

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.4.054

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ИНЯ НА ТЕРРИТОРИИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2025 г. Е. Л. Счастливцев^{1,2,*}, Н. И. Юкина^{1,**}, А. А. Быков¹

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
ул. Рукавишников 21, Кемерово, 650991 Россия

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, Молодёжная ул. 1, Барнаул, 656038 Россия

*E-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru

**E-mail: leonakler@mail.ru

Поступила в редакцию 02.09.2024 г.

После доработки 31.10.2024 г.

Принята к публикации 25.11.2024 г.

В статье представлен комплексный анализ состояния бассейна и качества воды р. Иня в Кемеровской области за периоды 1998–2003 гг. и 2017–2022 гг. Исследование включает сравнительный анализ изменения качества воды, в котором рассматриваются концентрации загрязняющих веществ и влияние различных антропогенных факторов на химический состав речных вод. Особое внимание уделено выявлению источников загрязнения, таких как промышленные сбросы, сельскохозяйственные и бытовые стоки, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с последующим выпадением на поверхность водного бассейна. В статье проведен анализ изменения химического состава воды и выявлены корреляционные связи между показателями качества воды и различными характеристиками, включая площадь нарушенных земель. Результаты исследования показывают заметное улучшение качества воды в последние годы, что связано с комплексными мерами по очистке водоемов и снижению антропогенной нагрузки. Однако остаются нерешенные проблемы, требующие дальнейшего совершенствования систем очистки, усиления контроля за соблюдением экологических норм и внедрения современных цифровых технологий для мониторинга загрязнений.

Ключевые слова: водный объект, антропогенная нагрузка, нарушенные земли, загрязнение воды, выпадение аэрозолей, экологический мониторинг

DOI: 10.31857/S0869780925010045 EDN: DNSLHA

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение водных ресурсов — одна из наиболее острых экологических проблем по всему миру [1, 4–7, 10, 11]. В условиях усиливающегося воздействия человека на природные экосистемы состояние водных объектов значительно изменяется. В одном из промышленных центров России — Кемеровской области, река Иня представляет собой ключевой водный объект, являющийся источником воды для различных сфер хозяйственной деятельности, включая промышленность, сельское хозяйство и бытовые нужды.

Цель данной работы — анализ изменения качества воды р. Иня на протяжении последних десятилетий, выявление основных источников

загрязнения и оценка влияния на качество воды выпадения промышленных аэрозолей из атмосферы на поверхность бассейна реки.

Для достижения поставленной цели в исследовании решались следующие задачи.

1. Оценка динамики изменений качества воды в р. Иня на основе анализа данных о ее химическом составе.
2. Выявление источников загрязнения воды в р. Иня, включая промышленные сбросы, сельскохозяйственные и бытовые стоки, выпадение атмосферных примесей на территорию бассейна.
3. Исследование корреляционных связей между показателями качества воды в р. Иня и таким

показателем, как площадь нарушенных земель в бассейне.

4. Проведение расчетной оценки выпадения промышленных аэрозолей на территорию бассейна.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Иня — вторая по значимости (после р. Томь) река Кемеровской области, находится под значительным воздействием антропогенных факторов. При проектировании и реализации эффективных мероприятий по охране водных ресурсов требуется всестороннее изучение текущего состояния реки и основных факторов негативного воздействия, что представляет собой актуальную задачу для разработки стратегий по улучшению качества воды и восстановлению экосистем в бассейне реки.

Река Иня берет начало на южном склоне Тарандановского увала. Ее притоки: Уроп, Ближний Менчереп, Дальний Менчереп, Мереть, Бачат, Ур, Касьма, Тарсьма. Длина реки — 663 км, площадь водосборного бассейна — 17600 км² (площадь части бассейна, находящейся только на территории Кемеровской области — 13610.3 км²). Среднегодовой расход воды в 35 км от устья — 47.4 м³/с. В бассейне реки расположены 4 города: Полысаево, Ленинск-Кузнецкий, Тогучин, Новосибирск, 3 поселка городского типа: Инской, Грамотеино, Промышленная, много сельских населенных пунктов и дачных обществ. Река зарегулирована Беловским водохранилищем.

Река имеет давнюю историю использования человеком, начиная с освоения области, когда ее воды использовались для бытовых нужд и орошения земельных участков. В более поздние периоды, начиная с XIX в., река стала играть значительную роль в экономическом развитии региона. В этот период появляются крупные населенные пункты с зарождающимися предприятиями энергетики, строительства и т.д. В бассейне реки начинается освоение природных ресурсов, сопровождающееся значительным нарушением земель. Все это отразилось на изменении экосистемы реки и качестве воды.

В начале XX в. в связи с развитием угледобычи и металлургии в Кемеровской области началось активное строительство промышленных объектов, связанных с использованием воды р. Иня и сбросом в нее сточных вод. В этот период был построен ряд крупных промышленных предприятий, таких как угольные шахты и разрезы, металлургические заводы, Беловская ГРЭС. Эти предприятия стали основными источниками загрязнения вод реки. Основные источники загрязнения водных ресурсов.

