

СТАТЬИ

УДК 504.064.4:556
DOI 10.17513/use.38479



CC BY 4.0

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАЛЛОВ
В ВОДАХ РЕКИ НАРЫН (2020–2024 ГОДЫ)**

¹Алиева Э. А., ²Оторова С. Т., ¹Тотубаева Н. Э.

¹Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек, Республика Кыргызстан,
e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg;

²Нарынский государственный университет имени С. Нааматова,
Нарын, Республика Кыргызстан

В условиях усиления антропогенного воздействия на водные экосистемы особую актуальность приобретает изучение пространственно-временной изменчивости концентраций металлов в речных водах. В данной статье представлены результаты анализа концентраций металлов Ba, Al, Fe, Mn и Sr в водах р. Нарын за период с 2020 по 2024 г. Учет загрязнения воды данными микроэлементами имеет ряд характерных особенностей. Эти элементы могут поступать как из природных источников (за счет выветривания горных пород), так и в результате антропогенной деятельности (промышленные и коммунальные стоки, горнодобывающие предприятия). Их повышенные концентрации, даже если они частично обусловлены естественным геохимическим фоном, могут оказывать негативное влияние на водные организмы и на здоровье населения, использующего воду для хозяйственных нужд. Цель исследования – на основе статистического анализа данных за 2020–2024 гг. оценить временные и пространственные изменения концентраций металлов в водах р. Нарын. Пробы воды были отобраны на десяти контрольных участках, расположенных вдоль течения реки, с соблюдением требований нормативных документов, а определение микрокомпонентного состава вод проводилось в аккредитованной лаборатории компании Stewart Assay and Environmental Laboratories LLC методом атомно-эмиссионной спектрометрии. Результаты исследования показали, что концентрации большинства металлов характеризуются относительной стабильностью, при этом выявлены выраженные пространственно-временные колебания содержания отдельных элементов. Установленные закономерности указывают на влияние антропогенных факторов, в том числе хозяйственной деятельности г. Нарын и функционирования золоторудных месторождений «Макмал» и «Кумтор». Вместе с тем значительные расходы воды в р. Нарын способствуют процессам естественного разбавления загрязняющих веществ, что снижает совокупное воздействие техногенных источников на качество водной экосистемы и обосновывает необходимость продолжения мониторинговых исследований.

Ключевые слова: река Нарын, загрязнение, микроэлементы, статистический анализ

**SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES IN METAL
CONCENTRATIONS IN THE NARYN RIVER (2020–2024)**

¹Alieva E. A., ²Otorova S. T., ¹Totubaeva N. E.

¹Kyrgyz-Turkish University “Manas”, Bishkek, Kyrgyz Republic,
e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg;

²Naryn State University named after S. Naamatov, Naryn, Kyrgyz Republic

With the increasing anthropogenic impact on aquatic ecosystems, studying the spatial and temporal variability of metal concentrations in river waters is becoming particularly relevant. This article presents the results of an analysis of the concentrations of Ba, Al, Fe, Mn, and Sr metals in the waters of the Naryn River for the period 2020–2024. Accounting for water pollution with these trace elements has a number of distinctive features. These elements can come from natural sources (through the weathering of rocks) or as a result of human activity (industrial and municipal wastewater, mining enterprises). Their elevated concentrations, even if they are partly due to the natural geochemical background, can have a negative impact on aquatic organisms and the health of the population using water for domestic needs. The aim of the study is to assess temporal and spatial changes in metal concentrations in the waters of the Naryn River based on statistical analysis of data for 2020–2024. Water samples were collected at ten control sites located along the river, in compliance with regulatory requirements, and the microcomponent composition of the water was determined in an accredited laboratory of Stewart Assay and Environmental Laboratories LLC using atomic emission spectrometry. The results of the study showed that the concentrations of most metals are relatively stable, while pronounced spatial and temporal fluctuations in the content of certain elements were identified. The patterns identified indicate the influence of anthropogenic factors, including the economic activity of the city of Naryn and the operation of the Makmal and Kumtor gold deposits. At the same time, significant water consumption in the Naryn River contributes to the natural dilution of pollutants, which reduces the cumulative impact of anthropogenic sources on the quality of the aquatic ecosystem and justifies the need for continued monitoring studies.

Keywords: Naryn River, pollution, trace elements, statistical analysis

Введение

Кыргызстан – горная страна, в которой ледники занимают до 4,5 % от общей территории. Их общая площадь составляет около 8047,8 км². Ледники в Кыргызстане занимают практически всю западную половину внутриконтинентальной и горной гряды Тянь-Шаня и части хребта Памиро-Алая и имеют устойчивое оледенение [1]. Река Нарын – самая крупная река Кыргызской Республики, после слияния с р. Карадарья образует Сырдарью – одну из двух основных рек Центральной Азии [2]. Водность реки используется на орошение пахотных земель в бассейне р. Нарын и на водообеспечение г. Нарын и населенных пунктов по течению реки в засушливый летний период [3].

