

УДК 504.453:556.535.8:546.49 (571.13)

РТУТЬ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ИРТЫШ: ПРОБЛЕМЫ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНОК ЗАГРЯЗНЕНИЯ

С.С. Эйрих

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,**E-mail: steyrikh@gmail.com*

Оценка загрязнения ртутью окружающей среды представляет собой важную задачу, учитывая ее высокую токсичность, подвижность и способность к трансформации между компонентами экосистем. Минаматская конвенция о ртути, направленная на сокращение негативных последствий для здоровья человека и окружающей среды от ее воздействия, подчеркивает необходимость географически репрезентативного мониторинга уровней ртути и ртутных соединений в компонентах окружающей среды. В работе выполнен критический анализ возможностей существующих методик определения ртути в воде, а также подходов, принятых при оценке загрязненности донных отложений. Используемые в настоящее время аттестованные методики РФ не позволяют определять реальные концентрации ртути в воде незагрязненных водоемов, поэтому оценки загрязнения водоемов и водотоков на основе полученных данных могут быть не всегда корректны. Для получения достоверных результатов о содержании ртути в незагрязненных пресных водах необходимо учитывать все аспекты пробоподготовки, проводя строгий контроль потерь и загрязнения, и применять методы, обеспечивающие достаточную чувствительность. Выбор методики оценки уровня загрязненности донных отложений требует анализа существующих условий и достоверных натурных данных. В работе представлены современные данные о содержании общей ртути в воде и донных отложениях р. Иртыш, полученные с использованием современных высокочувствительных методов анализа. Данные результаты легли в основу оценки современного качества воды и состояния водных экосистем трансграничных участков рек бассейна р. Иртыш.

Ключевые слова: ртуть; вода; донные отложения; достоверность определения; оценка загрязнения; река Иртыш.

*DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17406**Дата поступления: 10.08.2024. Принята к печати: 16.09.2024*

Река Иртыш является одной из крупнейших транsgраничных рек России, протекающая по территории Китая, Казахстана и России. Иртыш берет начало из ледников на юго-западных склонах Монгольского Алтая. Питание реки смешанное, преимущественно снеговое. Сток Иртыша в верхнем течении на территории Республики Казахстан зарегулирован Бухтарминским, Усть-Каменогорским и Шульбинским водо-

хранилищами. В Омской области р. Иртыш является самой крупной, равнинной рекой, одновременно выполняющей роль основной водной транспортной магистрали, главного источника водоснабжения и приемника сточных вод г. Омска и многих других населенных пунктов. Помимо этого, река является рыболовным, рекреационным и туристским объектом. На р. Иртыш действуют 11 гидрологических постов ГУ «Омский ЦГМС-Р», на 7 из них ведутся гидрохимические наблюдения [Иртыш..., 2023]. Специалисты «Обь-Иртышского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» периодически обнаруживают в воде р. Иртыш высокие концентрации ртути, превышающие в несколько раз предельно-допустимые концентрации, установленных для водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{р/х}) [ФГБУ ..., 2024]. Данная информация активно распространяется в СМИ [Ртутные берега..., 2021; Омский Иртыш ..., 2024; В Иртыш ..., 2024], что порождает панику среди населения, поскольку всем известно, что ртуть очень токсична и является веществом 1-го класса опасности. Контроль качества воды осуществляет также Управление Роспотребнадзора по Омской области. Проверки воды в районе водозаборов и перед поступлением в распределительную сеть на водопроводных сооружениях превышений нормативов для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования не выявили. Все пробы воды соответствовали требованиям СанПиН по питьевой воде [СанПиН 1.2.3685-21]. Но для водных объектов рыбохозяйственного назначения

гораздо меньшие уровни ртути могут представлять опасность. Ртуть подвижна, легко трансформируется в окружающей среде и способна аккумулироваться организмами гидробионтов и биомагнифицироваться по трофическим цепям, достигая опасных для человека уровней [Lavoie et al., 2013; АМАР/UN Environment, 2019]. Поскольку случаи превышения ПДК_{р/х} наблюдались ежегодно и неоднократно, но достоверный источник загрязнения выявлен не был, то возникла необходимость оценки уровня содержания и накопления ртути по отдельным составляющим водных экосистем р. Иртыш (вода, донные отложения и биота). Это было сделано в 2022–2023 гг. в рамках НИР «Научные исследования по изучению динамики содержания химических веществ и изменчивости состояния водных экосистем в бассейне трансграничной реки Иртыш (Ертис) с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций по оценке качества воды и состояния водных объектов по гидрохимическим показателям для трансграничных участков рек бассейна реки Иртыш (Ертис)» [Аналитический отчет..., 2022 а].

Материалы и методы

Отбор проб воды и донных отложений (ДО) для определения в них концентраций ртути был выполнен с учетом особенностей гидрологического режима в тёплые периоды 2022–2023 гг. (июль – сентябрь 2022 г., апрель 2023 г.) в трех створах наблюдения на р. Иртыш (рис. 1):

1) выше с. Татарка Черлакского района Омской области – для оценки поступления загрязняющих веществ с территории

Республики Казахстан (створ расположен вблизи государственной границы Российской Федерации и Республики Казахстан);

2) выше г. Омска, около п. Новая Станица – фоновый створ, не испытывающий влияния г. Омска;

3) ниже г. Омска, около с. Красная Горка – для оценки влияния г. Омска на загрязнение реки.

На каждом створе было выбрано 3 точки для отбора проб: у правого и левого берегов и на стрежне. Пробы воды отбирали с моторной лодки при глубине в местах отбора проб 1.5–5 м. Образцы донных отложений отбирали бентосным утяжеленным дночерпателем из нержавеющей стали с площадью захвата 0.025 м². Одновременно с отбором проб были проведены измерения таких показателей как температура,

электропроводность, рН, Eh и мутность водной среды непосредственно в точке отбора с помощью гидрологического многопараметрического зонда качества воды YSI 6600V2. Всего за изученный период было выполнено 6 отборов.

Концентрации ртути в воде были определены методом атомно-флуоресцентной спектроскопии на анализаторе ртути “Mercur Duo Plus” (Analytik-Jena, Германия) в Химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН. Пробы воды предварительно фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм и определяли концентрации ртути как в фильтрованных, так и в нефилтрованных пробах после окисления BrCl в соответствии с методом US EPA 1631e [2002]. Предел обнаружения (ПО) Hg в воде составлял 1 нг/л, погрешность определения не превышала 30%.

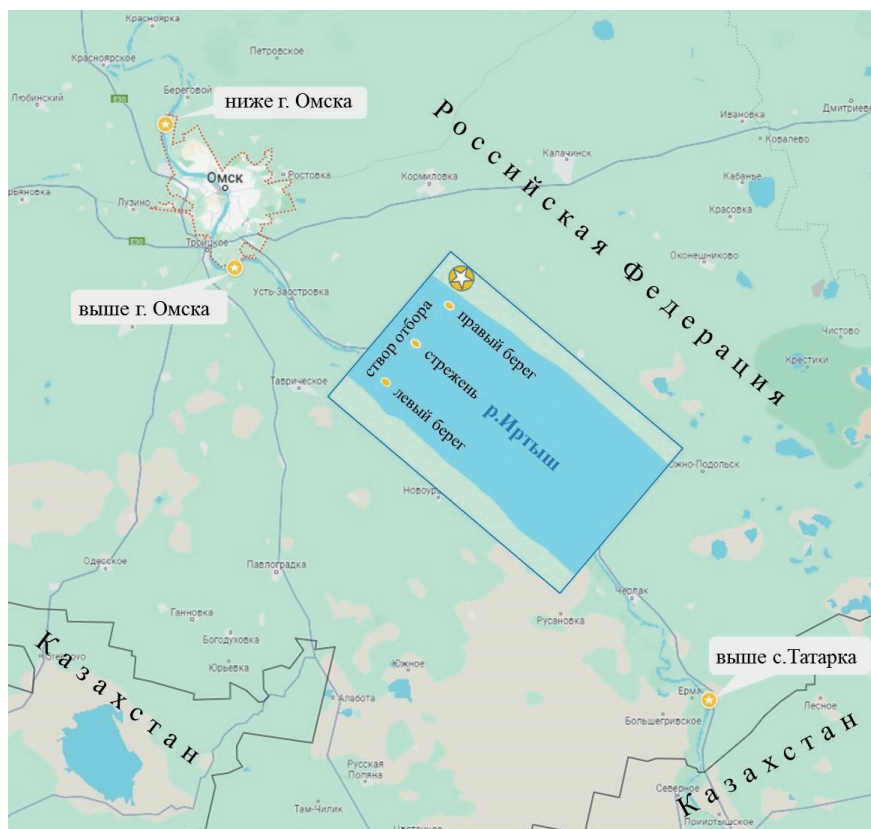


Рис. 1. Карта-схема расположения створов отбора проб на р. Иртыш
Fig. 1. Map-scheme of the sampling point locations on the Irtysh River

Для градуировки использовали Государственные стандартные образцы (ГСО) состава водных растворов ионов ртути (II). Контроль чистоты процедуры пробоподготовки и инструментального определения проводился с использованием «холостых» проб. Анализ массовой доли подвижных (кислоторастворимых) форм ртути в пробах ДО был выполнен в аккредитованной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по СФО» методом АЭС-ИСП с техникой генерации гидридов в соответствии с М-МВИ-80-2008 (п. 3) [М-МВИ-80-2008, 2008]. Диапазон измерений массовой доли ртути – от 0.005 до $1.0 \cdot 10^3$ мг/кг, суммарная относительная погрешность измерений – 30%. Статистическую обработку данных и построение графиков осуществляли с использованием MS Excel.

Результаты и обсуждение

Ртуть в воде р. Иртыш. Река Иртыш относится к водным объектам высшей категории рыбохозяйственного значения [ГОСТ 17.1.2.04-77], следовательно, для нее должны соблюдаться нормативы качества, установленные Приказом № 552 Министерства сельского хозяйства РФ для поверхностных вод рыбохозяйственного назначения [Приказ..., 2016]. ПДК_{р/х} для ртути составляет 10 нг/л, что требует высокочувствительных методов анализа и строгого контроля, как возможного загрязнения, так и потерь в процессе пробоподготовки и хранения.