1. Промышленные стоки. Увеличение объемов сбросов сточных вод от угольных шахт, металлургических заводов и других промышленных предприятий приводит к значительному загрязнению воды такими веществами, как нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы (медь, цинк) и органические вещества.

2. Сельскохозяйственные стоки. Смыв вместе с осадками с сельскохозяйственных угодий отходов животноводства, удобрений и пестицидов.

3. Бытовые сточные воды. Сброс бытовых стоков в реку, а также смыв с осадками и паводком с территорий сельских поселений.

4. Выпадение атмосферных примесей на территорию водного бассейна реки с последующим смывом части этих примесей в реку. Тут доминируют такие загрязняющие вещества, как пылевые частицы, нитраты и сульфаты.

Заметим, что в работе исследуются основные источники антропогенного воздействия и результаты мониторинга химического состава воды р. Иня только в пределах Кемеровской области. Поэтому в дальнейшем рассматривается только та часть бассейна, которая пересекается с территорией Кемеровской области. Поскольку Новосибирская область находится ниже по течению, влиянием расположенных там источников негативного воздействия можно пренебречь.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ состояния водных ресурсов р. Иня и оценка уровня загрязнения воды проведены на основе информационной базы, накопленной за период с 1998 по 2022 г., включающей данные мониторинга качества воды (показатели химического состава воды в реке за различные годы — содержание азота аммонийного, азота нитритного, БПК₅, взвешенного вещества, железа, нефтепродуктов, ХПК, фенолов, меди, цинка). Информация получена с двух контрольных створов (в дальнейшем створ 1 и створ 2), первый из которых расположен в 15 км выше, а второй — в 15 км ниже г. Ленинск-Кузнецкий. Площади нарушенных земель в пределах бассейна установлены по данным дистанционного (космического) зондирования.

Качество воды в р. Иня определялось в соответствии с методом оценки по ассоциативным показателям (АП) [9].

Для оценки качества воды, имеющей многокомпонентный химический состав примесей, по формулам вычисляются безразмерные показатели, которые затем определяют качество воды в соответствии с табл. 1:

$$\text{НП}_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

$$АП_N = \sum_{i=1}^N НП_i / N,$$

где $НП_i$ — нормализованный показатель, C_i — средняя за год концентрация, мг/л; $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация, мг/л для i -го ингредиента; $АП_N$ — ассоциативные показатели состава вод, N — число ингредиентов.

Зависимости между характеристиками качества воды и таким показателем антропогенной нагрузки на территорию бассейна, как площадь нарушенных земель, получены на основе корреляционного анализа.

Расчетная оценка вклада суммарного годового выпадения аэрозолей из атмосферы в загрязнение бассейна р. Иня выполнена с применением долгосрочной (сезон, год) модели расчета выпадения на подстилающую поверхность [3]. Модель использует при расчете технические параметры (высота, температура, скорость выхода и т.д.), средние за год выбросы источников, а также розу ветров за расчетный период (для каждого города свою). Модель встроена в состав программного комплекса “ЭРА-ВОЗДУХ” (www.lpp.ru), широко используемого для проектных работ в Сибирском регионе, что позволяет использовать накопленные данные для научных исследований.

Информация об источниках выбросов в атмосферу для расчета выпадения аэрозолей получена из сводных томов ПДВ (предельно допустимых выбросов) городов Кемеровской области, разработанных ООО “Кузбасский Экологический Центр” в 2004–2011 гг. [2]. Более новые данные авторам недоступны. Отметим, что основные источники загрязнения, связанные с крупной энергетикой, угледобычей, отопительными котельными и источниками автономного теплоснабжения не претерпели с тех пор существенного изменения и остаются репрезентативными.

Таблица 1. Классы качества вод [9]

Класс качества	Название класса	Диапазоны $НП_i$ и $АП_N$
I	Очень чистая	<0.3
II	Чистая	$0.3 \div 1$
III	Умеренно загрязненная	$1 \div 2.5$
IV	Загрязненная	$2.5 \div 4$
V	Грязная	$4 \div 6$
VI	Очень грязная	$6 \div 10$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительная оценка качества воды р. Иня за периоды 1998–2003 гг. и 2017–2022 гг. показала, что за последние 10 лет качество воды в реке заметно улучшилось (рис. 1). За период 1998–2003 гг. показатель АП составлял 4.7, что соответствовало V классу качества “грязная”, а за период 2017–2022 гг. — 1.4, что соответствовало III классу качества “умеренно загрязненная”. Кроме того, концентрации меди, нефтепродуктов и фенолов существенно уменьшились (более чем в 5 раз).

Результаты, представленные в табл. 2 (1998–2003 гг.), были получены на основании данных гидропостов, расположенных на р. Иня. Анализ данных, представленных в табл. 2–4, показал снижение уровня загрязненности вод р. Иня с течением времени, что связано с улучшением природоохранных мер и снижением антропогенных нагрузок.