Нарын – самая многоводная река Кыргызстана – течет с востока на запад по территории Кыргызстана и Узбекистана, является правой составляющей Сырдарьи. Река Нарын втекает на территорию Узбекистана в районе г. Учкурган, протекает по территории Наманганской области и около г. Балыкчи сливается с р. Карадарья [4]. Длина р. Нарын составляет 534 км (вместе с р. Большой Нарын – 807 км), площадь водосбора 58 370 км². На своем пути она принимает 130 притоков протяженностью свыше 10 км и около 500 менее значительных речек и ручьев. Нарын течет по межгорным долинам, местами в узких ущельях [5].

Гидрохимический состав вод формируется по гидрокарбонатно-кальциевому типу. Это определяет ключевые свойства воды: низкую общую минерализацию, нейтральные значения pH и умеренный уровень жесткости.

Основу водного баланса реки составляют ледниковые и снеговые воды. Ледниковое питание играет значительную роль, водный режим реки формируется за счет таяния ледников и сезонных снегов в высокогорных районах Центрального Тянь-Шаня, где берет начало река. Доля грунтовых вод, по некоторым данным, в общем питании реки составляет около 44 %. Половодье проходит в период с мая по август. Норма стока 480 м³/с [6].

На протяжении всего своего течения р. Нарын имеет разнообразную морфологию, самые крупные пойменные участки расположены в центральной части водосбора ниже по течению от г. Нарын. Исток р. Нарын начинается в северо-западной части от слияния двух рек, Большого и Малого Нарына, и от ледников горного хребта

Ак-Шиирак. Затем в Ферганской долине эта река сливается с Карадарьей. В целом около 2 % площади бассейна занимают ледники Центрального Тянь-Шаня (около 2074 ледника общей площадью 1357,8 км²). Вклад этих ледников в ежегодный сток воды значителен. Растительность в пойменных районах представлена такими видами, как тополь, ива, облепиха, кизильник, спирея, тамариск, роза и астра узколистая.

Климат бассейна р. Нарын является континентальным и характеризуется холодной продолжительной зимой и жарким коротким летом. Суточные колебания температур являются экстремальными, заморозки могут наблюдаться даже летом [7]. В хозяйственных целях вода р. Нарын используется для орошаемого земледелия – для этих нужд от нее проложены Большой Ферганский и Северный Ферганский каналы. Река также обладает значительными гидроэнергетическими ресурсами, на ней расположены Токтогульское и Курпсайское водохранилища и каскады ГЭС: Токтогульская, Таш-Кумырская, Учкурганская, Курпсайская, Шамалдысайская и Камбаратинская [8].

В настоящее время первостепенной и очень важной является оценка химического состава природных вод, донных отложений реки и их постоянный мониторинг [9]. Изучение концентраций тяжелых металлов в поверхностных водах суши и причин повышения их концентраций на региональном уровне является одной из актуальных проблем экологии [10]. Определение содержания металлов в водных объектах включают в программы экологического мониторинга, так как от концентрации этих элементов зависит качество воды [11].

Значимость статистических методов в экологии определяется как самим характером современных исследований в этих областях, так и естественными свойствами объектов изучения. Современная статистика оказывается столь полезной при обработке численных данных в биологии и экологии именно потому, что она основана на признании этой изменчивости и обладает мощными средствами ее учета. Подтверждение существования изменчивости достигается посредством использования методов статистического анализа [12, с. 15].

Цель исследования – на основе статистического анализа данных за 2020–2024 гг. оценить временные и пространственные изменения концентраций металлов в водах р. Нарын.

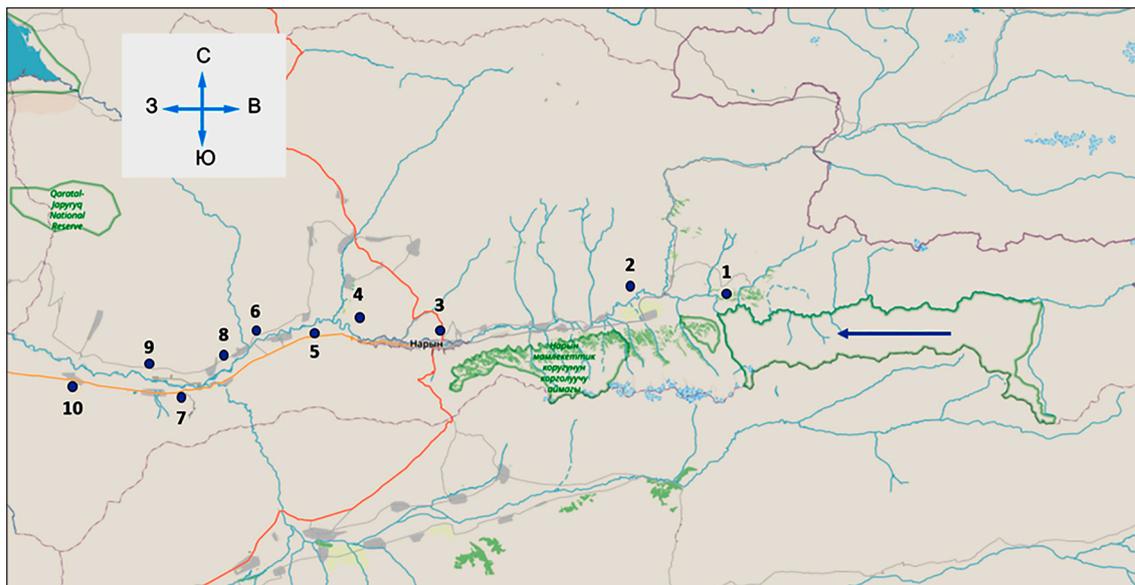


Рис. 1. Пункты отбора проб вдоль р. Нарын (масштаб: 1:500000, программа ArcGis)
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Характеристика точек отбора проб воды в бассейне р. Нарын