1. Прежде всего, следует отметить, что ПДК_{р/х} для тяжелых металлов, в том числе и ртути, установлены только

для «растворимых в воде форм», как наиболее биодоступных и токсичных. В соответствии с Национальным Стандартом РФ [ГОСТ Р 59024-2020], который распространяется на любые типы вод и устанавливает общие требования к отбору, транспортированию и подготовке к хранению проб воды, для фильтрования рекомендуется использование мембранных, стеклянных пористых или бумажных фильтров. Фильтр (его материал, размер пор и др.) должен соответствовать методу определения показателя и не должен вносить дополнительных загрязнений. В разделе 6.2.2 отмечено: «Взвешенные вещества, осадки, морские водоросли и микроорганизмы при необходимости удаляют при взятии пробы или в максимально короткие сроки после отбора фильтрованием проб через фильтровальную бумагу, мембранный фильтр или центрифугированием. Фильтрование применяют также для разделения растворенных и нерастворенных форм определяемых показателей в соответствии с нормативным документом (НД) на метод анализа (измерения)». И далее в приложении уточняется: «Если согласно НД, определяющему методику (метод) измерений показателя, проба подлежит фильтрованию, а информация о типе используемого фильтра в НД отсутствует, рекомендуется использование мембранных, стеклянных пористых фильтров с размером пор не более 0.45 мкм или бумажных (белая, синяя лента) фильтров», т.е. в документе уравнивают между собой абсолютно несопоставимые способы фильтрования, дающие разный уровень разделения растворенных и

взвешенных форм определяемых веществ, что приводит к несопоставимости конечных результатов. К примеру, при фильтровании через фильтр «синяя лента» с диаметром пор 2–3 мкм, анализируемая проба представляет не только растворенные формы металлов, но и часть взвешенных, сорбированных на наиболее мелкой фракции, а также коллоидных форм. При оценке же загрязненности с ПДК_{р/х} часто сравнивают общую концентрацию ртути в нефильтованной пробе, либо в профильтрованной через тот фильтр, который оказался в наличии. И в этом случае говорить о превышении норматива некорректно. Впрочем, это касается не только ртути, но и других тяжелых металлов, для которых при фильтровании проб воды р. Иртыш через фильтр «синяя лента» с диаметром пор 2–3 мкм «превышения» ПДК_{р/х} наблюдались для железа, алюминия, марганца, меди и цинка, тогда как при фильтровании через мембранные фильтры диаметром пор 0.45 мкм незначительное превышение ПДК_{р/х} наблюдалось повсеместно только по меди, единично (в одной из точек) – для Al и Mn, для остальных металлов превышений не зафиксировано [Отчет., 2023]. Иногда встречается даже фильтрование ранее законсервированных проб. Консервация нефильтованных проб приводит к десорбции взвешенных форм металла в раствор и, следовательно, существенному завышению результатов относительно реального содержания растворенных форм металлов. Таким образом, для оценки уровня загрязненности проб природной воды ртутью на основе их сравнения с

ПДК_{р/х} необходимо обеспечить выделение растворенных форм ртути посредством фильтрования через мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм с контролем стадии фильтрования с использованием «холостой» пробы (фильтрование дистиллированной или деионизированной воды аналогично пробе).

2. Выполнение условий ультрачистого отбора и анализа (контроль посуды и реактивов до полевых испытаний, использование Hg-free реактивов, полевая и лабораторная «холостые» пробы), консервация проб во избежание сорбции и улетучивания, соблюдение сроков анализа.

3. При определении уровня содержания ртути в природных водах необходимо применять чувствительные методы анализа, позволяющие определить ее реальные концентрации. По современным оценкам [АМАР/UN Environment, 2019; Suess et al., 2020] уровень концентраций ртути в незагрязненных речных водах составляет менее 10 нг/л. В РФ аттестованы и используются, в том числе для целей государственного экологического контроля содержания ртути в различных видах вод, следующие методы определения ртути:

1) метод беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии («холодного пара») ГОСТ 31950-2012 (ПО 0.1 мкг/дм³, при применении особо чистых реактивов – 0.02 мкг/дм³, что в 2 раза выше ПДК_{р/х}), ПНД Ф 14.1:2:4.20-95 (диапазон измерений (ДИ) от 0.01 до 15 мкг/дм³, погрешность для нижнего диапазона измерений – 68%), ПНД Ф 14.1:2:4.136-98 (ДИ 0.01–10 мкг/дм³, погрешность 30%), ПНД Ф 14.1:2:4.260-2010 (изд. 2021 г., ДИ 0.1–10 мкг/дм³,

погрешность 47%), М-МВИ-41-98 (ДИ 0.05–10 мкг/дм³), М-МВИ-82-01 (ДИ 0.25–40 мкг/дм³ с использованием анализатора ртути АГП-01-2М);

2) атомно-абсорбционный метод с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915М с приставками «РП-92» или «УРП» ПНД Ф 14.1:2.4.271-2012 (М 01-51-2012, ФР.1.31.2012.13167), М 01-55-2016 (ФР.1.31.2016.25159) (ПО 0.01 мкг/л, рекомендован ФГБУ «Гидрохимический институт» для лабораторий Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и других ведомств, осуществляющих мониторинг загрязнения водных объектов).

3) атомно-абсорбционный метод с электротермической атомизацией М 01-43-2006 (изд. 2011 г., ДИ 0.01–1.0 мкг/л, спектрометр «МГА-915/1000» с ртутно-гидридной приставкой «РГП-915»). Аттестован для контроля загрязнения окружающей среды и включен в Перечень стандартов ТР ЕАЭС 044/2017 «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду».

4) атомно-эмиссионный метод НЦВ-002-2012 (ФР.1.31.2013.15940) (ПО 0.01 мкг/л с применением спектрометров серии ICAP 6000 Duo)

5) метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) НСАМ № 481-X (ФР.1.31.2017.28126) (ред. 2017 г., ДИ 0.05–20 мкг/дм³).

Использование данных методов лабораториями Росгидромета и других ведомств, осуществляющих мониторинг

загрязнения водных объектов, не позволяет корректно определять концентрации ртути на уровне, соответствующем ее реальному содержанию в незагрязненных пресных водах (единицы нанограммов) и оценивать уровень загрязнённости, т.к. для оценки состояния загрязнённости водных объектов рекомендовано, чтобы предел обнаружения загрязняющих веществ был равен 30% (или ниже) установленных стандартов качества (Директива по обеспечению и контролю качества Европейского сообщества [Directive..., 2009]). По мере уменьшения соотношения ПО:ПДК неопределенность измерения увеличивается и за пределами соотношения 1:2 результаты не считаются статистически значимыми. Следовательно, при определении ртути в пресных водах водных объектов рыбохозяйственного значения ПО должен составлять не более 3–5 нг/л. Высокая погрешность определения в диапазоне низких концентраций не позволяет сравнивать их с ПДК_{р/х}. Проверки квалификации лабораторий посредством межлабораторных сравнительных испытаний в пробах природной воды (модельные растворы) проводятся для концентраций ртути в диапазоне от 0.01 до 0.1 мкг/дм³ [Программы проверок квалификации (МСИ), 2024], что существенно выше ее концентраций в незагрязненных пресных водах.

Наиболее широко используемый во всех мировых экологических исследованиях метод определения ртути в воде – US EPA 1631e (“Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry”) [US EPA 1631e, 2002]. Он применяется для

определения низких и ультранизких концентраций Hg в пробах пресных и морских вод, атмосферных осадков, ледников и т.д. и при особых условиях позволяет достигать предела обнаружения 0.02 нг/л [Эйрих, Швиковски, 2005]. В ХАЦ ИВЭП СО РАН использование данного метода в сочетании с чистыми условиями позволяет определять ртуть с ПО 1 нг/л и погрешностью, не превышающей 30%. Результаты определения ртути в пробах воды р. Иртыш показали, что в летний и осенний периоды (июль, август, сентябрь 2022 г.) концентрации растворенной ртути были на уровне или ниже предела обнаружения метода (1 нг/л). Наибольшие концентрации растворенной ртути были отмечены в весенний период: 5–7 нг/л (в апреле 2023 г.), при этом значимых различий между створами не выявлено. Ни в одной из исследованных проб воды концентрация растворенных форм ртути не превышала ПДК_{р/х}. Таким образом, современный уровень концентраций общей ртути на изученном участке р. Иртыш соответствует уровню ее содержания в незагрязненных речных водах (менее 10 нг/л). Ретроспективные данные Росгидромета, к сожалению, не позволяют оценить изменение концентраций ртути в р. Иртыш за длительный период времени из-за недостаточной чувствительности применяемых методов ее определения.

Миграция и распределение ртути в водных экосистемах зависит от химического состава поверхностных вод, который формируется под воздействием природных и антропогенных факторов, влияющих на направленность и глубину

протекания различных внутриводоемных процессов [Эйрих, 1999]. В зависимости от условий Hg существует в различных степенях окисления и входит в состав разнообразных неорганических и органических соединений, которые могут быть истинно растворимыми, коллоидно-дисперсными или входить в состав минеральных и органических взвесей. В состав взвешенных веществ кроме частиц породы и почвы попадают находящиеся в водной толще организмы фито- и зоопланктона, а также детрита. Это обуславливает различную миграционную способность металла в водной экосистеме. Преобладание растворенной формы ртути, в основном, характерно для водоемов, где концентрация взвешенных веществ мала, в мутных же реках большая часть ртути транспортируется на взвеси [Moore, Ramamurthy, 2012]. С учетом особенностей гидрологического режима реки Иртыш в ее среднем течении (от границы с Республикой Казахстан до устья р. Тобол) были выделены следующие сезоны:

01.01 – 15.04 – зимняя межень;

16.04 – 31.05 – весеннее половодье;

01.06 – 05.11 – летне-осенняя межень с дождевыми паводками;

06.11 – 31.12 – зимняя межень.