За период 2017–2022 гг. ХПК уменьшилось примерно в 2 раза; содержания БПК₅, аммонийного азота, нитритного азота, нефтепродуктов, железа, марганца и взвешенного вещества остались примерно на одном и том же уровне; в 2018–2019 гг. заметно уменьшилось содержание меди (в 6 раз). Что касается цинка, то с 1932 г. в г. Белово (выше створа 1) работал Беловский цинковый завод. Сравнение расчетного выпадения солей цинка с данными снегового анализа проведено в [3]. В начале 2000-х годов производство цинка было свернуто, однако рекультивация территории не проведена до сих пор, и отвалы остаются источниками загрязнения. Тот факт, что в последние три года содержание цинка в пробах

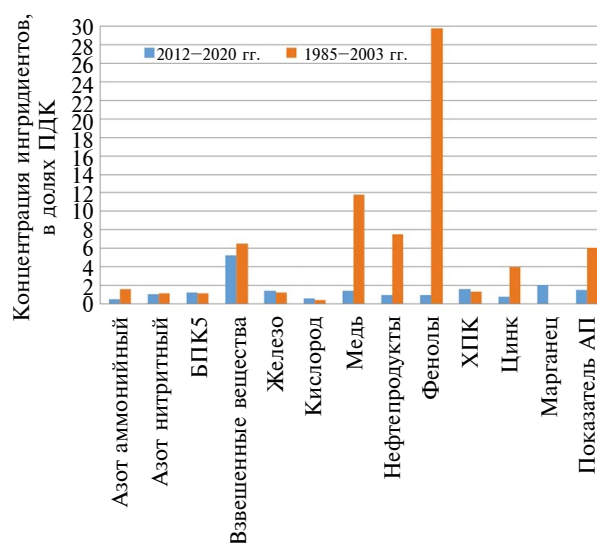


Рис. 1. Усредненные за периоды 1998–2003 гг. и 2017–2022 гг. среднегодовые показатели $НП_i$ и $АП_N$ качества воды в р. Иня.

Таблица 2. Нормализованные (в долях $\text{ПДК}_{\text{рыб-хоз}}$) годовые показатели НП_i качества воды в р. Инья за период 1998–2003 гг.

Ингредиент	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Азот аммонийный	2.7	2.0	1.3	1.2	1.2	1.3
Азот нитритный	1.2	1.0	1.4	0.8	0.8	1.3
БПК_5	1.2	1.0	1.4	1.0	1.0	1.0
Взвешенные вещества	6.8	7.1	9.1	4.8	4.8	6.2
Железо	0.7	1.2	1.9	1.1	1.1	1.3
Нефтепродукты	10.0	9.9	7.6	5.0	5.0	7.5
ХПК	1.3	1.4	1.6	1.3	1.3	1.2
Фенолы	4.8	8.1	4.7	8.0	8.0	146.9
Медь	3.2	5.7	3.0	20.6	20.6	8.1
Цинк	2.3	2.1	3.7	5.6	5.6	2.5
Кислород	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6

Таблица 3. Нормализованные (в долях $\text{ПДК}_{\text{рыб-хоз}}$) годовые показатели НП_i и АП_N качества воды в р. Инья за период 2017–2022 гг. (створ 1, в 15 км выше г. Ленинск-Кузнецкий)

Ингредиент	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Кислород	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
ХПК	1.6	1.9	1.2	0.9	0.8	0.9
БПК_5	1.2	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0
Азот аммонийный	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	1.2
Азот нитритный	0.9	1.1	0.9	1.0	1.0	2.0
Фенолы	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Нефтепродукты	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
Железо	1.8	1.4	1.1	1.4	2.1	1.2
Взвешенные вещества	4.8	4.9	3.3	5.2	5.6	4.9
Цинк	1.3	3.2	2.7	1.1	0.7	0.6
Медь	1.9	2.1	1.1	0.9	1.1	0.3
Марганец	0.8	1.2	2.7	1.7	0.7	0.8
Показатель АП_N	1.4	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2

створа 1 уменьшилось по сравнению с 2002 г. почти в 10 раз, говорит, вероятно, о самоочищении отвалов от солей цинка.

В табл. 5 представлены отношения значений одноименных показателей качества воды на створе 2 (см. табл. 4) к показателям на створе 1 (см. табл. 3), что позволяет легко заметить их рост или убывание.

Анализ данных о химическом составе воды для створов 1 и 2 (см. табл. 5) показывает определенные изменения в уровне загрязнения реки ниже г. Ленинск-Кузнецкий. Показатели НП_i (следовательно, и концентрации) взвешенных веществ в створе 2 стабильно превышают аналогичные в створе 1 (в 1.2–1.5 раза). То же самое и ХПК в створе 2 превышает значения створа 1 до 1.4 раза.

Таблица 4. Нормализованные (в долях ПДК_{рыб-хоз}) годовые показатели НП_г и АП_г качества воды в р. Иня за период 2017–2022 гг. (створ 2, 15 км ниже г. Ленинск-Кузнецкий)

Ингредиент	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Кислород	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
ХПК	1.8	2.4	1.2	1.3	0.9	1.1
БПК ₅	1.2	1.2	1.0	1.0	1.1	1.0
Азот аммонийный	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7
Азот нитритный	0.7	0.9	0.8	1.0	0.9	1.1
Фенолы	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0
Нефтепродукты	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.4
Железо	1.8	0.8	0.9	1.2	1.9	1.3
Взвешенные вещества	7.1	5.7	3.8	7.1	7.1	6.5
Цинк	0.7	0.8	0.5	0.6	0.6	0.3
Медь	1.7	1.7	0.7	0.9	1.0	0.6
Марганец	0.0	0.7	0.7	1.5	1.9	0.6
Показатель АП _г	1.5	1.5	1.1	1.4	1.5	1.3