№ точки	Название и расположение точки	Особенности точки (цель отбора)
1	Р. Большой Нарын, выше слияния с Малым Нарыном	Контроль фоновый состав вод, формирующих основной сток р. Нарын
2	Р. Малый Нарын	Оценка вклада одного из истоков в общий химический состав реки
3	Р. Нарын, выше г. Нарын (район Сейил-Булак)	Контроль «фона» непосредственно перед городом, оценка исходного состояния воды
4	Р. Нарын, ниже г. Нарын (район Ак-Кия)	Оценка непосредственного влияния городской деятельности на качество воды
5	Р. Ат-Башы, выше с. Ат-Башы	Определение исходного состояния воды притока Ат-Башы
6	Р. Ат-Башы, ниже с. Ат-Башы (ниже моста)	Оценка воздействия жилой застройки и возможных неорганизованных стоков села
7	Р. Ат-Башы, ниже ПГТ Достук (после моста)	Оценка совокупного влияния населенных пунктов на приток Ат-Башы перед его впадением в Нарын
8	Р. Кажырты, до впадения в р. Нарын	Оценка потенциального влияния горнодобывающей деятельности на малые водотоки
9	Р. Нарын, район ДЭУ	Контроль интегрального состояния реки после смешения вод основных притоков
10	Р. Салкын-Төр (малый водоток)	Оценка состояния малых водных объектов, наиболее чувствительных к локальному загрязнению

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в период с августа 2020 г. по сентябрь 2024 г. Для анализа были выбраны 10 контрольных точек отбора проб вдоль течения реки (рис. 1).

Для оценки пространственной изменчивости качества вод было выбрано 10 кон-

трольных точек, расположенных на основном русле р. Нарын и ее ключевых притоках (Ат-Башы, Кажырты, Салкын-Төр). Выбор точек был обусловлен необходимостью контроля фоновых участков, зон влияния населенных пунктов и горнодобывающей деятельности. Подробная характеристика точек представлена в табл. 1.

В работе проведен статистический анализ данных о концентрациях металлов в воде р. Нарын, полученных из официальных источников Кыргызгидромета. Общий анализ позволил определить годы и пункты отбора проб, характеризующиеся максимальными значениями концентраций исследуемых металлов. Отбор проб воды проводился в соответствии с установленными требованиями; пробы отбирались в центральной части водного потока с примерно одинаковой (максимальной) глубины. В каждом пункте наблюдений отбиралась одна проба воды. Отобранные пробы немедленно консервировались и доставлялись в лабораторию для оперативного анализа.

Статистический анализ. Основными средствами анализа данных в MS Excel являются статистические и математические функции библиотеки встроенных функций, статистические процедуры и специальный инструмент [12, с. 17]. Для проведения статистических расчетов в Microsoft Excel имеется надстройка Пакет анализа. Вычисления могут проводиться посредством команды Данные – Анализ данных – Описательная статистика, а также средствами встроенных функций MS Excel [13, с. 34]. Для анализа данных по р. Нарын за период 2020–2024 гг. использовались стандартные методы описательной статистики, включающие расчет средних, показателей вариации и распределения.

Для анализа исходных данных применялись методы описательной статистики. В рамках исследования были рассчитаны показатели положения и разброса распределения, включая среднее арифметическое, медиану, стандартную ошибку среднего, дисперсию, стандартное отклонение, а также показатели формы распределения (эксцесс).

Среднее арифметическое и медиана использовались для характеристики центральной тенденции исследуемых показателей, при этом медиана позволяла снизить влияние выбросов и асимметрии распределения. Стандартная ошибка среднего применялась для оценки точности выборочной оценки относительно генеральной совокупности. Показатели разброса (дисперсия и стандартное отклонение) использовались для оценки вариабельности значений относительно среднего уровня.

Для характеристики формы распределения рассчитывался эксцесс, отражающий степень концентрации значений вокруг среднего. Минимальные и максимальные значения использовались для определения границ варьирования концентраций исследуемых элементов.

Применение методов описательной статистики осуществлялось на этапе предварительной обработки данных и обеспечивало корректность и достоверность последующих аналитических выводов. Расчеты выполнялись с использованием стандартных статистических процедур, описанных в литературе [14, с. 49–54; 15, с. 24–26].

Результаты исследования и их обсуждение

На основе данных концентраций металлов в воде р. Нарын, предоставленных Кыргызгидрометом, выполнен статистический анализ концентрации бария, алюминия, железа, марганца и стронция по пунктам отбора проб и за годы наблюдений. Результаты расчетов основных показателей описательной статистики представлены в табл. 2–11 и отражают пространственно-временную вариабельность исследуемых элементов.