По результатам экспедиционных работ [Аналитический отчет..., 2022 а] мутность в р. Иртыш изменялась в течение изученного периода 2022–2023 гг. от 9.27 до 42.29 NTU. Наибольшие значения отмечались в период весеннего половодья во всех трех створах, причем в этот период наблюдалось плавное снижение мутности вниз по течению от створа ниже с. Татарка

до створа ниже г. Омска (рис. 2).

Концентрации общей ртути в воде р. Иртыш в весенний период 2023 г. также были максимальные, при этом большая ее часть находилась в растворенной форме (от 67 до 83%), хотя по многочисленным литературным данным [Эйрих, 1999; Ефимов, 2023] для рек в весенний период характерно преобладание взвешенных форм над растворенными, что объясняется высокой мутностью воды на пике половодья. Можно предположить, что значительная часть ртути оседает ранее вместе со взвешенным веществом в водохранилищах Казахстана, депонируясь в донных отложениях.

Это подтверждается ретроспективными данными Росгидромета для 20-летнего периода (2000–2020 гг.): среднегодовое количество взвешенных веществ в р. Иртыш в черте г. Омск варьирует от 12.2 до 48.0 мг/л (среднегодовое зна-

чение 27.4 мг/л), при этом внутригодовая изменчивость незначительна, а максимальные значения во время весеннего половодья отмечаются в течение очень короткого периода (не более недели), что, вероятно, связано с находящимися выше по течению Иртыша на территории Казахстана водохранилищами.

Ртуть в донных отложениях р. Иртыш. Оценка аккумуляции. Донные отложения являются важной абиотической составляющей водных объектов, в которых происходит аккумуляция поступающих в водные объекты загрязняющих веществ. Концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях изменяются в результате процессов сорбции минеральным и органическим веществом, комплексообразования, образования и осаждения труднорастворимых соединений, коагуляции и т. д.

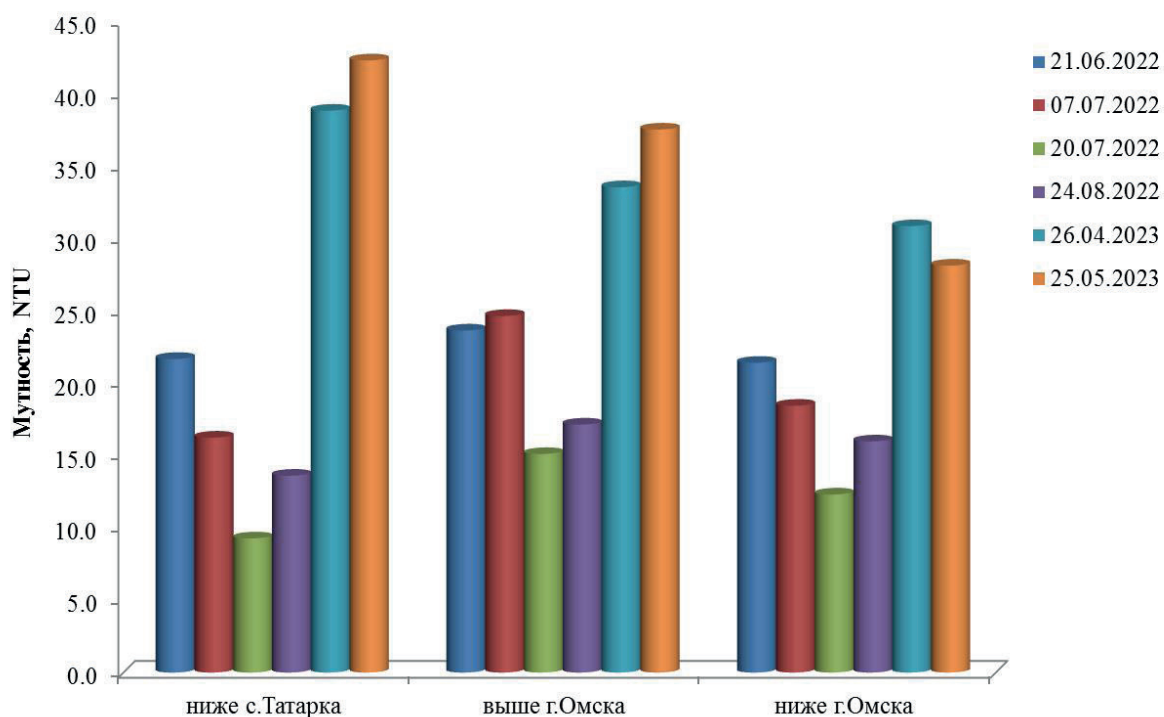


Рис. 2. Пространственное и временное изменение мутности (NTU) в воде изучаемого участка р. Иртыш
Fig. 2. Spatial and temporal variability of turbidity (NTU) in the water of the studied area of the Irtysh River

При изменении физико-химических условий возможно поступление ТМ из ДО и их диффузия из поровых вод в придонные слои, т. е. возникает угроза вторичного загрязнения водоема [Даувальтер, 2012]. Таким образом, донные отложения могут выступать как в роли «хранителя» ртути, так и в роли ее вторичного источника.

Результаты определения ртути в донных отложениях р. Иртыш показали, что содержание ее подвижных форм в течение исследуемого периода изменялось в диапазоне от 0.003 до 0.140 мг/кг [Аналитический отчет..., 2022 б]. Пространственно-временная изменчивость концентраций ртути в ДО р. Иртыш, представлена на рисунке 3. Содержания ртути в исследуемых пробах преимущественно находились в диапазоне фоновых уровней ртути в ДО пресноводных водоемов и водотоков (0.004–0.051 мг/кг [Buchman, 2008]), однако, в отдельных пробах концентрации достигали значений, превышающих 0.1 мг/кг, при этом разница концентраций Hg в ДО, отобранных на одном створе, могла составлять до 37 раз (створ ниже г. Омска, правый берег и стрежень, 23.08.23). Для створа ниже г. Омска, в целом наблюдался наибольший диапазон варьирования концентраций и локальное увеличение содержания ртути в ДО, приуроченное к правому берегу, вблизи впадения р. Омь и размещения основной части городской территории. Условно-фоновый створ выше г. Омска характеризуется наименьшей изменчивостью концентраций, как по створу (за исключением апреля), так и по времени.

Среднегодовые концентрации ртути

в ДО отличались по створам не так значительно: 44.3 мкг/кг (выше с. Татарка), 32.7 мкг/кг (выше г. Омска), 36.9 мкг/кг (ниже г. Омска) (табл. 1).

По гранулометрическому составу пробы ДО на изученном участке в значительной степени были представлены мелким, средним и крупным песком (до 96.7%). Положительная корреляция средней силы между концентрацией ртути и гранулометрическим составом выявлена только для фракции мелкого песка в створе выше с. Татарка ($r = 0.46$), что может свидетельствовать о наличии близлежащего источника загрязнения, так как именно мелкий или средний песок является фракцией-концентратором в техногенно-загрязненных ДО вблизи источника загрязнения, при удалении от источника загрязнения роль основных концентраторов переходит к более тонким фракциям – алевритовым и глинистым [Янин, 2018]. Для остальных фракций ДО корреляции их % содержания с концентрацией ртути не наблюдалось.

Единых стандартов в отношении качества донных отложений и нормативов, регламентирующих содержание наиболее распространенных и токсичных загрязняющих веществ, таких как ртуть, не существует. С точки зрения российского природоохранного законодательства, у загрязненных донных отложений неопределенный правовой статус и обоснованный вывод о загрязнении донных отложений на основе законодательства сделать невозможно [Агаханянц, Агранова, 2018]. С одной стороны, это компонент окружающей среды, для которого отсутствуют нормативы качества.

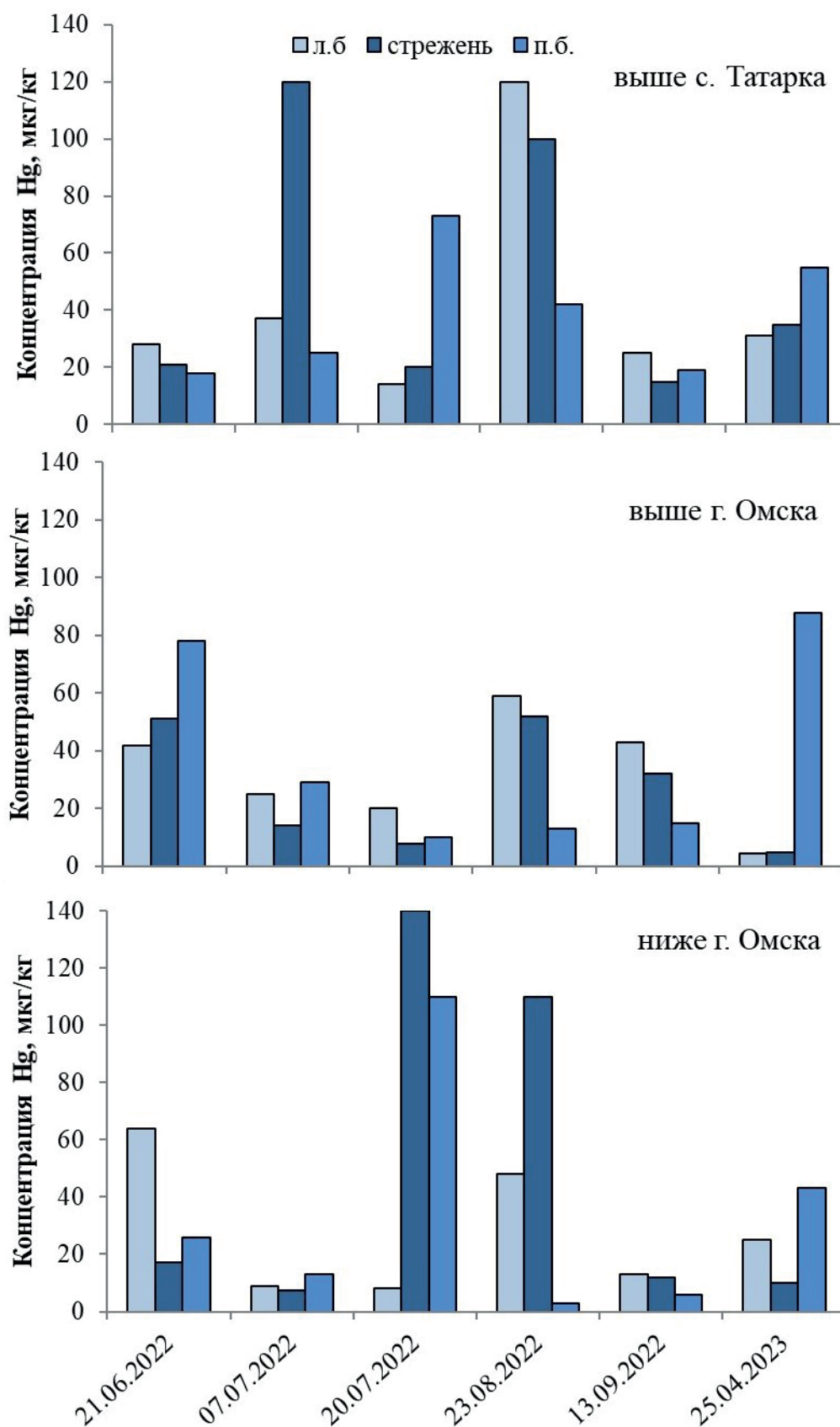


Рис. 3. Пространственное и временное распределение концентраций ртути (мкг/кг) в донных отложениях р. Иртыш