Таблица 5. Сравнение химического состава воды в р. Иня за период 2017–2022 гг. в створах 1 и 2

Ингредиент	Створ 2/Створ1					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Кислород	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
ХПК	1.1	1.3	1.0	1.4	1.1	1.2
БПК ₅	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
Азот аммонийный	0.7	1.0	0.8	0.7	0.9	0.6
Азот нитритный	0.8	0.0	0.8	1.0	0.9	0.6
Нефтепродукты	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
Железо общее	1.0	0.6	0.8	0.9	0.9	1.1
Взвешенные вещества	1.5	1.2	1.2	1.4	1.3	1.3
Цинк	0.6	0.3	0.2	0.6	0.9	0.5
Медь	0.9	0.8	0.6	1.0	0.9	2.0
Марганец	0.0	0.6	0.3	0.9	2.5	0.7
Показатель АП _г	1.1	0.9	0.7	1.1	1.2	1.1

Возрастание ХПК свидетельствует о том, что при течении реки через город в нее попадают сточные вод с повышенным содержанием органических веществ. В 2021 г. концентрация марганца в створе 2 была выше в 2.5 раза, что указывает на техногенное загрязнение от металлургических или горнодобывающих предприятий. Повышенные концентрации нефтепродуктов наблюдаются в 2017 и 2022 гг. (1.3 и 1.2 раза соответственно). Возможно, это следствие утечек топлива или выбросов промышленных предприятий. Периодические колебания концентраций аммонийного и нитритного азота связаны с сельскохозяйственными стоками, которые периодически попадают в реку.

Таким образом, увеличение концентраций взвешенных веществ, ХПК, марганца и нефтепродуктов связано с нагрузкой на реку, вызванной промышленностью и жизнеобеспечением населения г. Ленинск-Кузнецкий и его районов.

Один из показателей техногенной нагрузки на р. Иня — площадь нарушенных земель в пределах ее бассейна. В Кемеровской обл. эти земли образовались вследствие добычи угля открытым и подземным способами, горнорудных разработок и деятельности предприятий по добыче строительных материалов.

В приведенных ниже табл. 6–8 все нарушенные земли подразделены на 4 категории и обозначены следующими аббревиатурами в зависимости от вида производств: НЗГР — горнорудные разработки; НЗУШ — угольные шахты; НЗУР — угольные разрезы; НЗСМ — промышленность.

В табл. 6 представлены изменения площадей нарушенных земель и участков рекультивации и самозаростания за период 2017–2022 гг.

В табл. 7 и 8 приведены коэффициенты корреляционных связей между показателями качества

воды и площадью расположенных в пределах бассейна земель, нарушенных различными производствами. В табл. 7 использованы показатели качества воды по данным замеров в створе 1, а в табл. 8 — в створе 2.

Положительные корреляции получены: между площадью нарушенных земель горнорудными разработками и БПК₅; между площадью нарушенных шахтами земель и ингредиентами: ХПК, цинк, медь; между площадью нарушенных разрезами земель и нефтепродуктами (см. табл. 7). Надежных корреляционных зависимостей между площадями нарушенных земель и показателями качества воды не получено.

Одной из причин загрязнения земной поверхности бассейнов рек является выпадение на подстилающую поверхность аэрозолей, поступающих в атмосферу от промышленных и бытовых источников выбросов [8]. Причем загрязнение может быть результатом воздействия источников, расположенных на значительном удалении от бассейна, особенно от высоких источников и промышленных взрывов.

Изолинии выпадения суммы всех пылевых частиц на поверхность бассейна р. Иня в пределах Кемеровской обл. показаны на рис. 2, на котором видны скопления источников городов Белово и Ленинск-Кузнецкий, ПГТ Промышленная и других более мелких поселений, которые попали в расчетный прямоугольник. Однако следует учитывать, что в расчетных оценках участвуют источники всех городов области (около 12 000 источников), по которым есть данные о выбросах, хотя из-за значительного удаления их вклад в суммарное выпадение аэрозолей весьма невелик.

Таблица 6. Изменения площадей нарушенных земель и участков самозаростания (км²) на территории бассейна р. Иня за период 2017–2022 гг.

Нарушенные земли	Год					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
НЗГР	7.00	6.68	6.69	6.66	6.66	6.66
НЗУШ	6.50	6.61	6.07	5.89	3.94	4.51
НЗУР	93.72	155.46	168.32	174.82	170.61	172.06
НЗСМ	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30	0.31
УРСЗ	19.26	18.13	18.22	19.17	34.34	34.27

Таблица 7. Матрица корреляции для створа 1 между площадью нарушенных земель и химическим составом воды в р. Иня, усредненным за период 2017–2022 гг.