Таблица 2

Статистические характеристики содержания бария в воде реки в 2020–2024 гг. (мг/л)

Дата отбора проб	\bar{x}	S_x	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Август 2020 г.	0,0654	0,0067	0,0590	0,0210	0,0005	-1,8	0,037	0,093
Февраль 2021 г.	0,0622	0,0046	0,0585	0,0145	0,0002	-1,25	0,038	0,081
Август 2021 г.	0,0591	0,0071	0,0490	0,0220	0,0005	-1,18	0,029	0,094
Ноябрь 2022 г.	0,0681	0,0060	0,0650	0,0180	0,0004	-1,77	0,042	0,093
Май 2024 г.	0,0795	0,0087	0,0715	0,0275	0,0008	-1,43	0,044	0,118
Сентябрь 2024 г.	0,0806	0,0054	0,0830	0,0171	0,0003	-1,5	0,054	0,102

Примечание: \bar{x} – среднее арифметическое, S_x – стандартная ошибка, Me – медиана, σ – стандартное отклонение, σ^2 – дисперсия выборки, Ex – эксцесс, min – минимум, max – максимум; составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 3

Статистические показатели содержания бария в воде по пунктам отбора проб вдоль течения реки (мг/л)

Пункты отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Точка 1	0,0694	0,0086	0,071	0,0087	0,0004	0,4305	0,045	0,097
Точка 2	0,0434	0,0058	0,042	0,0058	0,0002	2,1826	0,029	0,064
Точка 3	0,058	0,0050	0,059	0,0050	0,0001	-1,6859	0,043	0,069
Точка 4	0,0608	0,0083	0,054	0,0083	0,0003	2,1274	0,043	0,091
Точка 5	0,096	0,0061	0,091	0,0061	0,0002	1,2049	0,081	0,117
Точка 6	0,097	0,0065	0,094	0,0065	0,0002	0,9754	0,078	0,118
Точка 7	0,0852	0,0052	0,084	0,0052	0,0001	3,06288	0,076	0,105
Точка 8	0,0576	0,0028	0,058	0,0028	3,83E-05	0,6924	0,048	0,063
Точка 9	0,0816	0,0040	0,082	0,0040	8,03E-05	0,2710	0,072	0,095
Точка 10	0,05	0,0013	0,05	0,0013	8,5E-06	0,8927	0,046	0,054

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 4

Статистические характеристики содержания алюминия в воде реки в 2020–2024 гг. (мг/л)

Дата отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Август 2020 г.	0,211	0,0341	0,2	0,1078	0,0116	0,3359	0,03	0,41
Август 2021 г.	0,06	0,0084	0,07	0,0267	0,0007	-2,0949	0,03	0,09
Ноябрь 2022 г.	0,142	0,0443	0,08	0,1401	0,0196	4,2858	0,03	0,49
Май 2024 г.	1,329	0,1841	1,34	0,5822	0,3389	1,9619	0,03	2,04
Сентябрь 2024 г.	0,619	0,2397	0,255	0,7581	0,5747	-0,5025	0,03	1,9

Примечание: из-за слишком низкой концентрации алюминия (< 0,03) в феврале 2021 г. этот показатель был исключен из расчетов. Составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 5

Статистические показатели содержания алюминия в воде по пунктам отбора проб вдоль течения реки (мг/л)

Пункты отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Точка 1	0,568	0,2593	0,22	0,5798	0,33612	-3,2413	0,07	1,23
Точка 2	0,83	0,3293	0,49	0,7364	0,54235	-0,8210	0,09	1,9
Точка 3	0,388	0,1873	0,31	0,4188	0,17537	2,7084	0,06	1,09
Точка 4	0,732	0,3821	0,18	0,8544	0,73007	-2,3870	0,09	1,88
Точка 5	0,46	0,3954	0,07	0,8842	0,7818	4,9566	0,03	2,04
Точка 6	0,476	0,3696	0,13	0,8265	0,68308	4,8788	0,03	1,95
Точка 7	0,474	0,3316	0,13	0,7414	0,54973	4,6777	0,07	1,79
Точка 8	0,282	0,1794	0,13	0,4012	0,16097	4,4611	0,03	0,99
Точка 9	0,482	0,2722	0,27	0,6086	0,37037	4,2529	0,08	1,55
Точка 10	0,03	0	0,03	0	0	0	0,03	0,03

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 6

Статистические характеристики содержания железа в воде реки в 2020–2024 гг. (мг/л)

Дата отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Август 2020 г.	0,1444	0,0293	0,13	0,0926	0,0086	2,2503	0,004	0,35
Февраль 2021 г.	0,021	0,0061	0,018	0,0192	0,0004	5,2670	0,004	0,07
Август 2021 г.	0,0274	0,0050	0,03	0,0157	0,0002	-1,357	0,004	0,05
Ноябрь 2022 г.	0,1477	0,0706	0,0645	0,2233	0,0499	6,9430	0,004	0,745
Май 2024 г.	0,8883	0,1240	0,893	0,3921	0,1538	2,0142	0,012	1,35
Сентябрь 2024 г.	0,8259	0,3377	0,2135	1,0678	1,1403	-0,6650	0,004	2,59

