

ХИМИЯ

УДК 504.4.054

DOI: 10.21779/2542-0321-2023-38-1-66–74

Ш.Г. Аммаева, Ф.Г. Гасанова, А.Я. Гаджиева, А.Б. Исаев

Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами реки Рубас

Дагестанский государственный университет; Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а; shanaza@mail.ru

В статье анализировалось содержание ионов меди (II), железа (II), железа (III), кадмия, кальция, кобальта (II), магния, марганца (II), стронция, мышьяка (III), никеля (II), свинца (II), Cr (VI), хрома (III) в реке Рубас за период с 2017 по 2020 год. Мониторинг водного объекта проводился в устье реки на автодороге «Кавказ» в поверхностном слое на гидрологических постах наблюдения за качеством воды. Концентрацию ионов тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбции. Установлены соответствия содержания ионов тяжелых металлов в реке Рубас предельно- допустимым концентрациям в воде водных объектов. Рассчитаны индексы загрязнения воды (ИЗВ). Сделаны выводы об уровне загрязнения реки тяжелыми металлами.

Ключевые слова: *ионы тяжелых металлов, река Рубас, индекс загрязнения воды (ИЗВ), предельно допустимая концентрация (ПДК).*

Введение

Территория Республики Дагестан включает в себя бассейны крупных рек: Кумы, Терека (вне зоны формирования стока), Сулака, Самура и мелких рек между Сулаком и Самуром, впадающих в Каспийское море. Выделяется пять основных бассейновых районов Дагестана – Кумский, Теречный, Сулакский, Шураозень-Рубасский и Самурский [1].

Рубас (Рубасчай) – река, протекающая по территории Табасаранского, Курахского и Дербентского районов Дагестана. Длина реки – 92 км. Площадь водосборного бассейна – 1180 км². Берёт начало из родников на северо-восточном склоне одного из хребтов Внутреннего Дагестана в 3,4 км юго-восточнее горы Джуфу-Даг и впадает в Каспийское море близ сел Арабляр и Моллакент.

Река характеризуется паводочным режимом в теплую часть года и зимней меженью. Питание осуществляется за счет таяния сезонных снегов и дождевых осадков.

Вследствие активного хозяйственного воздействия на водные ресурсы РД во многих бассейнах рек на сегодня сложилась неудовлетворительная экологическая обстановка, особенно в части, касающейся качества поверхностных водных ресурсов: вода многих рек и водоемов загрязнена химическими веществами, солями тяжелых металлов, биогенными веществами, пестицидами, органическими соединениями [2–5].

Загрязнение водных объектов тяжелыми металлами вызывает серьезную проблему из-за их потенциальной токсичности и накопления в водной среде. В пресноводных экосистемах загрязнение металлами может возникать в результате прямых атмосферных осадков, геологического выветривания или посредством сброса сельскохозяйственных, муниципальных, бытовых или промышленных отходов [6].

В определенных условиях окружающей среды тяжелые металлы могут накапливаться до токсичного уровня концентрации и вызывать значительные экологические последствия и проблемы для здоровья человека из-за их стойкости, биоаккумуляции и биомagniфикации в пищевой цепи. Они не разлагаются, и их концентрация постоянно увеличивается в пресноводных водоемах [7].

Оставаясь в контакте с пресноводными экосистемами, тяжелые металлы в конечном итоге адсорбируются на отложениях. Следовательно, организмы, живущие в отложениях, накапливают эти металлы в разной степени [8].

Мониторинг показателей качества окружающей среды и индексы загрязнения являются инструментами для обработки и анализа информации об экологическом состоянии природных объектов [9–11].

Методика проведения эксперимента

Отбор проб воды осуществляют согласно ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб» и Рекомендациям Р 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» [12; 13].

Отбор проводился на гидрологических постах наблюдения за качеством воды, предназначенных для обнаружения изменений долгосрочного характера, в рамках государственной службы наблюдений за состоянием окружающей природной среды.

Мониторинг водного объекта Рубас проводился в устье реки на автодороге «Кавказ» в поверхностном слое в период с 2017 по 2020 г. 4 раза в год: весной, летом, осенью и зимой. Концентрация ионов металлов определялась методом атомной абсорбции на спектрофотометре с электротермической атомизацией и Зеемановской коррекцией фона МГА-915 (ошибка измерений не превышает 5–7 %). При этом проводили параллельно 5 измерений с последующей статической обработкой результатов с использованием программы Microsoft Excel 2016.

