созданной сети экологического мониторинга ихтиофауны в пределах 300–500 км участков Оби и Иртыша в районе их слияния. В уловах шести хищных и четырёх мирных видов рыб оценивали содержание Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Fe, Al, V, Hg и As. Элементы в пробах определяли атомно-абсорбционным методом. Безопасность рыбных ресурсов оценивали по соответствию в образцах наиболее токсичных Pb, Cd, As и Hg нормативам СанПиН 2.3.2.1078–01 и ТР ТС 021/2011.

Результаты. Показано, что за период наблюдений вся рыба в районе слияния Оби и Иртыша соответствовала санитарно-гигиеническим нормам по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка. Отмечено, что Al, Fe и Zn определяют более 90% накопления 12 рассмотренных элементов в ихтиофауне. Продemonстрирована тенденция к повышению концентрации поллютантов в рыбе. За пять лет в ихтиофауне Оби содержание девяти тяжёлых металлов увеличилось в 3,6 раза, в ихтиофауне Иртыша – в 4,5 раза. Максимальные уровни накопления элементов отмечены в леще, переляди и плотве, а минимальные – в язе, налиме и щуке, что объясняется их питанием. Эти данные необходимо учитывать при организации промысла рыбных ресурсов на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Ограничения исследования. Концентрацию токсикантов оценивали в хищных и мирных видах рыбы, выловленной в период отбора проб, а расширение перечня анализируемой ихтиофауны и числа элементов может стать предметом дальнейших исследований.

Заключение. Увеличение содержания поллютантов в ихтиофауне района слияния Оби и Иртыша показывает необходимость систематического контроля накопления тяжёлых металлов и мышьяка в рыбных ресурсах региона и оценки соответствия их нормативам.

Ключевые слова: Обь-Иртышская речная система; ихтиофауна; техногенез; тяжёлые металлы; экологический мониторинг; токсичные элементы; оценка безопасности

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Панов А.В., Коржавин А.В., Коржавина Т.Н. Тяжёлые металлы и мышьяк в рыбных ресурсах района слияния рек Обь и Иртыш. Гигиена и санитария. 2026; 105(4): 405–411. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-4-405-411> <https://elibrary.ru/xreect>

Для корреспонденции: Панов Алексей Валерьевич, e-mail: riar@mail.ru

Вклад авторов: Панов А.В. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Коржавин А.В. – написание текста; Коржавина Т.Н. – сбор и обработка материала. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, тема № 122021000077-6.

Поступила: 19.05.2025 / Принята к печати: 24.03.2026 / Опубликовано: 18.05.2026

Aleksei V. Panov¹, Aleksandr V. Korzhavin², Tatyana N. Korzhavina²

Heavy metals and arsenic in fish resources in the confluence area of Ob and Irtysh rivers

¹Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering – a branch of the National Research Nuclear University “Moscow Engineering Physical Institute”, Obninsk, 249039, Russian Federation;

²Institute of Plant and Animal Ecology, Ural branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The long-term technogenic impact of mining, industrial, energy and agricultural enterprises in the Urals and Siberia on freshwater systems determines the need to assess the content of heavy metals and arsenic in fish in the largest rivers, the Ob and Irtysh.

Materials and methods. The study was conducted in 2004–2010 on the established network of ecological monitoring of ichthyofauna within 300–500 km of sites in the confluence of the Ob and Irtysh rivers. The content of Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Fe, Al, V, Hg, and As was estimated in the catches of six predatory and four peaceful fish species. Elements in samples were detected by atomic absorption method of analysis. Safety of fish resources was assessed by compliance of the most toxic Pb, Cd, As, and Hg in samples with the standards of SanPiN 2.3.2.1078–01 and TR CU 021/2011.

Results. During the observation period all fish in the Ob and Irtysh confluence area was shown to comply with sanitary and hygienic standards for heavy metal and arsenic content. Al, Fe, and Zn were noted to account for more than 90% of the accumulation of 12 elements considered in the ichthyofauna. A tendency towards an increase in the concentration of pollutants in fish is demonstrated. Over five years, the content of nine heavy metals in the Ob ichthyofauna increased by 3.6 times, and in the Irtysh fish by 4.5 times. The maximum levels of accumulation of elements are noted in bream, peled, and roach, and the minimum in ide, burbot, and pike, which is determined by their diet and must be taken into account when managing the fishing in the Yurga region.

Limitations. The content of toxicants was assessed in predatory and peaceful fish species caught during the sampling period, and expanding the list of analyzed ichthyofauna and the number of elements may become the subject of further research.

Conclusion. The increase in the content of pollutants in the ichthyofauna of the confluence of the Ob and Irtysh rivers determines the need for systematic monitoring of the accumulation of heavy metals and arsenic in the fish resources of the region and their compliance with standards.

Keywords: Ob-Irtysh river system; ichthyofauna; technogenesis; heavy metals; environmental monitoring; toxic elements; safety assessment

Compliance with ethical standards. The study does not require submission of the opinion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Panov A.V., Korzhavin A.V., Korzhavina T.N. Heavy metals and arsenic in fish resources in the confluence area of Ob and Irtysh rivers. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2026; 105(4): 405–411. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-4-405-411> <https://elibrary.ru/xreet> (In Russ.)

For correspondence: Aleksei V. Panov, e-mail: riar@mail.ru

Contribution: Panov A.V. – research concept and design, writing a text, editing; Korzhavin A.V. – writing a text; Korzhavina T.N. – the collection and processing of the material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, theme no. 122021000077-6.