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 7

Статистические показатели содержания железа в воде по пунктам отбора проб вдоль течения реки (мг/л)

Пункты отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Точка 1	0,4763	0,2875	0,115	0,7042	0,4959	2,3566	0,022	1,78
Точка 2	0,77	0,3921	0,5475	0,9605	0,9226	3,3061	0,01	2,59
Точка 3	0,2648	0,1305	0,107	0,3198	0,1022	-1,57	0,011	0,729
Точка 4	0,6142	0,4191	0,0675	1,0265	1,0536	3,6251	0,019	2,59
Точка 5	0,255	0,2176	0,0405	0,5330	0,2841	5,8814	0,004	1,34
Точка 6	0,2945	0,2131	0,099	0,5220	0,2725	5,6068	0,01	1,35
Точка 7	0,2678	0,1841	0,0885	0,4509	0,2033	5,6192	0,02	1,18
Точка 8	0,1902	0,0953	0,099	0,2335	0,0545	4,5755	0,02	0,65
Точка 9	0,2863	0,1561	0,157	0,3824	0,1462	4,6045	0,032	1,04
Точка 10	0,0053	0,0013	0,004	0,0033	1,07E-05	6	0,004	0,012

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 8

Статистические характеристики содержания марганца в воде реки в 2020–2024 гг. (мг/л)

Дата отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Август 2020 г.	0,0392	0,0052	0,037	0,0164	0,0003	2,1960	0,007	0,071
Февраль 2021 г.	0,0098	0,0021	0,0085	0,0068	4,6E-05	7,1540	0,005	0,028
Август 2021 г.	0,0133	0,0038	0,0095	0,0121	0,0001	-0,772	0,001	0,034
Ноябрь 2022 г.	0,0543	0,0165	0,035	0,0522	0,0027	-0,9307	0,003	0,148
Май 2024 г.	0,1246	0,0179	0,118	0,0565	0,0032	2,1680	0,004	0,221
Сентябрь 2024 г.	0,0777	0,0272	0,0355	0,0859	0,0074	-1,0398	0,006	0,219

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Анализ временной динамики показателей выявил, что наибольшие значения среднего арифметического для бария (Ba, табл. 2) и стронция (Sr, табл. 10) наблюдались в сентябре 2024 г., тогда как максимальные концентрации алюминия

(Al, табл. 4), железа (Fe, табл. 6) и марганца (Mn, табл. 8) зафиксированы в мае 2024 г. Минимальные значения зарегистрированы: для Ba и Al – в августе 2021 г., для Mn и Fe – в феврале 2021 г., для Sr – в мае 2024 г.

Таблица 9

Статистические показатели содержания марганца по пунктам отбора проб вдоль течения реки (мг/л)

Пункты отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Точка 1	0,1083	0,0338	0,1095	0,0828	0,0069	-1,8461	0,009	0,219
Точка 2	0,0728	0,0275	0,066	0,0673	0,0045	-0,9289	0,006	0,177
Точка 3	0,0572	0,0225	0,043	0,0550	0,0030	3,8665	0,008	0,163
Точка 4	0,0875	0,0308	0,073	0,0755	0,0057	-1,0780	0,009	0,203
Точка 5	0,0298	0,0186	0,008	0,0455	0,0021	4,3056	0,002	0,119
Точка 6	0,0327	0,0176	0,017	0,0432	0,0019	4,2175	0,003	0,117
Точка 7	0,0317	0,0143	0,019	0,0351	0,0012	4,6422	0,007	0,101
Точка 8	0,0577	0,0330	0,0275	0,0809	0,0065	5,5567	0,009	0,221
Точка 9	0,0492	0,0159	0,0515	0,0391	0,0015	1,4583	0,01	0,117
Точка 10	0,0047	0,001	0,005	0,0024	5,87E-06	-1,1428	0,001	0,007

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 10

Статистические характеристики содержания стронция в воде реки в 2020–2024 гг. (мг/л)

Дата отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Август 2020 г.	0,7927	0,1999	0,5565	0,6322	0,3997	6,0601	0,358	2,447
Февраль 2021 г.	0,89	0,2593	0,59	0,8199	0,6723	4,9805	0,4	2,97
Август 2021 г.	0,8761	0,2423	0,6215	0,7661	0,5870	7,2581	0,379	2,94
Ноябрь 2022 г.	0,7953	0,2242	0,5395	0,7089	0,5025	7,1891	0,319	2,702
Май 2024 г.	0,6664	0,1479	0,5465	0,4677	0,2188	7,0911	0,282	1,92
Сентябрь 2024 г.	0,9439	0,2458	0,599	0,7774	0,6044	1,8766	0,32	2,69

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таблица 11

Статистические показатели содержания стронция в воде по пунктам отбора проб вдоль течения реки (мг/л)