Fig. 3. Spatial and temporal distribution of mercury concentrations ($\mu\text{g/kg}$) in bottom sediments of the Irtysh River

Таблица 1

Содержание ртути в донных отложениях р. Иртыш, их гранулометрический состав и оценка загрязненности

Table 1

The content of mercury in the bottom sediments of the Irtysh River, their particle size distribution and quality assessment

Створ отбора проб		выше с. Татарка	выше г. Омска	ниже г. Омска
Концентрация Hg* (мг/кг)		$\frac{0.014-0.120}{0.044}$	$\frac{0.005-0.088}{0.033}$	$\frac{0.003-0.140}{0.037}$
Гранулометрический состав, %**	песок крупный и средний 1–0.25 мм	$\frac{0.15-96.7}{31.7}$	$\frac{0.05-96.3}{25.9}$	$\frac{0.40-89.4}{56.2}$
	песок мелкий 0.25–0.05 мм	$\frac{5.76-96.4}{60.9}$	$\frac{1.14-92.4}{55.8}$	$\frac{8.85-97.0}{42.3}$
	пыль 0.05–0.001 мм	$\frac{0.60-19.2}{1.76}$	$\frac{0.88-33.0}{2.84}$	$\frac{1.08-7.0}{1.80}$
	ил (<0.001) мм	$\frac{0.01-11.0}{1.48}$	$\frac{0.01-16.3}{1.32}$	$\frac{0.01-3.0}{0.12}$
	C _{орг.}	$\frac{0.06-0.23}{0.12}$	$\frac{0.06-0.29}{0.12}$	$\frac{0.06-0.17}{0.06}$
Класс ДО [Нормы и критерии..., 1996]		0	0	0
КДА**		$\frac{5 \cdot 10^3-2 \cdot 10^5}{7 \cdot 10^4}$	$\frac{5 \cdot 10^2-1 \cdot 10^5}{5 \cdot 10^4}$	$\frac{1 \cdot 10^3-2 \cdot 10^5}{4 \cdot 10^4}$

*в числителе указан диапазон варьирования, в знаменателе – среднее значение;

**КДА – коэффициент донной аккумуляции, в числителе указан диапазон варьирования, в знаменателе – среднее значение

С другой стороны, в государственный мониторинг водных объектов включены наблюдения за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях [РД 52.24.309-2016]. При оценке загрязненности ДО предлагается сравнение концентраций в пробах донных отложений, отобранных в створах наблюдений, с концентрациями в ДО фонового створа, удаленного от источников загрязнения (при условии идентичности типов донных отложений), либо с фоновыми концентрациями в слоях ДО, отобранных в этой же точке, соответствующих доиндустриальному времени [РД 52.24.609-2013]. Выбор фонового створа проблематичен. Так, условно-фоновый створ выше г. Омска, удаленный от источников загрязнения и имеющий схожий

тип ДО, в отдельные даты (21.06.2022 и 25.04.2023) демонстрирует более высокие уровни концентраций ртути по сравнению с остальными створами (рис. 3). Сравнение с фоновыми концентрациями в слоях ДО, соответствующих доиндустриальному времени, преимущественно используется в исследованиях озер и морей с достаточным осадконакоплением и применением датирования [Udodenko et al., 2018; Федоров и др., 2019; Таций, Баранов, 2022]. Также при оценках загрязненности ДО в качестве фоновых значений исследователи используют кларки осадочных пород, земной коры, кларки почв, региональный фон почв, ПДК_{почв} [Крамер, Тихонова, 2012]. Высокое значение ПДК_{почв} для ртути [СанПиН 1.2.3685-21] не корректно применять к ДО водных экосистем, т.к.

гигиеническое нормирование химических веществ в почве осуществляется с применением специфических только для данного компонента имитационного модельного почвенного эталона и показателей вредности [Янин, 2002]. В области экологического нормирования качества донных отложений чаще всего используют либо региональный норматив оценки загрязненности донных отложений, разработанный в рамках российско-голландского сотрудничества и с учетом зарубежного опыта для водных объектов Санкт-Петербурга [Нормы и критерии..., 1996], либо зарубежные методики: «голландский список», нормативы, установленные в ЕС, США, Канаде и т.д. [Burton, 2002; Buchman, 2008; Moreira, 2022]. Пороговые значения концентраций тяжелых металлов из консенсусных рекомендаций по критериям качества донных осадков, предложенные MacDonald D.D. с соавторами, широко применяются для

оценок состояния ДО пресноводных экосистем: consensus-based TEC (threshold effect concentration – концентрация, ниже которой возникновение вредных эффектов маловероятно) и PEC (probable effect concentration – концентрация, выше которой, вероятно, будут наблюдаться вредные эффекты) [MacDonald et al., 2000]. Вышеприведенные критерии и нормативы загрязнения ртутью пресноводных донных отложений приведены в таблице 2, в соответствии с которыми можно сделать заключение, что концентрации Hg в ДО р. Иртыш во всех створах наблюдения не превышают порогового безопасного уровня TEC (0.18 мг/кг), и тем более ниже целевого уровня (0.3 мг/кг), в соответствии с которым ДО относятся к 0 классу загрязнения, т.е. «чистые» (табл. 1). Большая часть ДО, находится на уровне, близком к кларку верхней части континентальной земной коры и ниже его [Rudnick, Gao, 2003].

Таблица 2
Критерии и нормативы загрязнения ртутью пресноводных донных отложений
(мг/кг сухого веса)

Table 2
Criteria and standards for assessing mercury contamination of freshwater sediments
(mg/kg dry weight)

Источник	[СанПиН 1.2.3685-21]	[Rudnick & Gao, 2003]	[Нормы и критерии..., 1996]				[MacDonald et al., 2000]	
Нормативы	ПДК _{почв}	Кларк верхней части континент. земной коры	Целевой уровень	Предельный уровень	Проверочный уровень	Уровень, требующий вмешательства	ТЕС (пороговый безопасный уровень)	РЕС (вероятное неблагоприятное воздействие)
Концентрация Hg, мг/кг	2.1	0.05	0.3	0.5	1.6	10	0.18	1.06

Минприроды РФ для оценки загрязнения водных объектов по результатам исследования донных отложений предписывает использовать следующий документ: «Методические указания по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов» [Приказ..., 2014], в котором для оценки накопления загрязняющих веществ в донных отложениях рассчитывают коэффициент донной аккумуляции (КДА):

$$\text{КДА} = C_{\text{ДО}} / C_{\text{вода}},$$

где $C_{\text{ДО}}$ – концентрация загрязняющего вещества в донных отложениях, мг/кг или мкг/кг; $C_{\text{вода}}$ – концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этом же створе, мг/л или мкг/л.

В соответствии с документом величины КДА, равные $n \cdot 10$ (где n – от 1 до 9) при низких концентрациях загрязняющих веществ в воде и донных отложениях обычно характеризуют обстановку в водном объекте как относительно удовлетворительную (без признаков хронического загрязнения). Невысокие значения КДА ($n \cdot 10 - n \cdot 10^2$) и повышенные концентрации загрязняющих веществ в воде указывают на поступление в водный объект свежего загрязнения, в результате чего отношения снижаются и не превышают двух порядков. Значения КДА, равные от $n \cdot 10^3 - n \cdot 10^4$ при концентрациях загрязняющего вещества в воде, существенно превышающих величину ПДК, свидетельствуют о

высоком уровне хронического загрязнения водного объекта. Коэффициенты донной аккумуляции, рассчитанные для изученного участка р. Иртыш, демонстрируют вариабельность по створам в пределах 2 порядков, минимальные КДА ($n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$) отмечались в апреле 2023 г. при повышении концентраций Hg в воде и снижении их в ДО, максимальные ($n \cdot 10^5$) – в августе 2022 г. при минимальных концентрациях ртути в воде, среднегодовые значения составили: $7 \cdot 10^4$, $5 \cdot 10^4$ и $4 \cdot 10^4$ в створах выше с. Татарка, выше и ниже г. Омска, соответственно (табл. 1). Несмотря на высокие значения КДА, они вполне согласуются с обобщенными данными изучения ТМ в пресноводных объектах [Никаноров, Страдомская, 2007], показавшими, что величины КДА, равные $n \cdot 10^4$, характерны для водных объектов с низким содержанием ТМ в воде и КДА не может быть использован как единственный показатель для оценки загрязненности ДО и состояния водного объекта. Можно заключить, что современные аналитические подходы позволяют определять содержание ртути в воде на низком (нанограммовом) уровне, а оценки КДА разрабатываются без учета реальных уровней содержания элементов в фоновых донных отложениях и природных водах (и их соотношения). Ртуть отличается высокими коэффициентами накопления, при этом общее количество ртути в ДО не определяет интенсивность ее бионакопления.