Показатели	НЗГР	НЗУШ	НЗУР	НЗСМ	УРСЗ
ХПК	0.52	0.82	–0.64	–0.95	–0.68
БПК ₅	0.79*	0.25	–0.82	–0.71	–0.17
Азот аммонийный	0.097	–0.21	–0.065	0.19	0.41
Азот нитритный	–0.17	0.44	0.0017	–0.62	–0.34
Фенолы	–0.15	0.22	0.2	0.28	–0.34
Нефтепродукты	–0.76	–0.47	0.76	0.64	0.5
Цинк	–0.065	0.71	–0.036	–0.49	–0.71
Медь	0.53	0.68	–0.64	–0.93	–0.61
Марганец	–0.3	0.39	0.34	0.28	–0.57
Железо	0.37	–0.32	–0.39	–0.26	0.32
Взвешенные вещества	–0.029	–0.45	–0.0009	–0.055	0.49

* В таблицах 7 и 8 жирным шрифтом выделены значения положительной корреляции между показателями

Таблица 8. Матрица корреляции для створа 2 между площадью нарушенных земель и химическим составом воды в р. Иня, усредненным за период 2017–2022 гг.

Показатели	НЗГР	НЗУШ	НЗУР	НЗСМ	УРСЗ
ХПК	0.34	0.79	–0.47	–0.9	–0.65
БПК ₅	0.48	0.29	–0.59	–0.82	–0.2
Азот аммонийный	–0.01	0.0002	–0.09	–0.30	0.25
Азот нитритный	–0.63	–0.47	0.62	0.48	0.53
Фенолы	0.23	–0.13	–0.30	–0.28	0.29
Нефтепродукты	–0.19	–0.35	0.21	0.36	0.51
Цинк	0.29	0.57	–0.39	–0.78	–0.57
Медь	0.63	0.6	–0.74	–0.97	–0.47
Марганец	–0.68	–0.57	0.70	0.56	0.36
Железо	0.46	–0.51	–0.4	0.03	0.53
Взвешенные вещества	0.24	–0.34	–0.23	–0.08	0.39

Кроме расчетов по регулярной сетке ПК “ЭРА-ВОЗДУХ” позволяет рассчитать распределение и интегральное выпадения частиц по произвольному полигону, что используется для определения суммарного поступления примесей из атмосферы в бассейны рек. Результаты по бассейну р. Иня в пределах Кемеровской обл.

для пылевых частиц, сульфатов и нитратов представлены в табл. 9.

Вклад тех или иных производств в суммарное годовое выпадение пыли зависит от типов источников и условий рассеивания примесей. Например, согласно данным инвентаризации, Беловская