Received: May 19, 2025 / Accepted: March 24, 2026 / Published: May 18, 2026

Введение

В последние десятилетия загрязнение пресноводных и морских экосистем тяжёлыми металлами (ТМ) и мышьяком приняло глобальный масштаб, что отмечается во многих странах мира [1–3]. Поступление токсикантов в водную среду связано как с природными процессами (эрозия почв, выветривание горных пород, вулканическая активность и др.), так и с антропогенной деятельностью (добыча полезных ископаемых, индустриализация, сельскохозяйственные, промышленные и бытовые стоки) [4]. Высокие концентрации ТМ и мышьяка в воде не только обуславливают ухудшение её качества, но и приводят к угнетению гидробионтов (планктон, зообентос, иктиофауна), при этом рыба часто является конечным звеном в пищевых экологических цепях пресноводных и морских экосистем, аккумулируя в себе поллютанты. Так, повышенное содержание Cd, Pb, Hg, Cu и Zn в воде, накопление этих ТМ в донных отложениях и бентосе негативно влияют на рост и развитие иктиофауны, её дыхательную и репродуктивную системы [5]. Наряду со снижением биоразнообразия водных экосистем серьёзно повышаются риски ухудшения здоровья населения, использующего в пищу рыбные ресурсы [6, 7]. Особенно важен контроль содержания ТМ и мышьяка в рыбе, если данный продукт является значимым компонентом в пищевой корзине населения, будучи для человека незаменимым источником ценного белка, жирных кислот и минералов [4, 8]. Поскольку наиболее токсичные Cd, Pb, Hg и As могут накапливаться в организме человека при потреблении загрязнённой ими рыбы, вызывая болезни печени, почек, сердца, лёгких, нарушения обмена веществ и влияя на канцерогенез, мониторинг содержания ТМ и мышьяка в иктиофауне является актуальной задачей, особенно в регионах с неблагоприятной экологической обстановкой [2, 6, 9].

В России в течение многих лет серьёзному техногенному воздействию подвергается одна из наиболее крупных в стране речная система – Обь-Иртышская. Иртыш, имея трансграничный бассейн, берёт своё начало в Монголии. Далее река протекает по территории Китая, где формируется 11% годового стока воды, затем в Казахстане (24%) и на территории России (65%) [10]. На промышленно развитых территориях Урала и Сибири эксплуатируется множество предприятий по добыче нефти, газа и руд, а также металлургии, химии, атомной промышленности и сельского хозяйства. Все они являются источником поступления загрязняющих веществ, в том числе ТМ, в водные экосистемы Оби и Иртыша с их многочисленными притоками [11]. На высокую миграцию токсикантов в реках Обь-Иртышского бассейна оказывают влияние гидрологические и метеорологические явления, обусловленные рядом причин, в том числе глобальным потеплением климата. Всё это приводит к ухудшению качества воды вниз по течению Оби и Иртыша, которое наиболее выражено на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Так, в 2004–2006 гг. содержание

железа в воде Оби и Иртыша в районе их слияния превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК) для рыбохозяйственных водоёмов¹ в 3–15 раз (ПДК 0,1 мг/л), меди – 7–17 раз (0,001 мг/л), свинца – 1,1–1,4 раза (0,006 мг/л), алюминия – 1,3–2 раза (0,04 мг/л), марганца – 3,7–4,3 раза (0,01 мг/л) и ртути до 25 раз (0,00001 мг/л) [12, 13].

В районе слияния Оби и Иртыша на территории ХМАО – Югры местное население активно занимается рыболовством. Здесь обитают рыбы 29 видов, относящиеся к 9 семействам. Треть из этих видов используется в качестве промысловых [14, 15]. Проведены разносторонние исследования влияния антропогенной нагрузки на динамику размножения, состояние жабр и печени сиговых, карповых и окунёвых видов промысловых рыб Обь-Иртышского бассейна в период 1981–2009 гг. Показано, что высокий техногенный фон может негативно влиять на традиционные места нагула, нереста и зимовок промысловых рыб, что приводит к значительной их трансформации [16]. С учётом серьёзного многолетнего вклада предприятий промышленности Урала и Сибири в поступление ТМ в водные экосистемы Оби и Иртыша и важности ограничения накопления токсикантов в организме человека через потребление рыбных ресурсов была заложена в 2005 г. сеть экологического мониторинга иктиофауны в районе слияния обеих рек на участках до 300–500 км. К настоящему времени накоплены данные шестилетних наблюдений за рыбой исследуемых участков магистральных рек, что позволяет провести комплексный анализ на длительном промежутке времени.

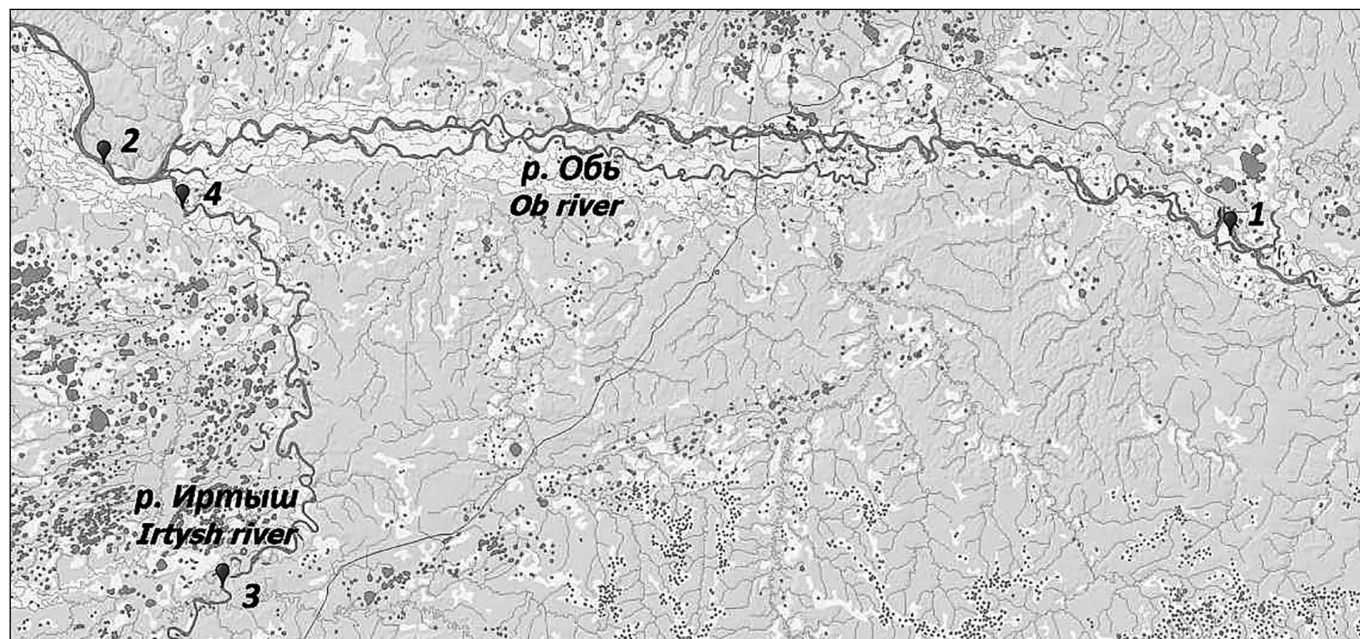
Цель работы – оценка содержания тяжёлых металлов и мышьяка в рыбных ресурсах района слияния Оби и Иртыша на основе анализа данных многолетнего экологического мониторинга иктиофауны.