Доступность ртути для гидробионтов определяется интенсивностью протекания процессов метилирования. Именно эти процессы в донных отложениях озер, рек

и других водоемах являются ключевым этапом процессов миграции ртути по трофическим цепям водных экосистем [AMAP/UN Environment, 2019]. В качестве биоиндикаторов загрязнения водной среды на отдельных ее участках используют гидробионтов разных трофических уровней, в том числе и рыб, которые, являясь мигрирующими организмами, дают интегральную характеристику загрязнения водного объекта. Проведенные в рамках данной НИР исследования мышечной ткани рыб р. Иртыш [Отчет..., 2023] показали, что концентрации Hg в различных видах рыб, обитающих на изученном участке р. Иртыш, в целом ниже концентраций, полученных для аналогичных видов рыб водоемов бассейна р. Оби в исследованиях разных лет [Эйрих и др., 2024]. При этом планктофаги (песядь, уклейка, елец) проявляют потенциал для биоаккумуляции ($<5 \cdot 10^3$), а хищные рыбы (щука) и бентофаги (ерш, лещ) демонстрируют высокую степень биоаккумуляции (до $3 \cdot 10^5$), что характерно для ртути и подтверждено многими исследованиями [Комов и др., 2004; Derew et al., 2013]. Современные уровни содержания ртути не превышают установленных уровней безопасности пищевых продуктов ни для мирных, ни для хищных видов рыб [СанПиН 2.3.2.1078–01]. Однако при изменении параметров окружающей среды, влияющих на биодоступность ртути, ситуация может измениться [Moiseenko, Gashkina, 2020] и для оценки экологической ситуации необходимо получение всего комплекса химико-аналитических данных

о содержании ртути в абиотических и биотических составляющих водных экосистем и оценка их достоверности.

Заключение

Источниками возможных ошибок при определении уровня загрязнения ртутью природных вод могут быть:

- 1) неправильное фильтрование или его отсутствие;
- 2) недостаточная чистота посуды, реактивов и отсутствие контроля холостого, учитывающего все стадии пробоподготовки и анализа;
- 3) недостаточная чувствительность метода определения.

Аттестованные методики, используемые для целей государственного экологического контроля содержания ртути в различных видах вод, не позволяют определять реальные концентрации ртути в воде незагрязненных пресноводных экосистем. В соответствии с ПДК_{р/х} предел обнаружения должен быть не выше 3 нг/л. Решением может быть снижение пределов обнаружения имеющихся методик за счет использования более чистых реактивов, условий пробоподготовки и анализа, оптимизации инструментального определения, либо переход на более чувствительные методы, например, US EPA 1631e. При этом необходим строгий контроль всей процедуры пробоподготовки и инструментального анализа, особенно для водных проб. Для спорных ситуаций с экологическими оценками необходимо проведение интеркалибрационных испытаний разными лабораториями, использующими разные методы анализа.

Определение концентраций ртути в донных отложениях менее проблемно, чем в воде, но оценка загрязненности ДО очень неоднозначна. Выбор методики оценки загрязненности ртутью водной экосистемы представляет собой задачу, требующую детального анализа всех условий и получения достоверных натуральных данных содержания ртути в ее абиотических компонентах. Оценка уровня загрязненности только на основе сравнения с ПДК_{р/х} и КДА может быть неправомерна, как из-за некорректных данных, так и от того, что основную роль играет не общее количество ртути, а ее биодоступность. Общее количество ртути в ДО не определяет интенсивность ее бионакопления, которое зависит от многих факторов.

На примере р. Иртыш мы выяснили, что при существующих на настоящий момент физико-химических условиях концентрации общей ртути в воде на изученном участке р. Иртыш соответствует уровню ее содержания в незагрязненных речных водах (единицы нг/л и менее). Концентрации Hg в ДО р. Иртыш во

всех створах наблюдения не превышают порогового безопасного уровня, преимущественно находясь на уровне, близком к кларку верхней части континентальной земной коры и ниже, т.е. ДО относятся к «чистым» по ртути. Среднегодовые значения коэффициентов донной аккумуляции составили $(4-7) \cdot 10^4$, что характерно для водных объектов с низким содержанием металла в воде. Концентрации ртути в рыбах р. Иртыш не превышают установленных уровней безопасности. Средние коэффициенты бионакопления ртути относительно воды составили $5 \cdot 10^3$ для мирных и $2 \cdot 10^4$ для хищных рыб. Таким образом, в настоящее время ртуть преимущественно депонируется в донных отложениях, опасного накопления в рыбе не выявлено. Оценку загрязнения ртутью необходимо делать комплексно, на основе натуральных данных о ее содержании во всех компонентах водной экосистемы, с обязательной оценкой их достоверности, а также определением физико-химических условий и факторов, влияющих на биодоступность ртути.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interests

Работа выполнена в рамках Госконтракта «Научные исследования по изучению динамики содержания химических веществ и изменчивости состояния водных экосистем в бассейне трансграничной реки Иртыш (Ертис) с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций по оценке качества воды и состояния водных объектов по гидрохимическим показателям для трансграничных участков рек бассейна реки Иртыш (Ертис)» шифр 22-14-НИР/02 (2022-2023 гг.).

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории гидробиологии ИВЭП СО РАН за организацию и проведение экспедиционных работ, и предоставленный материал.

Список литературы

Агаханиянц П.Ф., Агранова Ю.С. Оценка состояния донных отложений в целях принятия решения о природоохранном дноуглублении в Российской Федерации // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13, № 2. С. 744–753.

Аналитический отчёт о результатах оценки динамики и основных тенденций изменения содержания химических веществ и изменчивости состояния водных объектов бассейна р. Иртыш с целью выявления характерных видов их загрязнения (регистрационный номер результата НИР–68509761-22-14-НИР/02-1) по теме: «Научные исследования по изучению динамики содержания химических веществ и изменчивости состояния водных экосистем в бассейне трансграничной реки Иртыш (Ертис) с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций по оценке качества воды и состояния водных объектов по гидрохимическим показателям для трансграничных участков рек бассейна реки Иртыш (Ертис)» шифр 22-14-НИР/02 (промежуточный, этап 1). Книга 1. ООО «Центр инженерных технологий». Барнаул, 2022 а. 463 с.

Аналитический отчёт о результатах оценки динамики и основных тенденций изменения содержания химических веществ и изменчивости состояния водных объектов бассейна р. Иртыш с целью выявления характерных видов их загрязнения по теме: «Научные исследования по изучению динамики содержания химических веществ и изменчивости состояния водных экосистем в бассейне трансграничной реки Иртыш (Ертис) с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций по оценке качества воды и состояния водных объектов по гидрохимическим показателям для трансграничных участков рек бассейна реки Иртыш (Ертис)» шифр 22-14-НИР/02 (промежуточный, этап 1). Книга 3. Протоколы лабораторных испытаний – ООО «Центр инженерных технологий». Барнаул, 2022 б. С. 797–1111.

В Иртыш в Омской области снова попала ртуть. [Электронный ресурс]. URL: <https://omskinform.ru/news/197252> (дата обращения 11.09.2024).

ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026772>

ГОСТ 31950-2012. Межгосударственный стандарт. ВОДА Методы определения содержания общей ртути беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрией. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785992.pdf>

ГОСТ Р 59024-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. ВОДА. Общие требования к отбору проб. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200175475>

Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.

Ефимов В.А. Пространственно-временная изменчивость химического состава

наносов рек российской Арктики: Дис. ... канд. геогр. наук. Москва. 2023. 131 с.

Иртыш – главная водная артерия Омской области // Федеральное агентство по недропользованию. Омский филиал Федерального бюджетного учреждения «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу». [Электронный ресурс]. URL: https://omsktfi.ru/?option=com_content&view=article&id=52:2011-04-19-02-41-51&catid=102:waterobject&Itemid=351 (дата обращения: 29.05.2024).

Комов В.Т., Степанова И.К., Гремячих В.А. Содержание ртути в мышцах рыб из водоёмов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок: Институт биологии внутренних вод РАН, 2004. С. 99–123.

Крамер Д.А., Тихонова И.О. Антропогенное загрязнение донных отложений малых рек // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19, № 4. С. 29–34.

М 01-43-2006 (Издание 2011 г.) Методика определения массовой концентрации общей ртути в пробах природных, питьевых и сточных вод (МГА-915/1000 с приставкой РГП-915). URL: https://www.lumex.ru/metodics/21ARU07.05.01-1_Hg.pdf

М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293824/4293824289.pdf>

Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Хроническое загрязнение пресноводных объектов по данным о накоплении пестицидов, нефтепродуктов и других токсичных веществ в донных отложениях // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. №. 3. С. 337–344.

Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. Санкт-Петербург: Ленморниипроект, 1996. 10 с.

НСАМ № 481-Х (ФР.1.31.2017.28126) (редакция 2017 г.) Определение общей ртути в природных и питьевых водах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. URL: https://vims-geo.ru/media/documents/reestr_metodik_06_2019.pdf

Омский Иртыш превратился в ртутную реку. [Электронный ресурс]. URL: https://superomsk.ru/news/141975-omskiy_irtsh_prevratilsya_v_rtutnuyu_reku/ (дата обращения: 2.09.2024).

Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать научно-обоснованные рекомендации по оценке качества воды и состояния водных объектов по гидрохимическим показателям для трансграничных участков рек бассейна р. Иртыш» (регистрационный номер результата НИР – 68509761-22-14-НИР/02-2) по теме: «Научные исследования по изучению динамики содержания химических веществ и изменчивости состояния водных экосистем в бассейне трансграничной реки Иртыш (Ертис) с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций по оценке качества воды и состояния водных объектов

по гидрохимическим показателям для трансграничных участков рек бассейна реки Иртыш (Ертис)» шифр 22-14-НИР/02 (промежуточный, этап 2). ООО «Центр инженерных технологий». Барнаул, 2023. 280 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.20-95 (издание 2011 г.) Методика измерений массовой концентрации ионов ртути в питьевых, поверхностных и сточных водах методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293805/4293805001.pdf>

ПНД Ф 14.1:2:4.136-98 (Дата актуализации: 01.01.2021). Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ртути методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии (Метод «холодного пара») в питьевой, природной и сточной водах и атмосферных осадках. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293837/4293837385.htm>

ПНД Ф 14.1:2:4.260-2010 (издание 2021 г.) Методика измерений массовой концентрации ртути в пробах питьевых, природных и сточных вод методом беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293815/4293815646.htm>

ПНД Ф 14.1:2:4.271-2012 (М 01-51-2012; М 01-55-2016) Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ртути в пробах природных, питьевых, минеральных, сточных вод атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения на анализаторе ртути РА-915М. URL: https://www.lumex.ru/metodics/22ARU08.03.09-1_water.pdf

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии России от 24 февраля 2014 г. № 112 «Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов». URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/10681> (дата обращения: 20.07.2024).

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 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» (с изменениями на 10 марта 2020 г.). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201701160006> (дата обращения: 20.07.2024).

Программы проверок квалификации (МСИ). ООО «ЦМКТ «КОМПЕТЕНТНОСТЬ». [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--e1aanihabaabh5ajcd4o.xn--p1ai/programmy-msi/2024> (дата обращения 10.09.2024).

РД 52.24.609–2013. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». 39 с.

РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием

и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». 100 с.

Ртутные берега: как опасный металл попал в Иртыш. URL: <https://iz.ru/1127693/sergei-gurianov/rtutnye-berega-kak-opasnyi-metall-popal-v-irtysh> (дата обращения 26.09.2022).

СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов от 06.11.2001 к постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 14 ноября 2001 № 36 «О введении в действие санитарных правил» URL: <https://docs.cntd.ru/document/901806306>

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изменениями на 30 декабря 2022 года). URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115_

Таций Ю.Г., Баранов Д.Ю. Особенности накопления ртути в донных отложениях двух арктических озер Западной Сибири // Геохимия. 2022. Т. 67, № 2. С. 182–190. doi: 10.31857/S0016752522020091

ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» Поверхностные воды. Случаи высокого и экстремально высокого загрязнения поверхностных вод. Омская область. URL: <http://omsk-meteo.ru/index.php/ru/home/monitoring-zagryazneniya-okruzhayushchej-sredy/omskaya-oblast1/poverkhnostnye-vody/sluchai-vysokogo-zagryazneniya-ekstremalno-vysokogo-zagryazneniya> (дата обращения: 03.09.2024).

Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Савицкий В.А. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Новигатский А.Н. Ртуть в донных осадках Белого моря: распределение, источники и хронология захоронения // Океанология. 2019. Т. 59, № 1. С. 153–162. doi: 10.31857/S0030-1574591153-162

Эйрих С.С. Особенности распределения и миграции ртути в водных экосистемах бассейнов рек Катунь и Томи: Дис. ... канд. хим. наук. Барнаул, 1999. 168 с.

Эйрих С.С., Колотушкина Л.В., Серых Т.Г. Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани мирных и хищных рыб реки Иртыш // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. Т. 73, №. 2. С. 77–94. doi: 10.24412/2410-1192-2024-17306

Эйрих С.С., Швиковски М. Опыт использования атомно-флуоресцентного анализатора «Мерсиг» для определения ультранизких концентраций ртути в пробах льда и снега // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики: сборник научных трудов. М.: ИМГРЭ, 2005. С. 111–114.

Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП «АРСО», 2018. 415 с.

Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.

AMAP/UN Environment. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway/UN Environment

Programme, Chemicals and Health Branch, Geneva, Switzerland. 2019. 426 p. URL: <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/report/technical-background-report-global-mercury-assessment-2018> (accessed: 06.08.2024).

Buchman M.F. NOAA screening quick reference tables. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2008. 34 p. URL: https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327/noaa_9327_DS1.pdf (accessed: 25.06.2024).

Burton Jr. G. A. 2002. Sediment quality criteria in use around the world // *Limnology*. Vol. 3. P. 65–76. doi:10.1007/s102010200008

Depew D.C., Burgess N.M., Anderson M.R., Baker R., Bhavsar S.P., Bodaly R.A., Eckley C.S., Evans M.S., Gantner N., Graydon J.A., Jacobs K., LeBlanc J.E., St. Louis V.L., Campbell L.M. An overview of mercury concentrations in freshwater fish species: a national fish mercury dataset for Canada // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013. Vol. 70, no. 3. P. 436–451. doi: 10.1139/cjfas-2012-0338

Directive 2009/90/EC of the European Parliament and of the Council of 31 July 2009 on Technical Specifications for Chemical Analysis and Monitoring of Water Status // *Official Journal of the European Union*. 2009. Vol. 201. 36 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2009:201:TOC> (accessed: 24.05.2024).

Lavoie R.A., Jardine T.D., Chumchal M.M., Kidd K.A., Campbell L.M. Biomagnification of Mercury in Aquatic Food Webs: A Worldwide Meta-Analysis // *Environ. Sci. Technol.* 2013. Vol. 47, no.23. P. 13385–13394. doi: 10.1021/es403103t

MacDonald D., Ingersoll C., Berger T. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000. Vol. 39. P. 20–31. doi: 10.1007/s002440010075

Moiseenko T.I., Gashkina N.A. Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: influence of the aquatic environment and climate // *Environ. Res. Lett.* 2020. Vol. 15 P. 115013. doi: 10.1088/1748-9326/abbf7c

Moore J.W., Ramamurthy S. Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. Springer Science & Business Media. 2012. 268 p.

Moreira L.B., Choueri R.B., de Souza Abessa D.M. A consensus-based approach for the development of Site-specific Sediment Quality Values in an SW Atlantic region (São Paulo State, Brazil) // *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022. Vol. 7. P. 100142. doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100142

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry*. 2003. Vol. 3. P. 1–64. Oxford: Elsevier. doi: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4

Suess E., Berg M., Bouchet S., Cayo L., Hug S.J., Kaegi R., Voegelin A., Winkel L.H.E., Tessier E., Amouroux D., Buser A.M. Mercury Loads and Fluxes from Wastewater: A Nationwide Survey in Switzerland // *Water research*. 2020. Vol. 175. P. 115708. doi: 10.1016/j.watres.2020.115708

Udodenko Y.G., Komov V.T., Zakonnov V.V. Long-term dynamics of total mercury in surficial bottom sediments of the Volga River's reservoir in central Russia // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. Vol. 190, no. 4. P. 198. doi: 10.1007/s10661-018-6575-9

US EPA Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry // U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, Engineering and Analysis Division. Washington, 2002. 46 p. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P1008IW8.txt> (accessed: 15.05.2024).

References

Agakhanyants P.F., Agranova Yu.S. Ocenka sostoyaniya donnyh otlozhenij v celyah prinyatiya resheniya o prirodohrannom dnouglublenii v Rossijskoj Federacii [Assessment of the state of bottom sediments in order to make a decision on environmental dredging in the Russian Federation] // *Health is the basis of human potential: problems and ways to solve them*. 2018. Vol. 13, no. 2. P. 744–753. (in Russian).

Analiticheskij otchyot o rezul'tatah ocenki dinamiki i osnovnyh tendencij izmeneniya sodержaniya himicheskikh veshchestv i izmenchivosti sostoyaniya vodnyh ob'ektov bassejna r. Irtysh s cel'yu vyyavleniya harakternyh vidov ih zagryazneniya (registracionnyj nomer rezul'tata NIR–68509761-22-14-NIR/02-1) po teme: «Nauchnye issledovaniya po izucheniyu dinamiki sodержaniya himicheskikh veshchestv i izmenchivosti sostoyaniya vodnyh ekosistem v bassejne transgranichnoj reki Irtysh (Ertis) s cel'yu razrabotki nauchno-obosnovannyh rekomendacij po ocenke kachestva vody i sostoyaniya vodnyh ob'ektov po gidrohimicheskim pokazatelyam dlya transgranichnyh uchastkov rek bassejna reki Irtysh (Ertis)» shifr 22-14-NIR/02 (promezhutochnyj, etap 1) [Analytical report on the results of assessing the dynamics and main trends in changes in the content of chemicals and the variability of the state of water bodies in the basin of the river. Irtysh in order to identify the characteristic types of their pollution (registration number of the result of research - 68509761-22-14-NIR / 02-1) on the topic: “Scientific research on the study of the dynamics of the content of chemicals and the variability of the state of aquatic ecosystems in the basin of the transboundary river Irtysh (Ertis) in order to develop scientifically based recommendations for assessing the quality of water and the state of water bodies by hydrochemical indicators for transboundary sections of the rivers of the Irtysh (Ertis) river basin” code 22-14-NIR / 02 (intermediate, stage 1)]. Book 1. Center for Engineering Technologies LLC. Barnaul, 2022 a. 463 p. (in Russian).

Analiticheskij otchyot o rezul'tatah ocenki dinamiki i osnovnyh tendencij izmeneniya sodержaniya himicheskikh veshchestv i izmenchivosti sostoyaniya vodnyh ob'ektov bassejna r. Irtysh s cel'yu vyyavleniya harakternyh vidov ih zagryazneniya po teme: «Nauchnye issledovaniya po izucheniyu dinamiki sodержaniya himicheskikh veshchestv i izmenchivosti sostoy-

aniya vodnyh ekosistem v bassejne transgranichnoj reki Irtysh (Ertis) s cel'yu razrabotki nauchno-obosnovannyh rekomendacij po ocenke kachestva vody i sostoyaniya vodnyh ob"ektov po gidrohimicheskim pokazatelyam dlya transgranichnyh uchastkov rek bassejna reki Irtysh (Ertis)» shifr 22-14-NIR/02 (promezhutochnyj, etap 1) [Analytical report on the results of assessing the dynamics and main trends in changes in the content of chemicals and the variability of the state of water bodies in the basin of the river. Irtysh in order to identify the characteristic types of their pollution (registration number of the result of research - 68509761-22-14-NIR / 02-1) on the topic: "Scientific research on the study of the dynamics of the content of chemicals and the variability of the state of aquatic ecosystems in the basin of the transboundary river Irtysh (Ertis) in order to develop scientifically based recommendations for assessing the quality of water and the state of water bodies by hydrochemical indicators for transboundary sections of the rivers of the Irtysh (Ertis) river basin" code 22-14-NIR / 02 (intermediate, stage 1)]. Book 3. Center for Engineering Technologies LLC. Barnaul, 2022 b. P. 797–1111. (in Russian).