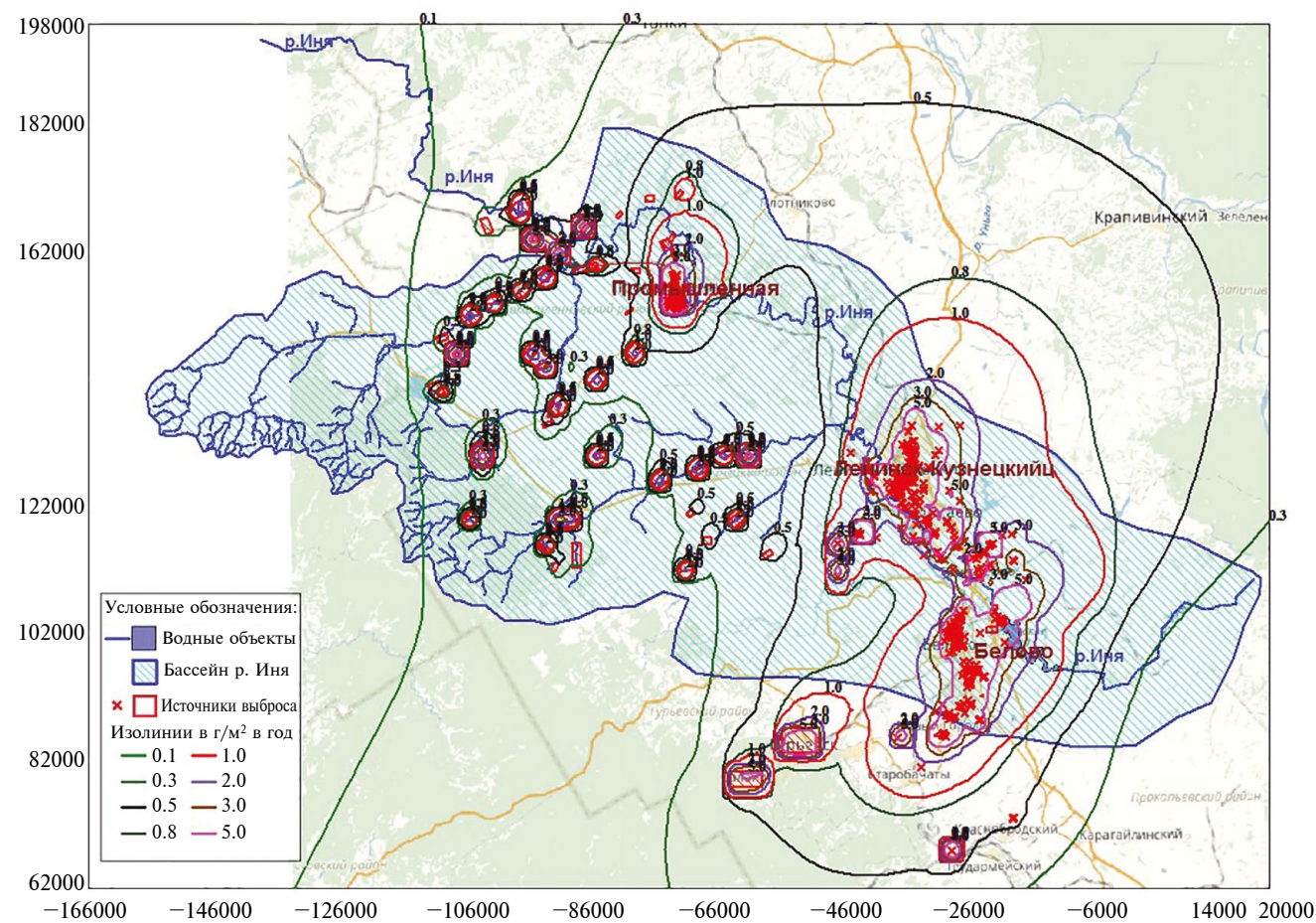


Рис. 2. Изолинии выпадения промышленной пыли, содержащейся в атмосферных выбросах всех городов области на площадь Кемеровского участка бассейна р. Иртыш.

Таблица 9. Расчетная оценка выпадения промышленной пыли, сульфатов и нитратов на поверхность Кемеровского участка бассейна р. Иртыш в сумме за год

Совокупность источников	Суммарное выпадение на территорию бассейна, т/год (% от совокупности источников)			
	Пыль	Сульфаты	Нитраты	Всего
Вся область	14974.1	2891.2	2176.1	20041.4
Добыча и обогащение угля	2654.7 (17.7%)	141.2 (4.9%)	402.0 (18.5%)	3296.1 (16.4%)
Беловская ГРЭС	366.7 (2.5%)	98.3 (3.4%)	60.5 (2.8%)	520.5 (2.6%)
Муниципальные котельные	1495.3 (9.9%)	72.2 (2.4%)	53.4 (2.5%)	1580.1 (7.9%)

ГРЭС выбрасывает за год около 18500 т угольной золы, а предприятия по добыче и обогащению угля городов Белово и Ленинск-Кузнецкий — 2400 т пылевых частиц угля и породы. Однако источниками Беловской ГРЭС выбрасывается после очистки только мелкодисперсная пыль, которая из труб высотой 150 м рассеивается по территории, далеко выходящей за пределы бассейна. Пыль же

при угледобыче выбрасывается низкими и неорганизованными источниками, плохо поддается очистке, содержит значительный процент крупнодисперсных частиц, поэтому ее значительная часть выпадает в пределах бассейна. Заметим, что вклады от добычи угля и муниципальных котельных в табл. 9 получены в режиме ручного выбора и объединения предприятий. Автоматическое же определение

вкладов различных отраслей промышленности требует доработки программного обеспечения, поскольку база источников изначально структурирована для определения вкладов только отдельных источников и предприятий.

Для сравнительных оценок годовое выпадение промышленной пыли, сульфатов и нитратов на поверхность бассейнов были проведены модельные оценки для нескольких рек региона с различной антропогенной нагрузкой. В связи с тем, что площади бассейнов различны, для сравнения представляется наиболее информативным удельное выпадение на единицу площади, которое можно считать показателем атмосферной нагрузки на бассейн. Наибольшее удельное выпадение 1.34 т/км^2 было зафиксировано как раз для Кемеровского участка бассейна р. Иня, что связано с концентрацией источников (см. рис. 2) в пределах и вблизи бассейна. Для бассейнов других рек суммарное удельное годовое выпадение составило от 0.37 до 1.3 т/км^2 (табл. 10, рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными территориальными единицами, где сосредоточены источники как прямого загрязнения р. Иня (промышленные сбросы, бытовые стоки, смыв с сельхозугодий), так и вторичного — за счет выпадения и частичного смыва атмосферных выбросов, являются города Белово и Ленинск-Кузнецкий и их районы. За исследуемый период, особенно с 2017 по 2022 гг., отмечается определенное улучшение качества воды р. Иня в пределах Кемеровской области. Если учесть, что население названных городов за последние 25 лет уменьшилось на 15–20%, а промышленное производство осталось практически на прежнем уровне, то причиной улучшения качества воды остаются уменьшение удельной антропогенной

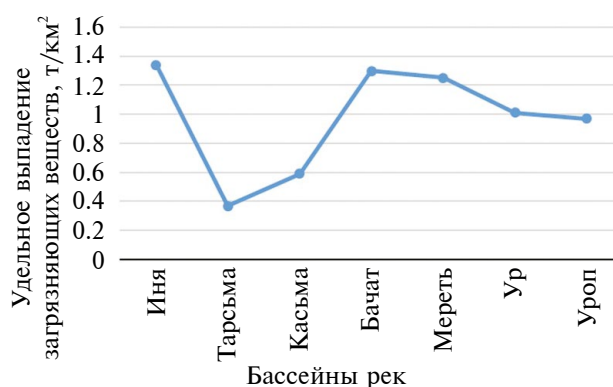


Рис. 3. Сравнительная оценка удельного выпадения загрязняющих веществ на поверхность бассейнов рек.