Материалы и методы

Рыбу, обитающую в районе слияния Оби и Иртыша, изучали в 2005–2010 гг. в сети экологического мониторинга, включающего четыре пункта наблюдения (ПН) в пределах 300–500 км (см. **рисунок**):

- ПН № 1 – р. Обь напротив Нижневартовска, 510 км до р. Иртыш;
- ПН № 2 – р. Обь, 20 км ниже места слияния с р. Иртыш;
- ПН № 3 – р. Иртыш в районе с. Демьянское, 300 км до р. Обь;
- ПН № 4 – р. Иртыш, 20 км до места слияния с р. Обь.

¹ Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО; 1999. [Perechen' rybohozjajstvennyh normativov: predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochnyh bezopasnyh urovnej vozdejstvija (OBUV) vrednyh veshhestv dlja vody, vodnyh ob'ektov, imejushih rybohozjajstvennoe znachenie. List of fishery standards: maximum permissible concentrations (MPC) and estimated safe exposure levels (ESEL) of harmful substances for water and water bodies of fishery importance. Moscow: VNIRO; 1999. (in Russian)]



Расположение пунктов наблюдения (1–4) сети экологического мониторинга ихтиофауны в районе слияния Оби и Иртыша.

Location of sites (1–4) of ecological monitoring network of ichthyofauna in the area of the Ob and Irtysh rivers confluence.

Таблица 1 / Table 1

Характеристика сети экологического мониторинга ихтиофауны на реках Обь и Иртыш

Characteristics of the network of ecological monitoring of ichthyofauna on the Ob and Irtysh rivers

Пункт наблюдения Observation site	Место отбора Place of sampling	Годы исследования Years of research	Вид рыбы Fish species
1	р. Обь напротив Нижневартовска, 510 км до р. Иртыш The Ob river opposite the city of Nizhnevartovsk, 510 km to the Irtysh river	2005–2010	Ёрш, карась, лещ, налим, окунь, пелядь, плотва, щука, язь Ruff, crucian, bream, burbot, perch, peled, roach, pike, ide
2	р. Обь, на 20 км ниже места слияния с р. Иртыш The Ob river, 20 km below its confluence with the Irtysh river	2010	Карась, лещ, налим, окунь, плотва, щука, язь Crucian, bream, burbot, perch, roach, pike, ide
3	р. Иртыш в районе с. Демьянское, 300 км до р. Обь The Irtysh River near the village of Demyanskoye, 300 km to the Ob River	2005, 2008, 2010	Окунь, щука, язь Perch, pike, ide
4	р. Иртыш, 20 км до места слияния с р. Обь The Irtysh River, 20 km to the confluence with the Ob river	2005–2007, 2009	Ёрш, карась, лещ, налим, окунь, плотва, щука, язь Ruff, crucian, bream, burbot, perch, roach, pike, ide

Отлов рыбы в ПН проводили сетями (длина 50 м, высота 3 м, ячейки 30; 40; 50; 70 мм) в летние месяцы. Также использовали уловы местных рыбаков. В уловах за весь период наблюдений присутствовали шесть видов хищных (ихтиофагов) – ёрш *Acerina cernua* L., налим *Lota lota* L., окунь *Perca fluviatilis* L., судак *Stizostedion lucioperca*, щука *Esox lucius* L., язь *Leuciscus idus* L., а также четыре вида мирных и всеядных эврифагов – карась *Carassius carassius* L., лещ *Abramis brama* L., пелядь *Coregonus peled*, плотва *Rutilus rutilus rutilus* (табл. 1). Некоторые представители мирных видов ихтиофауны при недостатке корма переходят на другой тип питания. Пробы рыб каждого вида примерно одного возраста (2–3 года) отбирали в трёх повторностях. Для оценки содержания в рыбе ТМ у неё отделяли мышечную ткань массой 50–100 г без костей. Пробы фиксировали в 5%-м растворе формалина. Пробоподготовку и определение массовой концентрации ТМ в пробах рыбы проводили в аккредитованной лаборатории физико-химических методов анализа Учебно-научного центра факультета геологии и геофизики Уральского государственного горного университета (аттестат аккредитации

№ РОСС RU.0001.517802) в соответствии с утверждёнными методиками^{2,3,4}

² ГОСТ 26929–94. Сырьё и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Стандартинформ; 2010. [GOST 26929–94. Syr'e i produkty pishchevye. Podgotovka prob. Mineralizaciya dlya opredeleniya soderzhaniya toksichnykh elementov. Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements. Moscow: Standartinform; 2010. (in Russian)]

³ ГОСТ 30178–96. Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ; 2010. [GOST 30178–96. Syr'e i produkty pishchevye. Atomno-absorbtsionnyy metod opredeleniya toksichnykh elementov. Raw materials and food products. Atomic absorption method for the determination of toxic elements. Moscow: Standartinform; 2010. (in Russian)]

⁴ ГОСТ 53183–2008. Продукты пищевые. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии холодного пара с предварительной минерализацией пробы под давлением. М.: Стандартинформ; 2008. [GOST 53183–2008. Produkty pishchevye. Opredelenie rtuti metodom atomno-absorbtsionnoy spektrometrii holodnogo para s predvaritel'noy mineralizatsiej proby pod davleniem. Foodstuffs. Determination of trace elements. Determination of mercury by cold-vapour atomic absorption spectrometry (CVAAS) method after pressure digestion. Moscow: Standartinform; 2008. (in Russian)]