Пункты отбора проб	\bar{x}	$S_{\bar{x}}$	Me	σ	σ^2	Ex	min	max
Точка 1	0,412	0,0141	0,4195	0,0346	0,0012	-1,4762	0,364	0,453
Точка 2	0,3908	0,0574	0,339	0,1406	0,0198	4,3528	0,282	0,666
Точка 3	0,7593	0,2244	0,5505	0,5495	0,3020	5,5887	0,43	1,87
Точка 4	0,4838	0,0340	0,4545	0,0834	0,0070	-0,1581	0,401	0,62
Точка 5	0,5757	0,0250	0,564	0,0612	0,0038	3,7644	0,521	0,693
Точка 6	0,5742	0,0330	0,5455	0,0809	0,0066	3,3942	0,493	0,727
Точка 7	0,7282	0,1098	0,642	0,2689	0,0723	5,4887	0,546	1,27
Точка 8	1,1637	0,1412	1,2215	0,3459	0,1196	-0,2603	0,715	1,68
Точка 9	0,9903	0,3902	0,6055	0,9559	0,9138	5,9662	0,541	2,94
Точка 10	2,196	0,3785	2,5685	0,9271	0,8595	3,0854	0,447	2,97

Примечание: составлена авторами на основе данных Кыргызгидромета в ходе исследования.

Таким образом, большая часть данных указывает на то, что концентрации металлов достигали максимума в 2024 г. и были минимальными в 2021 г., особенно в зимний период.

Пространственное распределение. Средние значения по пунктам отбора показали, что наибольшие концентрации Ва наблюдались в точке 6 (табл. 3), Al и Fe – в точке 2 (табл. 5, 7), Mn – в точке 1 (табл. 9). Точки 1 и 2 расположены ниже по течению вблизи золоторудного месторождения «Кумтор», это объясняет повышенные уровни загрязнения в этих районах. Концентрация Sr оказалась наибольшей в точке 10 (табл. 11), расположенной в нижнем течении реки. Минимальные значения Al, Fe и Mn отмечены в точке 10, Ва и Sr – в точке 2, что свидетельствует о локальном характере загрязнения и разбавлении стоком.

Показатели вариации и распределения. Медианные значения указывают на устойчивое распределение большинства металлов, однако для Al и Fe отмечается определенная неоднородность. Стандартное отклонение оказалось низким для всех металлов и всех пунктов, что отражает постоянство их концентраций в течение четырех лет. Исключение составляет железо, для которого наблюдалось увеличение стандартного отклонения в сентябре 2024 г., а также в точке 4, что может свидетельствовать о кратковременном загрязнении.

При малых значениях дисперсии выборки концентрации металлов вдоль реки остаются стабильными. У Ва и Mn дисперсия была минимальной, что указывает на однородность концентраций по годам. Для Al низкие значения дисперсии характерны для пробы августа 2021 г., в то время как средняя дисперсия (август 2020 и ноябрь 2022 г.) отражает умеренные колебания без резких выбросов. Наибольшая дисперсия Al и Fe отмечена в мае и сентябре 2024 г., что может указывать на эпизодические выбросы загрязняющих веществ. Для Fe в ноябре 2022 г. дисперсия концентраций была выше, чем в остальные годы, где она оставалась низкой. Концентрации Sr характеризуются высокой дисперсией во все годы наблюдений.

По пространственным данным минимальная дисперсия Al, Fe, Ва и Mn наблюдалась в 10 точке, тогда как для Al и Fe во всех остальных точках она оставалась высокой. Для Sr особенно высокие значения дисперсии зафиксированы в точках 2 и 3, что, вероятно, связано с поступлением металлов из локальных источников.

Экссесс и характер распределения. Значения коэффициента эксцесса подтвердили наличие неоднородных распределений. Наибольшие значения эксцесса наблюдались в ноябре 2022 г. для Al, Fe и Sr, а также в феврале 2021 г. для Mn. По пунктам отбора наиболее высокие значения эксцесса отмечены: для Ва – в точке 6, Al – в точке 5, Fe – в точке 10, Mn – в точке 8, Sr – в точке 9. Высокие значения эксцесса указывают на редкие, но значительные превышения фоновых концентраций, что свидетельствует о локальных загрязнениях. Наименьшие значения эксцесса зафиксированы для Al и Fe в августе 2021 г., для Mn и Sr – в сентябре 2024 г. Минимальные показатели эксцесса по точкам наблюдались для Al, Mn и Sr в точке 1, Ва и Fe – в точке 3, что характеризует более равномерное распределение без выраженных пиков.

Интерпретация полученных данных. В 2024 г. в целом отмечено увеличение концентраций Fe, Mn и Sr, что может быть связано с возрастанием антропогенной нагрузки вблизи г. Нарын, при этом не исключается, что часть изменений могла быть обусловлена природными факторами. Населенный пункт, расположенный на левом берегу одноименной реки, насчитывает около 40 тыс. жителей. Неполное обеспечение централизованной системой водоснабжения и водоотведения создает прямые пути попадания сточных вод в природные водоемы, что негативно влияет на экологическую ситуацию и качество водных ресурсов. Это связано с использованием альтернативных способов утилизации отходов, неконтролируемым сбросом неочищенных стоков и ограниченной мощностью существующих очистных сооружений. Дополнительное влияние на концентрации металлов оказывает деятельность золоторудных месторождений «Макмал» и «Кумтор» [2].