нагрузки со стороны предприятий, внедрение мер по очистке сбросов и стоков и усиление экологического контроля. Все это можно кратко охарактеризовать как повышение “экологичности” хозяйственной деятельности.

Основными источниками загрязнения воды остаются промышленные сбросы, сельскохозяйственные стоки и бытовые отходы. Особенно выраженное влияние оказывают промышленные предприятия, что подтверждается повышенными концентрациями специфических загрязняющих веществ в речной воде ниже по течению от районов их расположения.

Анализ показал значимые корреляционные связи между некоторыми показателями химического состава воды и площадью расположенных в пределах бассейна нарушенных различными производствами земель. Эти данные подчеркивают, что площадь нарушенных земель можно считать хорошим индикатором антропогенной нагрузки на территорию.

Таблица 10. Сравнительная таблица суммарного годового выпадения промышленной пыли, сульфатов и нитратов на поверхность бассейнов некоторых рек Кузбасса

Бассейны рек	Площадь бассейна, км²	Суммарное годовое выпадение на территорию бассейна, т/год				Удельное годовое выпадение, т/км²
		Пыль	Сульфаты	Нитраты	Всего	
Иня	13610.3	14974.1	2891.2	2176.1	20041.4	1.47
Тарсьма	1864	486	85	115	686	0.37
Касьма	1578	646	112	169	927	0.59
Бачат	727.3	768.2	97.1	80.9	946.2	1.3
Мереть	307.1	322.4	32.1	28.1	382.6	1.25
Уроп	386.7	282.7	50.5	43	376.2	0.97
Ур	1398.1	978.1	245.1	197.3	1420.5	1.01

Проведены модельные оценки годового выпадения из атмосферы промышленной пыли, сульфатов и нитратов на поверхность Кемеровского участка бассейна р. Иня. Удельное выпадение (на единицу площади бассейна, т/км²), можно считать показателем нагрузки на бассейн со стороны атмосферных выбросов. Сравнение удельных выпадений для семи рек области показывает, что наибольшее (1.47 т/км²) достигается как раз для Кемеровского участка бассейна р. Иня.

Несмотря на улучшение общей ситуации, сохраняются участки реки с высоким уровнем загрязнения вод, что требует проведения дальнейших исследований, в частности, расширения сети станций мониторинга, внедрение современных цифровых и геоинформационных технологий для отслеживания изменений в бассейне реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамова Е.А.* Основные источники загрязнения поверхностных вод в пределах бассейна реки Москва // Матер. Междунар. научно-практ. конф. "Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)". М.: РГГУ, 2018. Т. 7. С. 58–61.
2. *Алексейченко Т.Г., Быков А.А., Ажиганич Т.Е. и др.* Проблемы использования сводных расчетов загрязнения атмосферы для нормирования и квотирования выбросов в промышленном городе // ЭКО-бюллетень ИнЭКА №3–4 (98–99), март–апрель 2004 г. <https://ineca.ru/?dr=library&library=bulletin/2004/0098/014>.
3. *Быков А.А., Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Климович М.Ю.* Разработка и апробация локальной модели выпадения загрязняющих веществ промышленного происхождения из атмосферы на подстилающую поверхность // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10. №5. С. 563–573.
4. *Волкова Н.А., Иванова И.С., Соколов Д.А. и др.* Концентрации и источники полициклических ароматических углеводородов в воде и донных отложениях рек северных нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. №4. С. 135–148.
5. *Калинин В.М.* Малые реки Западной Сибири: проблемы и решения // Пленарные доклады Всерос. научно-практ. конф. "Геоэкологические аспекты функционирования хозяйственного комплекса Западной Сибири". Тюмень: ТГУ, 2000. С. 42–57.
6. *Косарикова Д.Д., Туровец В.Е., Хамлова Е.Н., Голубцова О.А.* Проблемы малых рек Сибири. Оценка антропогенного загрязнения малых рек по содержанию некоторых элементов в Красноярском крае // Сб. матер. всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Под ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск: СибГУ им. академика М.Ф. Решетнева, 2020. С. 360–362.
7. *Сваровская Л.И., Алтунина Л.К., Яценко И.Г., Ельчанинова Е.А.* Проблема загрязнения малых рек на территории нефтедобывающих комплексов Севера Сибири // Сб. тр. II всерос. научно-практ. конф. "Север России: стратегии и перспективы развития". Surgut: ИЦ СурГУ, 2016. Т. 4. С. 276–281.
8. *Счастливцев Е.Л., Юкина Н.И., Быков А.А.* Мониторинг поверхностных вод в бассейне реки Ускат // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. №3. С. 69–76.
9. *Счастливцев Е.Л., Юкина Н.И., Харлампенков И.Е.* Информационно-аналитическая система геоэкологического мониторинга водных ресурсов угледобывающего региона // Вестник КузГТУ. Кемерово. 2016. №2 (114). С. 157–164.
10. *Khan M.Y.A., Gani K.M., Chakrapani G.J.* Spatial and temporal variations of physicochemical and heavy metal pollution in Ramganga River — A tributary of River Ganges // Environmental Earth Sciences. India. 2017. V. 76(5):231. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6547-3>
11. *Sophia Sh.C., Ismael A.K., Cheng Yu et al.* Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa // Environmental Science and Pollution Research. Africa. 2022. V. 29. P. 40812–40825. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-18082-1>