Таблица 2 / Table 2

Среднее содержание тяжёлых металлов и мышьяка в рыбе района слияния Оби и Иртыша в 2005–2010 гг., мг/кг
Average content of heavy metals and arsenic (mg/kg) in fish in the confluence area of the Ob and Irtysh rivers over 2005–2010, mg/kg

Элемент Element	Пункт наблюдения / Observation site				Норматив Standard
	1	2	3	4	
Cr	0.06 ± 0.04	0.10	0.03 ± 0.02	0.05 ± 0.02	—
Pb	0.04 ± 0.03	0.12	0.03 ± 0.01	0.06 ± 0.03	1.0
Mn	0.33 ± 0.19	0.27	0.23 ± 0.15	0.36 ± 0.16	—
Ni	0.04 ± 0.02	0.05	0.04 ± 0.03	0.04 ± 0.01	—
Cu	0.33 ± 0.21	0.29	0.36 ± 0.35	0.37 ± 0.16	—
Zn	6.34 ± 4.41	10.09	4.01 ± 2.33	7.33 ± 3.89	—
Cd	0.01 ± 0.01	0.01	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.2
Fe	9.91 ± 2.85	16.21	9.21 ± 4.88	11.05 ± 4.88	—
Al	10.11 ± 4.86	15.84	10.94 ± 7.42	10.05 ± 7.02	—
V	0.86 ± 0.42	1.61	1.16 ± 0.51	1.38	—
Hg	0.04 ± 0.02	0.04	0.03	0.05	0.3 (0.6)*
As	0.46 ± 0.06	0.62	0.53	0.57	1.0
n	84	21	15	57	—

Примечание. * — 0,3 для мирных видов рыб; 0,6 — для хищных видов рыб.
Note: * — 0.3 for peaceful fish species; 0.6 — for predatory fish species.

Для определения валового содержания ТМ и мышьяка в образцах использован атомно-абсорбционный спектрометр Квант 2А. С 2005 г. в рыбе измеряли содержание Cr, Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Fe, Al; с 2008 г. добавили определение V и Hg, а с 2009 г. — As. Применяемые средства измерений и методическое обеспечение позволили достоверно определять содержание элементов в ихтиофауне на уровне регионального техногенного фона. Оценку безопасности рыбы проводили, сопоставляя результаты измерений содержания в ней поллютантов с требованиями СанПиН 2.3.2.1078–01⁵ и ТР ТС 021/2011⁶. Согласно нормативам, предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания токсикантов в рыбе установлены для свинца — не более 1 мг/кг, мышьяка — не более 1 мг/кг, ртути — не более 0,3 мг/кг для мирных видов и не выше 0,6 мг/кг для хищных видов, кадмия — не более 0,2 мг/кг. Все результаты измерений подвергались статистической обработке с определением среднего арифметического значения и стандартного отклонения с использованием Microsoft Excel. Данные о содержании ТМ и мышьяка в рыбе представлены на сырой вес, как это принято в научной литературе.

Результаты

Уровни накопления 11 ТМ и мышьяка в ихтиофауне района слияния Оби и Иртыша за период наблюдений (2005–2010 гг.) варьировали в широком диапазоне, достигающем трёх порядков величин с учётом вариации

результатов измерений (табл. 2). Так, из всех элементов максимальные значения содержания в рыбе отмечены у алюминия (5–18 мг/кг) и железа (4–16 мг/кг), а минимальные — у кадмия, одного из наиболее токсичных ТМ (≈ 0,01 мг/кг). По снижению средней концентрации в рыбе все рассмотренные элементы можно представить в ряду: Al (35,5% от общего количества) > Fe (35,4%) > Zn (21%) > V (3,8%) > As (1,6%) > Cu (1,03%) > Mn (0,9%) > Pb (0,19%) > Cr (0,18%) > Ni (0,13%) > Hg (0,12%) > Cd (0,03%). Таким образом, в рыбных ресурсах три ТМ (Al, Fe и Zn) из 12 рассмотренных определяют более 90% массового содержания элементов. За исследуемый период уровень загрязнения ихтиофауны практически всеми токсикантами в ПН № 2 был до 1,5–3 раза выше, чем в других точках отбора проб. Более высокое содержание поллютантов в рыбе данного пункта наблюдения может быть обусловлено уловом в этом месте только в 2010 г. (см. табл. 1). С увеличением статистической информации по пунктам наблюдений (ПН № 1, ПН № 3 и ПН № 4) такие отличия нивелируются, что подчёркивает важность проведения системных мониторинговых исследований накопления токсикантов в рыбных ресурсах Обь-Иртышского бассейна. Возможной причиной разового повышения содержания элементов в ихтиофауне ПН № 2 мог стать сложный гидрологический режим Оби и Иртыша, вызывающий периодическое усиление аллювиальной активности, особенно в годы с повышенным водостоком и выносом поллютантов, депонированных в донных отложениях и пойменных почвах. В целом все пункты наблюдения по общему накоплению 12 элементов в ихтиофауне можно расположить в ряд: ПН № 2 (суммарно 47 мг/кг) > ПН № 4 (36 мг/кг) > ПН № 3 (29,7 мг/кг) > ПН № 1 (29,4 мг/кг).