V Irtysh v Omskoj oblasti snova popala rtut' [Mercury again entered the Irtysh River in the Omsk Region]. URL: <https://omskinform.ru/news/197252> (accessed: 11.09. 2024) (in Russian).

GOST 17.1.2.04–77. Ohrana prirody. Gidrosfera. Pokazateli sostoyaniya i pravila taksacii rybohozyajstvennyh vodnyh ob"ektov [Nature protection. Hydrosphere. Indices of state and regulations for valuation survey for fishery waters]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026772> (in Russian).

GOST 31950–2012. Mezhhgosudarstvennyj standart. VODA Metody opredeleniya sodержaniya obshchej rtuti besplamennoj atomno-absorbcionnoj spektrometrije [Interstate Standard. Water. Method for determination of total mercury by flameless atomic absorption spectrometry]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785992.pdf> (in Russian).

GOST R 59024-2020. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. VODA. Obshchie trebovaniya k otboru prob [National standard of the Russian Federation. Water. General requirements for sampling]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200175475> (in Russian).

Dauvalter V.A. Geoekologiya donnyh otlozhenij ozer [Geoecology of lake bottom sediments]. Murmansk: MSTU Publishing House, 2012. 242 p. (in Russian).

Efimov V.A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' himicheskogo sostava nanosov rek rossijskoj Arktiki [Spatiotemporal variability of the chemical composition of sediments in rivers of the Russian Arctic]. PhD (PhD of Geogr.) thesis. Moscow, 2023. 131 p. (in Russian).

Irtysh – glavnaya vodnaya arteriya Omskoj oblasti [Irtysh River is the main water artery of the Omsk region]. Federal Agency for Subsoil Use. Omsk branch of the Federal Budgetary Institution "Territorial Fund of Geological Information for the Siberian Federal District" 2023 (updated August 09, 2018). URL: https://omsktfti.ru/?option=com_content&view=article&id=52:2011-04-19-02-41-51&catid=102:waterobject&Itemid=351 (accessed: 29.05.2024) (in Russian).

Komov V.T., Stepanova I.K., Gremyachikh V.A. Soderzhanie rtuti v myshchah ryb iz vodoyomov Severo-Zapada Rossii: prichiny intensivnogo nakopleniya i ocenka negativnogo effekta

na sostoyanie zdorov'ya lyudej [The content of mercury in fish muscles from the reservoirs of the North-West of Russia: the causes of intensive accumulation and the assessment of the negative effect on the health of people] // Actual problems of water toxicology. Borok: IBIW RAS, 2004. P. 99–123. (in Russian).

Kramer D.A., Tikhonova I.O. Antropogennoe zagryaznenie donnyh otlozhenij malyh rek [Analyses of anthropogenic contamination of small rivers bottom sediments in Moscow] // Bashkir chemistry journal. 2012. Vol. 19, no. 4. P. 29–34. (in Russian).

M 01-43-2006 (2011 edition) Metodika opredeleniya massovoj koncentracii obshchej rtuti v probah prirodnyh, pit'evyh i stochnyh vod (MGA-915/1000 s pristavkoj RGP-915) [Determination of total mercury mass concentration in samples of natural, drinking and waste waters (MGA-915/1000 with RGP-915 Prefix)]. URL: https://www.lumex.ru/metodics/21A-RU07.05.01-1_Hg.pdf (in Russian).

M-MVI-80-2008. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj doli elementov v probah pochvy, gruntov i donnyh otlozheniyah metodami atomno-emissionnoj i atomno-absorbicijonnoj spektrometrii [Method for measuring the mass concentrations of elements in samples of soil, ground and bottom sediment by atomic emission and atomic absorption spectrometry]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293824/4293824289.pdf> (in Russian).

Nikanorov A.M., Stradomskaya A.G. Hronicheskoe zagryaznenie presnovodnyh ob'ektov po dannym o nakoplenii pesticidov, nefteproduktov i drugih toksichnyh veshchestv v donnyh otlozheniyah [Chronic pollution of freshwater bodies: data on accumulation of pesticides, oil products, and other toxic substances in bottom deposits] // Water Resources. 2007. Vol. 34, no. 3. P. 337–344. (in Russian).

Normy i kriterii ocenki zagryaznennosti donnyh otlozhenij v vodnyh ob'ektah Sankt-Peterburga. Regional'nyj normativ [Norms and criteria for assessing the contamination of bottom sediments in water bodies of St. Petersburg. Regional standard]. 1996. St. Petersburg: Lenmorniiiproekt. 10 s. (in Russian).

NSAM No. 481-X (FR.1.31.2017.28126) (2017 edition) Opredelenie obshchej rtuti v prirodnyh i pit'evyh vodah metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoj plazmoj [Total mercury determination in natural and drinking waters by inductively coupled plasma mass spectrometry]. URL: https://vims-geo.ru/media/documents/reestr_metodik_06_2019.pdf (in Russian).

Omskij Irtysh prevratilsya v rtutnuyu reku [The Omsk Irtysh turned into a mercury river]. URL: https://superomsk.ru/news/141975-omskiy_irtsh_prevratilsya_v_rtutnuyu_reku (accessed: 2.09.2024) (in Russian).

Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Razrabotat' nauchno-obosnovannye rekomendacii po ocenke kachestva vody i sostoyaniya vodnyh ob'ektov po gidrohimicheskim pokazatelyam dlya transgranichnyh uchastkov rek bassejna r. Irtysh» (registracionnyj nomer rezul'tata

NIR – 68509761-22-14-NIR/02-2) po teme: «Nauchnye issledovaniya po izucheniyu dinamiki sodержaniya himicheskikh veshchestv i izmenchivosti sostoyaniya vodnyh ekosistem v bassej-ne transgranichnoj reki Irtysh (Ertis) s cel’yu razrabotki nauchno-obosnovannyh rekomendacij po ocenke kachestva vody i sostoyaniya vodnyh ob’ektov po gidrohimicheskim pokazatelyam dlya transgranichnyh uchastkov rek bassejna reki Irtysh (Ertis)» shifr 22-14-NIR/02 (promе-zhutochnyj, etap 2) [Report on the research work “Develop scientifically based recommendations for assessing water quality and the state of water bodies based on hydrochemical indicators for transboundary sections of the rivers of the Irtysh River basin” (registration number of the research result – 68509761-22-14-NIR / 02-2) on the topic: “Scientific research to study the dynamics of the content of chemicals and variability of the state of aquatic ecosystems in the transboundary Irtysh (Ertis) River basin in order to develop scientifically based recommendations for assessing water quality and the state of water bodies based on hydrochemical indicators for transboundary sections of the rivers of the Irtysh (Ertis) River basin” code 22-14-NIR / 02 (intermediate, stage 2)]. Center for Engineering Technologies LLC. Barnaul, 2023. 280 p. (in Russian).

PND F 14.1:2:4.20-95 (2011 edition) Metodika izmerenij massovoj koncentracii ionov rtuti v pit’evykh, poverhnostnykh i stochnykh vodah metodom besplamennoj atomno-absorbcionnoj spektrometrii [Method for measuring the mass concentration of mercury ions in drinking, surface and waste waters by flameless atomic absorption spectrometry]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293805/4293805001.pdf> (in Russian).

PND F 14.1:2:4.136-98 (Date of update: 01.01.2021). Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii rtuti metodom besplamennoj atomno-absorbcionnoj spektrofotomerii (Metod «holodnogo para») v pit’evoj, prirodnoj i stochnoj vodah i atmosfernih osadkah [Quantitative chemical analysis of water. Method for measuring the mass concentration of mercury by flameless atomic absorption spectrophotometry (cold vapor method) in drinking, natural and waste water and precipitation]. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293837/4293837385.htm> (in Russian).

PND F 14.1:2:4.260-2010 (2021 edition) Metodika izmerenij massovoj koncentracii rtuti v probah pit’evykh, prirodnykh i stochnykh vod metodom besplamennoj atomno-absorbcionnoj spektrometrii [Method for measuring the mass concentration of mercury in samples of drinking, natural and waste water by flameless atomic absorption spectrometry]. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293815/4293815646.htm> (in Russian).

PND F 14.1:2:4.271-2012 (M 01-51-2012; M 01-55-2016) Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika izmerenij massovoj koncentracii rtuti v probah prirodnykh, pit’evykh, mineral’nykh, stochnykh vod atomno-absorbcionnym metodom s zeemanovskoj korrеkciej neselektivnogo pogloshcheniya na analizatore rtuti RA-915M [Quantitative chemical analysis of water. Method for measuring the mass concentration of mercury in samples of natural, drinking, mineral, and waste water by the atomic absorption method with Zeeman correction of non-selective

absorption on the mercury analyzer RA-915M]. URL: https://www.lumex.ru/metodics/22A-RU08.03.09-1_water.pdf (in Russian).

Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii Rossii ot 24 fevralya 2014 g. № 112 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po osushchestvleniyu gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov v chasti organizatsii i provedeniya nablyudenij za soderzhaniiem zagryaznyayushchih veshchestv v donnykh otlozheniyakh vodnykh ob'ektov» [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of Russia dated February 24, 2014 No. 112 “On approval of the Guidelines for the implementation of state monitoring of water bodies in terms of organizing and conducting observations of the content of pollutants in bottom sediments of water bodies”]. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/10681> (accessed: 20.07.2024) (in Russian).

Prikaz Ministerstva sel'skogo hozyajstva RF ot 13 dekabrya 2016 g. № 552 “Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh koncentracij vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya” [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated December 13, 2016 No. 552 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance” (as amended as of March 10, 2020)]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201701160006> (accessed: 20.07.2024) (in Russian).