Сравнение с результатами исследования С. Т. Оторовой [5], проведенного в 2002–2005 гг., показало снижение средних концентраций Al и Fe в 2020–2024 гг. (рис. 2). Для сопоставления использованы две аналогичные точки отбора (3 – выше г. Нарын, 4 – ниже г. Нарын). Более низкие концентрации в современный период могут быть обусловлены как природными изменениями гидрохимического режима, так и осаждением алюминия и железа при увеличении доли органических загрязнителей. Предположительно, эти процессы способствовали снижению содержания Al и Fe в водах Нарына в последние годы.

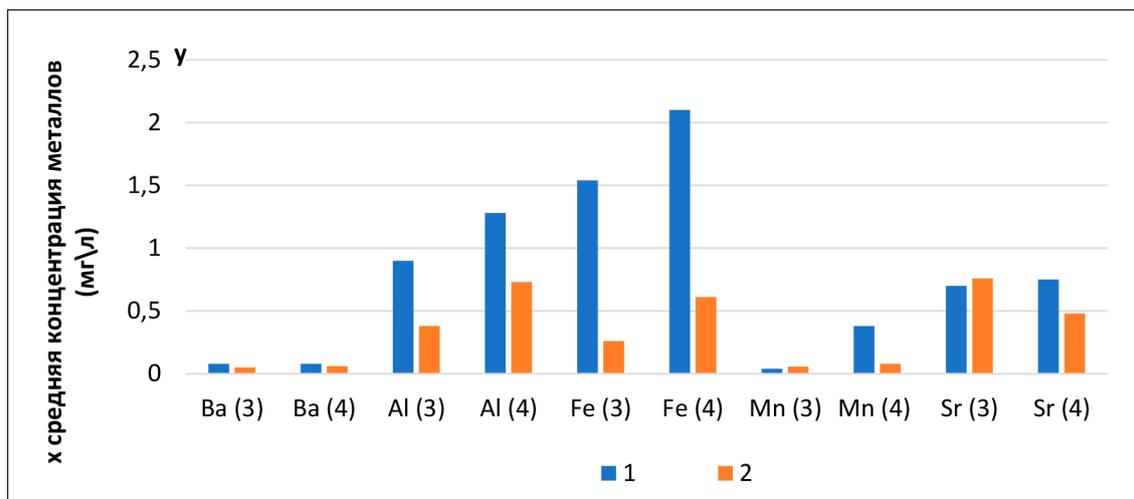


Рис. 2. Сравнение средних концентраций металлов в пунктах 3 (выше г. Нарын) и 4 (ниже г. Нарын) за 2002–2005 гг. (1 – синий цвет) и 2020–2024 гг. (2 – оранжевый цвет)
Примечание: составлен по результатам исследования авторов (2020–2024 гг.) и С. Т. Оторовой [5] (2002–2005 гг.).

Заклучение

На основе полученных данных по концентрациям пяти металлов в водах р. Нарын за 2020–2024 гг. был проведен анализ динамики их изменений. Результаты исследования показали, что в 2024 г. наблюдались наибольшие концентрации железа (Fe), марганца (Mn) и стронция (Sr). Основными потенциальными источниками поступления этих элементов могут являться антропогенные воздействия, связанные с деятельностью г. Нарын, а также горнодобывающих предприятий месторождений «Макмал» и «Кумтор». Одновременно нельзя полностью исключить влияние природных процессов на увеличение содержания металлов в воде. Сохранение текущих тенденций может привести к дальнейшему росту содержания указанных металлов, что представляет потенциальную угрозу для региона. Для оценки направленности изменений был проведен сравнительный анализ с результатами исследования С. Т. Оторовой, выполненного в 2002–2005 гг. Сопоставление средних концентраций в точках 3 и 4 показало, что уровни бария (Ba) и алюминия (Al) за прошедшие годы изменились незначительно, в то время как концентрации Fe, Mn и Sr ранее были значительно выше. Это может свидетельствовать о трансформации характера загрязнения – вероятно, увеличении доли органических соединений, связывающих металлы и влияющих на их подвижность. Тяжелые металлы в природных системах конкурируют за связывание с органическими лиганда-

ми, образуя координационные комплексы. Прочность комплексов зависит от свойств металлов, структуры лигандов и условий среды, а более сильные комплексообразователи вытесняют менее прочные, что влияет на подвижность и биодоступность металлов. В целом в течение исследуемого периода (2020–2024 гг.) концентрации большинства металлов оставались относительно стабильными, за исключением железа, для которого в сентябре 2024 г. было зафиксировано резкое увеличение в точке ниже г. Нарын. Аналогичные пики содержания алюминия, железа и стронция наблюдались в ноябре 2022 г. Однако, учитывая сезонные особенности водности р. Нарын (увеличение стока в летний период) происходит разбавление загрязняющих веществ вниз по течению, что способствует снижению их концентраций и частичному нивелированию локальных антропогенных воздействий. Полученные результаты исследования концентраций и распределения тяжелых металлов в р. Нарын могут быть использованы для совершенствования системы мониторинга качества воды, разработки рекомендаций по контролю над загрязнением и для оптимизации существующих технологий очистки сточных вод. Данные также могут применяться при планировании мероприятий по охране водных ресурсов и управлении антропогенной нагрузкой на речную экосистему. Таким образом, выявленные закономерности указывают на необходимость дальнейшего

мониторинга содержания металлов и комплексной оценки влияния промышленных и коммунальных источников на водную экосистему бассейна р. Нарын.