В экологическом мониторинге водных экосистем наиболее важна оценка санитарно-гигиенической безопасности рыбных ресурсов. По требованиям СанПиН 2.3.2.1078–01 и ТР ТС 021/2011 в рыбе не должно быть превышено допустимое содержание четырёх наиболее токсичных элементов: Pb, As, Cd и Hg. Как видно из данных табл. 2, средние показатели накопления в ихтиофауне нормируемых поллютантов в несколько раз ниже действующих нормативов: Pb в 8–33 раза в зависимости от пункта наблюдения; As — 1,6–2,2 раза; Cd — в 20 раз во всех ПН; Hg — в 6–10 раз

⁵ Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078–01. Бюллетень нормативных и методических документов госсанэпиднадзора. 2002; 4(10): 9–144. [Sanitary Rules and Norms 2.3.2.1078–01. Hygienic requirements for food safety and nutritional value. Byulleten' normativnykh i metodicheskikh dokumentov gossan-epidnadzora. Bulletin of regulations and methodological documents of the state sanitary and epidemiological supervision. 2002; 4(10): 9–144. (in Russian)]

⁶ ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями от 24 апреля 2024 года). [TR TS 021/2011 Tekhnicheskiiy reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti pishchevoy produktsii» (s izmeneniyami ot 24 aprelya 2024 goda). TR TS 021/2011 Technical Regulations of the Customs Union «On food safety» (as amended on April 24, 2024). (in Russian)]

для мирных видов ихтиофауны и в 12–20 раз — для хищных видов. Максимальные значения содержания в рыбе нормируемых токсикантов, зафиксированные в период наблюдений, были также ниже пороговых уровней, установленных в СанПиН 2.3.2.1078–01 и ТР ТС 021/2011. Так, самая высокая концентрация свинца, отмеченная в 2010 г. в плотве ПН № 2 (0,21 мг/кг), была ниже норматива в 4,8 раза. Наиболее высокое содержание мышьяка (0,9 мг/кг) зафиксировано в этом же году и пункте наблюдения в окуне (не превышало норматива 1 мг/кг), однако было достаточно близко к нему. Максимальная концентрация кадмия (0,08 мг/кг) отмечена в 2006 г. в карасе ПН № 4 (в 2,5 раза ниже норматива). Самое высокое накопление ртути (0,09 мг/кг) зафиксировано в 2009 г. в окуне ПН № 4 (меньше ПДК в 6,5 раза). В целом вся рыба района слияния Оби и Иртыша отвечает санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию четырёх токсикантов, однако отличия данных по годам, уловам в пунктах наблюдения и видам ихтиофауны требуют оценки динамики и особенностей накопления поллютантов мирными и хищными видами рыб.

Обсуждение

Анализ результатов мониторинговых исследований показал, что увеличение сбросов техногенных загрязнителей в водные экосистемы рек Обь-Иртышского бассейна приводит к повышению накопления поллютантов в рыбных ресурсах (табл. 3), однако превышений действующих нормативов содержания наиболее токсичных элементов в ихтиофауне не зафиксировано. Ежегодные измерения девяти элементов в ихтиофауне Оби и Иртыша показали стабильный рост концентрации ТМ в рыбе с 2005 по 2009 г., а в 2010 г. некоторую стабилизацию показателя. За пять лет увеличение массовой концентрации девяти поллютантов в ихтиофауне Оби (ПН № 1 и ПН № 2) составило 3,6 раза (см. табл. 3), а в ихтиофауне Иртыша (ПН № 3 и ПН № 4) — 4,5 раза (см. табл. 3). В Оби такое повышение произошло за счёт увеличения содержания Zn (в 12,6 раза), Mn (6,6 раза) и Cr (4,9 раза). В ихтиофауне Иртыша в большей степени увеличилось накопление Al (6,2 раза), Pb (5,1 раза) и Zn (4,3 раза). В целом из табл. 3 и данных [12, 13] следует, что экологическая обстановка исследуемых рек нестабильна и во многом определяется колебаниями уровней загрязнения воды тяжёлыми металлами вследствие их поступления в составе промышленных, сельскохозяйственных и бытовых стоков, накопления в донных отложениях и пойменных почвах, а также переноса поллютантов с водными потоками вниз по течению рек.

Таблица 3 / Table 3

Динамика среднего содержания девяти элементов в рыбе района слияния рек Обь и Иртыш в 2005–2010 гг., мг/кг

Trend in the average content of nine elements in the fish of the confluence of the Ob and Irtysh rivers in 2005–2010, mg/kg

Река River	Элемент Element	Год / Year					
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
Обь Ob	Cr	0.02	0.05	0.02	0.03	0.1	0.1
	Pb	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.11
	Mn	0.08	0.55	0.28	0.39	0.53	0.22
	Ni	0.02	0.06	0.05	0.03	0.05	0.04
	Cu	0.15	0.31	0.14	0.73	0.31	0.32
	Zn	0.86	5.46	3.48	5.04	10.9	11.2
	Cd	0.002	0.02	0.005	0.01	0.003	0.01
	Fe	5.87	7.38	10.4	11.1	13.8	13.6
	Al	4.2	4.0	10.7	12.8	14.2	15.3
Σ		11.2	17.9	25.1	30.1	39.9	40.9
Иртыш Irtysh	Cr	0.02	0.04	0.03	0.03	0.06	0.04
	Pb	0.02	0.04	0.04	0.04	0.1	0.02
	Mn	0.2	0.41	0.31	0.39	0.59	0.1
	Ni	0.02	0.04	0.04	0.02	0.05	0.08
	Cu	0.26	0.62	0.28	0.77	0.3	0.15
	Zn	2.02	10.9	4.33	6.12	8.76	4.37
	Cd	0.01	0.04	0.003	0.01	0.003	0.01
	Fe	4.31	8.95	10.9	12.2	16.8	11.9
	Al	2.66	2.46	12.5	15.3	16.5	15.2
Σ		9.52	23.6	28.4	34.8	43.2	31.9

Как было показано выше, содержание поллютантов в ихтиофауне зависит не только от места отлова, но и от вида рыб. Так, вариабельность содержания техногенных загрязнителей между видами составляет 1,4 раза (табл. 4), а наиболее токсичных поллютантов — 1,8 раза (см. табл. 4). Несмотря на относительно небольшую разницу в содержании токсикантов, полученные результаты позволяют выделить общие закономерности накопления ТМ и мышьяка различными видами ихтиофауны. Максимальными аккумуляторами поллютантов, по данным мониторинга рыбы Оби и Иртыша,

Таблица 4 / Table 4

Закономерности накопления ТМ и мышьяка мирными и хищными видами рыбы, обитающей в районе слияния рек Обь и Иртыш, мг/кг
The pattern of accumulation of heavy metals and As in peaceful and predatory species of fish living in the region of the confluence of the Ob and Irtysh rivers, mg/kg