Programmy proverok kvalifikatsii (MSI) [Qualification Testing Programs (MTP) 2024. LLC “CMCT COMPETENCE”]. URL: <https://xn--elaan-ihabaabfh5ajcd4o.xn--p1ai/programmy-msi/2024> (accessed: 10.10.2024) (in Russian).

RD 52.24.609–2013. Organizatsiya i provedenie rezhimnykh nablyudenij za sostoyaniem i zagryazneniem poverhnostnykh vod sushi [Organization and conduct of observations of the pollutants content in bottom sediments of water bodies]. Rostov-on-Don: Roshydromet. 39 p. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293773/4293773618.pdf> (in Russian).

RD 52.24.309-2016. [Organization and conduct of regime monitoring of the state and pollution of surface land waters]. Rostov-on-Don: Roshydromet. 100 p. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293748/4293748080.pdf> (in Russian).

Rtutnye berega: kak opasnyj metall popal v Irtysh [Mercury shores: how dangerous metal got into the Irtysh]. Date of publication: February 22, 2021. URL: <https://iz.ru/1127693/sergei-gurianov/rtutnye-berega-kak-opasnyi-metall-popal-v-irtysh> (accessed: 26.09.2022) (in Russian).

SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti produktov ot 06.11.2001 k postanovleniyu Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 14 noyabrya 2001 № 36 «O vvedenii v dejstvie sanitarnykh pravil» [Sanitary requirements

to safety and nutritive value of food products. Approved: Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation, 11/6/2001]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901806306> (in Russian).

SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya (s izmeneniyami na 30 dekabrya 2022 goda) [Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness to humans from environmental factors]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (in Russian).

Tatsiy Yu.G., Baranov D.Yu. Osobennosti nakopleniya rtuti v donnyh otlozheniyah dvuh arkticheskikh ozer Zapadnoj Sibiri [Features of mercury accumulation in the bottom sediments of two Arctic lakes in West Siberia] // *Geokhimiya*. 2022. Vol. 67, no. 2. P. 182–190. doi: 10.31857/S0016752522020091 (in Russian).

FGBU «Ob'-Irtyskoe UGMS» Poverkhnostnye vody. Sluchai vysokogo i ekstremal'no vysokogo zagryazneniya poverkhnostnykh vod. Omskaya oblast' [FGBU "Ob-Irtysk UGMS" Surface waters. Cases of high and extremely high pollution of surface waters. Omsk region]. URL: <http://omsk-meteo.ru/index.php/ru/home/monitoring-zagryazneniya-okruzhayushchej-sredy/omskaya-oblast1/poverkhnostnye-vody/sluchai-vysokogo-zagryazneniya-ekstremalno-vysokogo-zagryazneniya> (accessed: 03.09.2024) (in Russian).

Fedorov Y.A., Ovsepyan A.E., Savitsky V.A., Lisitzin A.P., Shevchenko V.P., Novigatsky A.N. Rtut' v donnyh osadkah Belogo morya: raspredelenie, istochniki i hronologiya zahoroneniya [Mercury in White Sea bottom sediments: distribution, sources, and deposition chronology] // *Oceanology*. 2019. Vol. 59, no. 1. P. 153–162. doi: 10.31857/S0030-1574591153-162 (in Russian).

Eyrikh S.S. Osobennosti raspredeleniya i migracii rtuti v vodnyh ekosistemah bassejnov rek Katuni i Tomi [Features of the distribution and migration of mercury in aquatic ecosystems of the Katun and Tom river basins]. PhD (PhD of Chem.) thesis. Barnaul. 1999. 168 p. (in Russian).

Eyrikh S.S., Kolotushkina L.V., Serykh T.G. Soderzhanie tyazhelykh metallov v myshechnoj tkani mirnykh i hishchnykh ryb reki Irtys [Content of heavy metals in muscle tissue of predatory and non-predatory fishes of the Irtys River] // *Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society*. 2024. Vol. 73, no. 2. P. 77–94. doi: 10.24412/2410-1192-2024-17306 (in Russian).

Eyrikh S.S., Schwikowski M. Opyt ispol'zovaniya atomno-fluorescentnogo analizatora "Mercur" dlya opredeleniya ul'tranizkikh koncentracij rtuti v probah l'da i snega [Experience of using the atomic fluorescence analyzer "Mercur" for determination of ultra-low mercury concentrations in ice and snow samples] // *Mercury. Problems of geochemistry, ecology, and analytics: collection of scientific papers*. Moscow: IMGRE, 2005. P. 111–114. (in Russian).

Yanin E.P. Tekhnogennyye rechnye ily (usloviya formirovaniya, veshchestvennyj sostav, geokhimicheskie osobennosti) [Technogenic geochemical associations in bottom sediments of

small rivers (composition, features, and assessment methods)]. Moscow: IMGRE, 2002. 52 p. (in Russian).

Yanin E.P. Tekhnogennyye geohimicheskie associacii v donnyh otlozheniyah malyh rek (sostav, osobennosti, metody ocenki) [Technogenic river silts (conditions of formation, composition, geochemical features)]. Moscow: NP "ARSO", 2018. 415 p. (in Russian).

AMAP/UN Environment. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway/UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch, Geneva, Switzerland. 2019. 426 p. URL: <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/report/technical-background-report-global-mercury-assessment-2018> (accessed: 06.08.2024).

Buchman M.F. NOAA screening quick reference tables. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2008. 34 p. URL: https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327/noaa_9327_DS1.pdf (accessed: 25.06.2024).

Burton Jr. G. A. 2002. Sediment quality criteria in use around the world // *Limnology*. Vol. 3. P. 65–76. doi:10.1007/s102010200008

Depew D.C., Burgess N.M., Anderson M.R., Baker R., Bhavsar S.P., Bodaly R.A., Eckley C.S., Evans M.S., Gantner N., Graydon J.A., Jacobs K., LeBlanc J.E., St. Louis V.L., Campbell L.M. An overview of mercury concentrations in freshwater fish species: a national fish mercury dataset for Canada // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013. Vol. 70, no. 3. P. 436–451. doi: 10.1139/cjfas-2012-0338

Directive 2009/90/EC of the European Parliament and of the Council of 31 July 2009 on Technical Specifications for Chemical Analysis and Monitoring of Water Status // *Official Journal of the European Union*. 2009. Vol. 201. 36 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2009:201:TOC> (accessed: 24.05.2024).

Lavoie R.A., Jardine T.D., Chumchal M.M., Kidd K.A., Campbell L.M. Biomagnification of Mercury in Aquatic Food Webs: A Worldwide Meta-Analysis // *Environ. Sci. Technol.* 2013. Vol. 47, no.23. P. 13385–13394. doi: 10.1021/es403103t

MacDonald D., Ingersoll C., Berger T. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000. Vol. 39. P. 20–31. doi: 10.1007/s002440010075

Moiseenko T.I., Gashkina N.A. Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: influence of the aquatic environment and climate // *Environ. Res. Lett.* 2020. Vol. 15 P. 115013. doi: 10.1088/1748-9326/abbf7c

Moore J.W., Ramamurthy S. Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. Springer Science & Business Media. 2012. 268 p.

Moreira L.B., Choueri R.B., de Souza Abessa D.M. A consensus-based approach for the development of Site-specific Sediment Quality Values in an SW Atlantic region (São Paulo State, Brazil) // *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022. Vol. 7. P. 100142. doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100142

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. 2003. Vol. 3. P. 1–64. Oxford: Elsevier. doi: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4

Suess E., Berg M., Bouchet S., Cayo L., Hug S.J., Kaegi R., Voegelin A., Winkel L.H.E., Tessier E., Amouroux D., Buser A.M. Mercury Loads and Fluxes from Wastewater: A Nationwide Survey in Switzerland // Water research. 2020. Vol. 175. P. 115708. doi: 10.1016/j.watres.2020.115708

Udodenko Y.G., Komov V.T., Zakonnov V.V. Long-term dynamics of total mercury in surficial bottom sediments of the Volga River's reservoir in central Russia // Environmental Monitoring and Assessment. 2018. Vol. 190, no. 4. P. 198. doi: 10.1007/s10661-018-6575-9

US EPA Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry // U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, Engineering and Analysis Division. Washington, 2002. 46 p. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1008IW8.txt> (accessed: 15.05.2024).

MERCURY IN WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE IRTYSH RIVER: PROBLEMS AND RELIABILITY OF ITS DETERMINATION AND POLLUTION ASSESSMENTS

S.S. Eyrikh

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: steyrikh@gmail.com

Assessment of mercury pollution of the environment is an important task because of its high toxicity, mobility and ability to transform between ecosystem components. The Minamata Convention on Mercury, aimed at reducing the negative impacts of mercury on human health and the environment, emphasizes the need for geographically representative monitoring of mercury and mercury compounds in environmental components. This paper presents a critical analysis of the abilities of existing methods for determining mercury in water, as well as approaches in assessing bottom sediment contamination. The currently used methods certified in the Russian Federation do not allow determining real Hg concentrations in the unpolluted freshwater ecosystem; therefore, assessments of the environmental pollution based on the obtained data may be questionable. To obtain reliable results on the mercury level, it is necessary to take into account all procedure of sample preparation, strictly monitoring losses and pollution, and use sensitive analytical methods. The choice of a method for assessing of bottom sediment contamination requires an analysis of existing conditions and reliable field data. Modern data on the total Hg concentrations in water and bottom sediments of the Irtysh River obtained using modern highly sensitive methods of analysis are presented here. These results formed the basis for assessing the current water quality and the state of aquatic ecosystems of transboundary sections of the Irtysh River basin.

Key words: mercury; freshwater; bottom sediments; reliability of determination; pollution assessment; Irtysh River.

Received August 10, 2024. Accepted: September 16, 2024

Сведения об авторе

Эйрих Стелла Сергеевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-9346-2068. E-mail: steyrikh@gmail.com.

Information about author

Eyrikh Stella Sergeevna – PhD in Chemistry, senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-9346-2068. E-mail: steyrikh@gmail.com.