Комплексной оценкой качества вод является индекс загрязненности вод (ИЗВ). Расчет ИЗВ проводится по формуле

$$\text{ИЗВ} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) / 6,$$

где n – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета, имеющих наибольшее значение независимо от того, превышают они ПДК или нет, включая показатель растворенного кислорода БПК₅. Для поверхностных вод суши $n = 6$; C_i – концентрация i -того загрязняющего вещества в воде; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -того загрязняющего вещества [14–16].

Обсуждение экспериментальных данных

С 2017 по 2020 гг. были проведены исследования содержания ионов меди (II), железа (II), железа (III), кадмия, кальция, кобальта (II), магния, марганца (II), стронция, мышьяка (III), никеля (II), свинца (II), Cr (VI), хрома (III) в реке Рубас. Пробы воды отбирались в устье реки на автодороге «Кавказ» в поверхностном слое.

В таблицах 1–4 приведены данные по ионам тяжелых металлов за 2017–2020 гг.

Таблица 1. Данные по содержанию ионов тяжелых металлов, магния, кальция в реке Рубас в 2017 году

Наименование показателя	ПДК	30.03.2017	30.06.2017	25.08.2017	20.11.2017
Железо общее, мг/л	0.1	0.07	0.09	0.08	0.07
Кадмий, мг/л	5	0.0001	0.0001	0,0005	0.0002
Кальций, мг/л	180	75	80	80	80
Кобальт (II), мг/л	0.01	0	0	0	0
Магний, мг/л	40	39	30	30	31
Марганец (II), мг/л	0.01	0.01	0.002	0.002	0.002
Медь (II), мг/л	0.001	0.0003	0.002	0.002	0.002
Никель (II), мг/л	0.01	0.0005	0.002	0.002	0.015
Свинец (II), мг/л	0.006	0.0003	0.002	0.002	0.002
Цинк, мг/л	0.01	0.008	0.002	0.0001	0.002
Хром общий, мг/л	0,5/ 0,05	0.005	0.002	0.002	0.002

Как видно из таблицы 1, в 2017 году концентрация двухвалентной меди соответствует ПДК только в марте, в других пробах двукратное превышение ПДК. В ноябре содержание двухвалентного никеля превышает ПДК в 1,5 раза. Остальные пробы по никелю в пределах ПДК. Концентрация цинка, хрома и свинца в пределах ПДК. Кадмий, кальций, магний, общее железо, марганец в пределах нормы. Мышьяк и кобальт не обнаружены.

Таблица 2. Данные по содержанию ионов тяжелых металлов в реке Рубас в 2018 году

Наименование показателя	ПДК	22.03.2018	29.05.2018	26.09.2018	16.11.2018
Железо общее, мг/л	0.1	0.04	0.12	0.1	0.18
Кадмий, мг/л	5	0.0001	0,0005	0.0001	0,0005
Кальций, мг/л	180	50.1	46.1	50.1	40
Кобальт (II), мг/л	0.01	0	0	0	0
Магний, мг/л	40	24.3	27.4	24.3	18
Марганец (II), мг/л	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03
Медь (II), мг/л	0.001	0.0007	0.0006	0.0008	0.0005
Никель (II), мг/л	0.01	0.006	0.007	0.005	0.005
Свинец (II), мг/л	0.006	0.004	0.004	0.003	0.002
Цинк, мг/л	0.01	0.018	0.012	0.015	0.015
Хром общий, мг/л	0,5/0,05	0.001	0.002	0.003	0.004

Как видно из таблицы 2, в 2018 году концентрация общего железа не превышает норм ПДК в марте, в сентябре – равно ПДК, в других пробах превышение ПДК.

Содержание марганца двухвалентного превышает ПДК в 2–4 раза во все анализируемые месяцы. Содержание цинка превышает ПДК во все месяцы отбора проб в 1,2–1,8 раза.

Концентрация хрома и свинца, кадмия, кальция, магния, никеля и свинца в пределах нормы. Мышьяк и кобальт не обнаружены.

В таблице 3 представлены данные по содержанию тяжелых металлов, магния и мышьяка в реке Рубас за 2019 год.