Вид рыбы Fish species	Элемент / Element											
	Cr	Pb	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Fe	Al	V	Hg	As
Щука / Pike	0.05	0.04	0.37	0.04	0.41	5.31	0.01	8.95	9.88	1.25	0.05	0.52
Налим / Burbot	0.07	0.03	0.38	0.04	0.47	5.47	0.01	9.83	10.5	1.35	0.07	0.41
Язь / Ide	0.04	0.03	0.27	0.05	0.38	6.31	0.01	10.1	10.3	1.13	0.04	0.53
Окунь / Perch	0.04	0.06	0.43	0.05	0.26	6.05	0.01	10.5	11.6	1.12	0.07	0.75
Карась / Crucian	0.06	0.06	0.41	0.04	0.36	7.67	0.01	12.3	10.4	0.72	0.03	0.53
Ёрш / Ruff	0.03	0.03	0.36	0.03	0.55	11.4	0.01	10.9	9.03	0.33	0.01	0.54
Плотва / Roach	0.06	0.07	0.41	0.04	0.25	6.34	0.01	14.1	10.7	0.78	0.04	0.53
Пелядь / Peled	0.04	0.02	0.31	0.01	0.73	4.7	0.001	16.6	11.6	0.37	0.04	0.54
Лещ / Bream	0.08	0.09	0.42	0.04	0.41	6.4	0.01	13.9	12.9	1.17	0.04	0.55

являются лещ, пелядь и плотва (мирные виды), а минимальными — щука, налим и язь (хищные виды). В то же время окунь (хищный вид), не будучи выраженным аккумулятором тяжёлых металлов, максимально накапливает наиболее токсичные элементы (см. табл. 4). Стоит отметить, что среди четырёх наиболее токсичных поллютантов в тушках рыбы 80–90% составляет мышьяк. Разница в степени накопления ТМ и мышьяка между мирными или всеядными (эврифагами) видами и хищными (ихтиофагами) объясняется разной биологией выделенных групп рыб (образ жизни, тип питания, процессы метаболизма и др.). Повышенное накопление поллютантов в мирных видах ихтиофауны обусловлено концентрацией ТМ в донных отложениях и кормовой базе: более высокое — в бентосе, меньшее — в фито- и зоопланктоне. Хищные виды ихтиофауны замыкают пищевую цепь в водной экосистеме, следовательно, загрязнители поступают в их организм из тканей видов рыб, входящих в рацион питания.

Повышенное накопление тяжёлых металлов и мышьяка в леще и плотве можно объяснить прежде всего типом их питания. В большей степени (особенно лещ) они потребляют бентосные организмы и поэтому захватывают с кормом частицы донных отложений, аккумулирующих токсиканты. В ряде исследований [9] также отмечено, что самые высокие концентрации тяжёлых металлов обнаружены в тканях рыб, обитающих в пелагических средне-нижнем и придонных слоях воды. Таким образом, виды ихтиофауны, питающиеся бентосом, накапливают более высокие концентрации тяжёлых металлов по сравнению с рыбами, обитающими в верхнем слое воды. Пелядь питается преимущественно планктоном, но в зависимости от гидрологического и термического режима, а также недостатка кормовой базы может переходить на корм, состоящий из бентонических организмов (личинки и куколки хирономид, моллюски и др.), что также может способствовать накоплению в ней тяжёлых металлов. В целом полученные результаты демонстрируют как различия в накоплении поллютантов мирными и хищными видами ихтиофауны, так и особенности биологии каждого вида. Это позволяет сформировать обобщённый рейтинг видов рыбы по степени снижения накопления ТМ и мышьяка: лещ > пелядь > плотва > ёрш > карась > окунь > язь > налим > щука. Представленный рейтинг достаточно условен, но его можно использовать в качестве ориентира при планировании промысла рыбы в водоёмах, подверженных техногенному загрязнению, для обеспечения санитарно-гигиенической безопасности населения. Наряду с установленными закономерностями и видовыми различиями накопления токсикантов в ихтиофауне в ряде работ показано, что на степень накопления поллютантов влияет также возраст и размер рыб. В молодой и более мелкой рыбе накопление поллютантов выше, что может быть связано с интенсивным метаболизмом растущих представителей ихтиофауны [12, 13].

Сравнение данных о накоплении токсикантов в рыбе района слияния Оби и Иртыша и результатов, полученных в других промышленно развитых регионах России и за рубежом, показывает сходные результаты по одним веществам и значительные различия по другим. Так, в рыбе Белоярского водохранилища, образованного на р. Пышме, относящейся к системе рек Пышма — Тура — Тобол — Иртыш, за тот же период наблюдений отмечено сходное содержание в ихтиофауне свинца (0,04 мг/кг), марганца (0,29 мг/кг), железа (11,6 мг/кг), цинка (10,7 мг/кг), но гораздо меньшее (до 19 раз) накопление мышьяка (0,03 мг/кг), до 18 раз — ванадия (0,07 мг/кг) и до 8 раз — хрома (0,01 мг/кг) [17]. Вероятно, предприятия, расположенные ниже по течению на реках Пышма, Тура, Тобол и Иртыш, сбрасывают промышленные и сельскохозяйственные стоки, содержащие повышенные концентрации As, V, Cr и других поллютантов.

В рыбе Брянской, Липецкой, Тамбовской и Белгородской областей (Центральный федеральный округ, ЦФО) [18]

содержание свинца варьирует в широком диапазоне (0,001–0,075 мг/кг) и близко к среднему значению (0,06 мг/кг) в ихтиофауне района слияния Оби и Иртыша. Диапазон концентрации в рыбе ЦФО кадмия (0,0002–0,78 мг/кг) также соответствует среднему содержанию этого токсиканта в ихтиофауне Обь-Иртышской системы (0,01 мг/кг). Содержание мышьяка в рыбных ресурсах ЦФО варьирует в очень широких пределах (0,0001–0,25 мг/кг), однако средний показатель в рыбе исследуемого участка Оби и Иртыша значительно выше (0,54 мг/кг), что подтверждает особенности водных экосистем промышленно развитых регионов Урала и Сибири. Накопление ртути в ихтиофауне ЦФО также варьирует в диапазоне трёх порядков величин (0,0008–0,38 мг/кг). Содержание этого наиболее токсичного элемента в рыбе района слияния Оби и Иртыша ($\approx 0,04$ мг/кг) вполне укладывается в середину указанного разброса данных для ЦФО.