ANALYSIS OF POLLUTION FACTORS IN THE INYA RIVER, THE KEMEROVO REGION

E. L. Schastlivtsev^{a,b,#}, N. I. Yukina^{a,##}, A. A. Bykov^a

^aFederal Research Center for Information and Computational Technologies,
ul. Rukavishnikova 21, Kemerovo, 650991 Russia

^bInstitute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul, 656038 Russia

[#]E-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru

^{##}E-mail: leonakler@mail.ru

The article presents a comprehensive analysis of the river basin condition and water quality of the Inya River in the Kemerovo region over recent decades, specifically covering the periods from 1998 to 2003 and from 2017 to 2022. The study includes a comparative assessment of water quality changes, examining pollutant concentrations and the influence of various anthropogenic factors on the chemical composition of river water. Special attention is paid to identifying pollution sources, such as industrial discharges, agricultural and domestic wastewater, and atmospheric emissions that subsequently deposit onto the river basin surface. The article analyzes changes in the chemical composition of water and establishes correlations between water quality indicators and various characteristics, such as the disturbed land area. The findings show a notable improvement in water quality in recent years, attributed to integrated water purification measures and reduced anthropogenic load. However, unresolved issues remain, necessitating further improvement of treatment systems, enhanced monitoring of compliance with environmental standards, and the adoption of modern digital technologies for pollution monitoring.

Keywords: water body, anthropogenic load, disturbed land, water pollution, aerosol deposition, environmental monitoring

REFERENCES

1. Abramova, E.A. [The main sources of surface water pollution within the Moscow River basin]. Proc. Intern. Sci. and Pract. conference on Strategy of development in geological research of subsurface: the present and future (to the 100-th anniversary of MGRI–RGGRU). Moscow, RGGRU, 2018, vol. 7, pp. 58–61. (in Russian)
2. Alekseichenko, T.G., Bykov, A.A., Azhiganich, T.E. et al. [Problems of using united calculations of atmospheric pollution for emission standards and quotas in an industrial city]. *EKO-byulleten' InEkA*, 2004, no. 3–4 (98–99). March–April.
<https://ineca.ru/?dr=library&library=bulletin/2004/0098/014> (in Russian)
3. Bykov, A.A., Schastlivtsev, E.L., Pushkin, S.G., Klimovich M.Yu. [Development and testing of a local model of the fallout of industrial pollutants from the atmosphere onto the underlying surface]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2002, vol. 10, no. 5, pp. 563–573. (in Russian)
4. Volkova, N.A., Ivanova, I.S., Sokolov, D.A. et al. [Concentrations and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and bottom sediments of rivers of northern oil and gas producing areas of Western Siberia]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*. 2023, vol. 334, no. 4. pp. 135–148. (in Russian)
5. Kalinin, V.M. [Small rivers of Western Siberia: problems and solutions]. Plenary reports at All-Russia Sci. and Pract. Conf. “Geoecological aspects in functioning of West Siberia economic complex”. Tyumen', TSU Publ., 2000, pp. 42–57. (in Russian)
6. Kosarikova, D.D., Turovets, V.E., Khamlova, E.N., Golubtsova, O.A. [Problems of small rivers of Siberia. Assessment of anthropogenic pollution of small rivers by the content of some elements in Krasnoyarsk Krai]. Proc. All-Russia Sci.-Pract. conference of students, post-graduates and young professionals. Loginov Yu.Yu. Loginova, Ed. Krasnoyarsk, SibGU, 2020, pp. 360–362. (in Russian)
7. Svarovskaya, L.I., Altunina, L.K., Yashchenko, I.G., El'chaninova, E.A. [The problem of pollution of small rivers in the territory of oil-producing complexes in the North of Siberia]. Proc. II All-Russia Sci. and Pract. Conf. “The Russia's North: strategies and prospects for development”. Surgut, ITs SurGU, 2016, vol. 4, pp. 276–281. (in Russian)
8. Schastlivtsev, E.L., Yukina, N.I., Bykov A.A. [Monitoring of surface waters in the Uskat River basin]. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoi i ekologicheskoi bezopasnosti*. 2020, no. 3, pp. 69–76. (in Russian)
9. Schastlivtsev, E.L., Yukina, N.I., Kharlampenkov, I.E. [Information-analytical geoecological monitoring system for water resources in coal mining regions]. *Vestnik KuzGTU*, 2016, no. 2 (114), pp. 157–164. (in Russian)
10. Khan, M.Y.A., Gani, K.M., & Chakrapani, G.J. Spatial and temporal variations of physicochemical and heavy metal pollution in Ramganga River — a tributary of River Ganges. *Environmental Earth Sciences, India*. 2017, vol. 76(5):231.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6547-3>
11. Sophia Sh.C., Ismael A.K., Cheng Yu et al. Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa. *Environmental Science and Pollution Research. Africa*, 2022, vol. 29, pp. 40812–40825.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-18082-1>