Список литературы

1. Каримов К. А., Алибаева Г. К. Временные вариации объема воды в Токтогульском водохранилище в связи со стоком реки Нарын // Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР. 2021. С. 1–15. URL: <http://www.cawater-info.net/naryn/papers/karimov-alibaeva.pdf> (дата обращения: 15.02.2026).
2. Асанов Б. Д., Оторова С. Т., Тотубаева Н. Э., Кожобаев К. А. Оценка влияния антропогенных объектов на физические показатели воды реки Нарын // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 56–61. URL: <http://cawater-info.net/naryn/papers/asanov-et-al.pdf> (дата обращения: 14.02.2026).
3. Калашникова О. Ю., Аламанов С. К., Усубалиев Р. А. Оценка динамики компонентов стока рек ледникового питания в горах Тянь-Шаня в условиях изменения глобального климата // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2020. № 3. С. 8–13. URL: <http://cawater-info.net/naryn/papers/kalashnikova-et-al3.pdf> (дата обращения: 13.02.2026). DOI: 10.26104/NNNTIK.2019.45.557.
4. Назиркулова М. Б., Разикова И. Р. Оценка качества воды реки Нарын по интегральным показателям загрязнения. Экономика и социум. 2025. № 7 (134–1). С. 486–489. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vody-reki-naryn-po-integralnym-pokazatelyam-zagryazneniya> (дата обращения: 15.02.2026).
5. Оторова С. Т., Тотубаева Н. Э., Асанов Б. Д., Кожобаев К. А. Влияние города Нарын на некоторые показатели вод реки Нарын // Экология урбанизированных территорий. 2021. № 2. С. 33–39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-goroda-naryn-na-nekotorye-pokazateli-vod-reki-naryn> (дата обращения: 15.02.2026). DOI: 10.24412/1816-1863-2021-2-33-39.
6. Маркин В. Н. Статистический анализ и стохастическое моделирование стока наносов. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2015. С. 54–59. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskiy-analiz-i-stokhasticheskoe-modelirovanie-stoka-nanosov> (дата обращения: 13.02.2026).
7. Дегембаева Н., Байбагышова Е., Бец Ф., Циффа Б., Лауэрман М., Аюпова Б. Пойменные территории вдоль реки Нарын в Кыргызстане: оценка гидрологических и климатических изменений и их динамика. Нарынский государственный университет имени С. Нааматова и Католический университет Айхштет-Ингольштадт. 2019. С. 16–26. [Электронный ресурс]. URL: <https://edoc.ku.de/id/eprint/25576/> (дата обращения: 15.02.2026).
8. Калашникова О. Ю. Методика прогнозирования водности рек Кыргызской Республики на основе WEAP (на примере р. Нарын) // Вестник КРСУ. 2024. Т. 24. № 8. С. 27–35. URL: <https://www.researchgate.net/profile/>

9. Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях Ириклинского водохранилища // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 6 (194). С. 70–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-v-vode-i-donnyh-otlozheniyah-iriklinskogo-vodohranilisha> (дата обращения: 13.02.2026).
10. Атабиева Ф. А., Отарова А. С. Тяжелые металлы в воде малых рек Центрального Кавказа с преобладанием грунтового питания // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2023. № 11–2. С. 186–190. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-v-vode-malyh-rek-tsentralnogo-kavkaza-s-preobladaniem-gruntovogo-pitaniya> (дата обращения: 15.02.2026). ISSN 2410-6070.
11. Жаркова Н. Н., Баженова О. П., Болтовская А. С. Динамика содержания тяжелых металлов в воде реки Иртыш в период открытой воды в границах Омской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Vol. 17. Is. 2. С. 98–123. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-v-vode-reki-irtysh-v-period-otkrytoy-vody-v-granitsah-omskoy-oblasti> (дата обращения: 22.02.2026). DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109.
12. Сиделев С. И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию: учебное пособие. Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2012. 140 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rucont.ru/efd/237893> (дата обращения: 12.02.2026). ISBN 978-5-8397-0859-4.
13. Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2025. 409 с. (Высшее образование). URL: <https://urait.ru/book/matematicheskie-metody-v-biologii-i-ekologii-biofizicheskaya-dinamika-produkcionnyh-processov-557337> (дата обращения: 13.02.2026). ISBN 978-5-534-19922-2.
14. Полякова В. В., Шаброва Н. В. Основы теории статистики: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 148 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/34746/1/978-5-7996-1520-8.pdf> (дата обращения: 21.02.2026).
15. Чиркова О. А., Ляпкина Н. А. Общая теория статистики: Ч. 1: Учебное пособие по дисциплине «Статистика (теория статистики, социально-экономическая статистика)» для студентов всех форм обучения экономических направлений подготовки / Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск, 2021. 84 с. [Электронный ресурс]. URL: https://edu.rubinst.ru/resources/books/Chirkova_O._A._Obschaya_teoriya_statistiki_Ch.1_UP_2021.pdf (дата обращения: 20.02.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.