В ихтиофауне реки Падма (Ганг) в зоне влияния строящейся АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш), по данным экологического мониторинга 2016–2017 гг., содержание свинца варьировало в диапазоне 0,03–0,6 мг/кг [19]. Средние значения накопления этого токсиканта в рыбе Обь-Иртышской речной системы (0,06 мг/кг) попадают в этот диапазон. Концентрация кадмия в рыбе Падмы варьирует в пределах 0,002–0,075 мг/кг. Содержание этого элемента в рыбе Оби и Иртыша (0,01 мг/кг) также находится в указанном диапазоне. Содержание мышьяка в рыбе Падмы варьирует в пределах 0,001–0,03 мг/кг, что намного меньше, чем в рыбе Оби и Иртыша (0,54 мг/кг). Таким образом, подтверждается значительное поступление данного поллютанта в водные экосистемы Обь-Иртышского бассейна от промышленных предприятий. Ртуть в ихтиофауне Падмы варьирует в диапазоне трёх порядков величин (0,00006–0,019 мг/кг), однако среднее содержание данного элемента в рыбе Оби и Иртыша ($\approx 0,04$ мг/кг) в 2 раза и более превышает максимальный уровень накопления в рыбе Падмы, что также говорит о неблагоприятной экологической обстановке в низовьях Обь-Иртышского бассейна.

Представленные данные сравнительного анализа накопления ТМ и мышьяка в ихтиофауне показывают как общие экологические проблемы промышленно развитых территорий Урала и Сибири, так и региональные особенности водных экосистем различной степени индустриализации. В представленной работе проведён анализ динамики уровня накопления наиболее распространённых 11 тяжёлых металлов и мышьяка в десяти видах мирных и хищных представителей ихтиофауны (летние уловы). Поэтому предметом дальнейших исследований могут стать распространение пунктов наблюдений до низовья Оби вплоть до Карского моря, расширение сроков отбора проб рыбы и перечня видов ихтиофауны с особым вниманием к промысловым видам, а также дополнение списка изучаемых элементов важными для физиологии человека I, K, Ca, Co, Si, Li, Mg, Mo, Na, Se, P.

Заключение

Оценка санитарно-гигиенической безопасности рыбных ресурсов в районе слияния Оби и Иртыша показала, что даже в условиях серьёзной техногенной нагрузки содержание нормируемых тяжёлых металлов и мышьяка в потребляемой местным населением рыбе отвечает действующим стандартам при консервативном подходе, учитывающем максимальные результаты измерений поллютантов. Однако ежегодное увеличение содержания техногенных загрязнителей в ихтиофауне и их высокий уровень в воде ставит задачу продолжения экологического мониторинга рыбных ресурсов в районе слияния Оби и Иртыша с целью обеспечения безопасности населения Ханты-Мансийского автономного округа — Югры и низовий Оби в границах Ямало-Ненецкого автономного округа.

Литература

(п.п. 1–9 см. References)

10. Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А. Диагностический анализ состояния, проблемы и перспективы водопользования в трансграничном бассейне реки Иртыш. *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2016; (4): 47–61. <https://elibrary.ru/wgwyov>
11. Решетняк О.С., Брызгалов В.А., Косменко Л.С. Региональные особенности высокого уровня загрязненности рек Обь-Иртышского бассейна. *Вода: химия и экология*. 2013; (6): 3–9. <https://elibrary.ru/qjdvmd>
12. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. *Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Том 1*. Екатеринбург: АкадемНаука; 2014. <https://elibrary.ru/vpoydh>
13. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. *Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Том 2*. Екатеринбург: АкадемНаука; 2016. <https://elibrary.ru/ytzhiv>
14. Павлов Д.С., Мочек А.Д., ред. *Экология рыб Обь-Иртышского бассейна*. М.: КМК; 2006. <https://elibrary.ru/qkpbz>
15. Шмыглева А.В. Рыбохозяйственные исследования Обь-Иртышского речного бассейна (первая половина XX в.). *Вестник Сургутского государственного педагогического университета*. 2022; (6): 17–24. <https://doi.org/10.26105/SSPU.2022.81.6.002> <https://elibrary.ru/ebuexu>
16. Селюков А.Г. Морфофункциональные изменения рыб бассейна средней и нижней Оби в условиях возрастающего антропогенного влияния. *Вопросы ихтиологии*. 2012; 52(5): 581–600. <https://elibrary.ru/pcilfx>
17. Панов А.В., Трапезников А.В., Коржавин А.В., Сидорова Е.В., Корнеев Ю.Н. Тяжелые металлы и мышьяк в пищевой продукции района размещения промышленных предприятий и атомной электростанции. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(1): 70–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-70-76> <https://elibrary.ru/lkogfg>
18. Головина Н.А., Романова Н.Н., Головин П.П., Здрок А.В. Мониторинг качества и безопасности водных биологических ресурсов из водоемов Центрального федерального округа Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 246–52. <https://elibrary.ru/dwcvuf>
19. Микаилова Р.А., Курбаков Д.Н., Сидорова Е.В., Гешель И.В., Андреева Н.В., Сорокин Ю.В. и др. Комплексный радиационно-экологический мониторинг водных экосистем в регионе размещения АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш). *Морской биологический журнал*. 2020; 5(3): 30–54. <https://doi.org/10.21072/mbj.2020.05.3.04> <https://elibrary.ru/glaxoj>

References

1. Saravanan P., Saravanan V., Rajeshkannan R., Arnica G., Rajasimman M., Baskar G., et al. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environ. Res.* 2024; 258: 119440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119440>
2. Abbas M.M.M., EL-Sharkawy S.M., Mohamed H.R., Elaraby B.E., Shaban W.M., Metwally M.G., et al. Heavy metals assessment and health risk to consumers of two commercial fish species from polyculture fishponds in El-Sharkia and Kafr El-Sheikh, Egypt: Physiological and biochemical study. *Biol. Trace Elem. Res.* 2024; 202(10): 4735–50. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-04007-1>
3. Yaakub N., Firdaus Ridzwan M., Abdul Rahman M.N., Mahamad Ali M.F. Bioaccumulation of heavy metals in freshwater fish: conservation concerns at Taman Rimba Ilmu Tanah Bris (Tribe) UniSZA. *Int. J. Conserv. Sci.* 2025; 16(1): 293–302. <https://elibrary.ru/xlvwbs>
4. El-Kady A.A., Abdel-Wahhab M.A. Occurrence of trace metals in foodstuffs and their health impact. *Trends Food Sci. Technol.* 2018; 75: 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.001>
5. Sharma M., Kant R., Sharma A.K. Exploring the impact of heavy metals toxicity in the aquatic ecosystem. *Int. J. Emerg. Water Res.* 2025; 9: 267–80. <https://doi.org/10.1007/s42108-024-00284-1>
6. Garofalo L., Sala M., Focardi C., Pasqualetti P., Delfino D., D'Onofrio F., et al. Monitoring of cadmium, lead, and mercury levels in seafood products: a ten-year analysis. *Foods*. 2025; 14(3): 451. <https://doi.org/10.3390/foods14030451>
7. Tanjung R.H.R., Indrayani E., Agamawan L.P.I., Hamuna B. Ecological and human health risks assessment related to heavy metals in surface sediments and some fish species in Lake Sentani, Indonesia. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2025; 11: 101148. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2025.101148>
8. Alam M., Rohani M.F., Hossain M.S. Heavy metals accumulation in some important fish species cultured in commercial fish farm of Natore, Bangladesh and possible health risk evaluation. *Emerg. Contam.* 2023; 9(4): 100254. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100254>
9. Yi Y., Tang C., Yi T., Yang Z., Zhang S. Health risk assessment of heavy metals in fish and accumulation patterns in food web in the upper Yangtze River, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2017; 145: 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.022>
10. Vinokurov Yu.I., Krasnoyarova B.A. Diagnostic analysis of the water use status, problems and prospects in the Irtysh River transboundary basin. *Vodnoe khozaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2016; (4): 47–61. <https://elibrary.ru/wgwyov> (in Russian)
11. Reshetnyak O.S., Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S. Regional features of acute pollution of rivers of the Ob-Irtysh basin. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2013; (6): 3–9. <https://elibrary.ru/qjdvmd> (in Russian)
12. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N. *Radioecological Monitoring of Freshwater Ecosystems. Volume 1 [Radioekologicheskii monitoring presnovodnykh ekosistem. Tom 1]*. Ekaterinburg: AkademNauka; 2014. <https://elibrary.ru/vpoydh> (in Russian)
13. Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N. *Radioecological Monitoring of Freshwater Ecosystems. Volume 2 [Radioekologicheskii monitoring presnovodnykh ekosistem. Tom 2]*. Ekaterinburg: AkademNauka; 2016. <https://elibrary.ru/ytzhiv> (in Russian)
14. Pavlov D.S., Mochek A.D., eds. *Ecology of Fishes of the Ob-Irtysh Basin [Ekologiya ryb Ob'-Irtyshskogo basseina]*. Moscow: KMK; 2006. <https://elibrary.ru/qkpbz> (in Russian)
15. Shmygleva A.V. Fishery studies of the Ob-Irtysh river basin (the first half of the XX century). 2022; (6): 17–24. <https://doi.org/10.26105/SSPU.2022.81.6.002> <https://elibrary.ru/ebuexu> (in Russian)
16. Selyukov A.G. Morphofunctional transformations in fishes of the middle and lower Ob' basin under increasing anthropogenic influence. *Journal of Ichthyology*. 2012; 52(8): 547–65. <https://doi.org/10.1134/S0032945212040108> <https://elibrary.ru/rkgtll>
17. Panov A.V., Trapeznikov A.V., Korzhavin A.V., Sidorova E.V., Korneev Yu.N. Heavy metals and arsenic in foodstuffs in the vicinity of industrial enterprises and nuclear power plant. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(1): 70–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-70-76> <https://elibrary.ru/lkogfg> (in Russian)
18. Golovina N.A., Romanova N.N., Golovin P.P., Zdrok A.V. Quality and safety monitoring of water biological resources from water bodies of the Central Federal District of the Russian Federation. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(3): 246–52. <https://elibrary.ru/dwcvuf> (in Russian)
19. Mikailova R.A., Kurbakov D.N., Sidorova E.V., Geshel I.V., Andreeva N.V., Sorokin Yu.V., et al. Comprehensive radioecological monitoring of freshwater ecosystems in the vicinity of Rooppur NPP (People's Republic of Bangladesh). *Morskoi biologicheskii zhurnal*. 2020; 5(3): 30–54. <https://doi.org/10.21072/mbj.2020.05.3.04> <https://elibrary.ru/glaxoj> (in Russian)

Сведения об авторах

Панов Алексей Валерьевич, доктор биол. наук, профессор РАН, и.о. директора ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 249039, Обнинск, Россия. E-mail: riar@mail.ru

Коржавин Александр Васильевич, канд. вет. наук, и.о. зав. лаб. общей радиоэкологии, ИЭРИЖ УРО РАН, 620144, Екатеринбург, Россия. E-mail: BFS_zar@mail.ru

Коржавина Татьяна Николаевна, канд. пед. наук, старший инженер лаб. общей радиоэкологии, ИЭРИЖ УРО РАН, 620144, Екатеринбург, Россия.

About the authors

Aleksei V. Panov, DSc (Biology), professor RAS, acting director, Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering – a branch of the National Research Nuclear University “Moscow Engineering Physical Institute”, Obninsk, 249039, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9845-7572> E-mail: riar@mail.ru

Alexander V. Korzhavin, PhD (Veterinary), acting head, Laboratory of general radioecology of the institute of plant and animal ecology, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0963-6593> E-mail: BFS_zar@mail.ru

Tatyana N. Korzhavina, PhD (Pedagogy), senior engineer, Laboratory of general radioecology of the institute of plant and animal ecology, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural branch of the Russian Academy of Science, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4040-4398>