Таблица 3. Данные по содержанию ионов тяжелых металлов, магния, мышьяка в реке Рубас в 2019 году

Наименование показателя	ПДК	15.03.2019	17.06.2019	06.09.2019	18.11.2019
Железо общее, мг/л	0.1	0.04	0.05	0.02	0.06
Кадмий, мг/л	5	0.0001	0,0005	0,0005	0,0005
Кальций, мг/л	180	100.2	100.2	90.1	100.2
Кобальт (II), мг/л	0.01	0.0003	0	0	0
Магний, мг/л	40	48.6	42.6	42.6	42.6
Марганец (II), мг/л	0.01	0.021	0.03	0.04	0.03
Медь (II), мг/л	0.001	0.004	0.003	0.003	0.005
Никель (II), мг/л	0.01	0.004	0.005	0.003	0.008
Свинец (II), мг/л	0.006	0.003	0.003	0.004	0.004
Цинк, мг/л	0.01	0.01	0.012	0.014	0.018
Хром общий, мг/л	0,5/ 0,05	0.003	0.003	0.004	0.003

Как видно из таблицы 3, в 2019 году концентрация магния, марганца, меди превышает ПДК во все месяцы отбора проб: марганца (II) – в 2–4 раза, меди – в 3–5 раз, магния – незначительно. ПДК по цинку превышено в июне, сентябре и ноябре.

Концентрация кадмия, кобальта, никеля, свинца, хрома (III) и (VI), кальция и общего железа в пределах нормы. Мышьяк не обнаружен.

В таблице 4 представлены данные по содержанию тяжелых металлов, магния и мышьяка в реке Рубас за 2020 год.

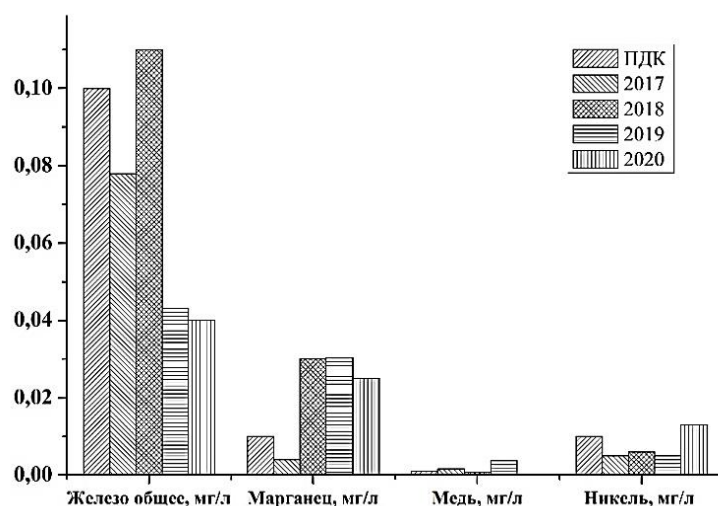
Как видно из таблицы 4, в 2020 году наблюдается превышение ПДК по ионам никеля в марте, июне и сентябре в 1,3 и 1,4 раза. Также наблюдается превышение ионов цинка во все месяцы отбора проб в 8–9,7 раза. Концентрации остальных элементов в пределах нормы. Мышьяк не обнаружен.

Таблица 4. Данные по содержанию ионов тяжелых металлов, магния, мышьяка в реке Рубас в 2020 году

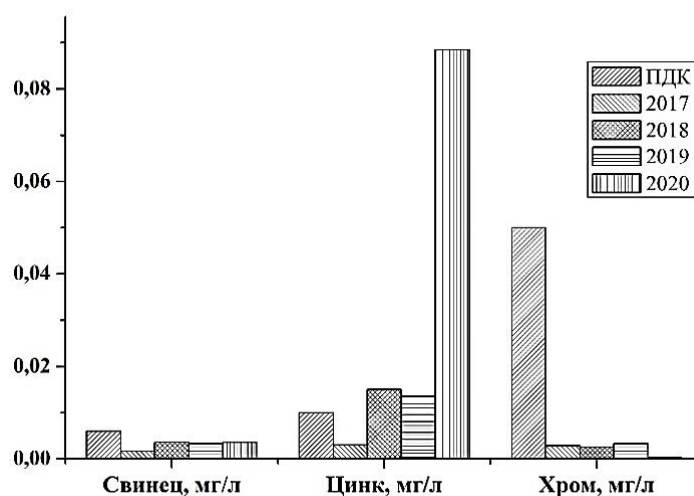
Наименование показателя	ПДК	16.03.2020	11.06.2020	10.09.2020	17.11.2020
Железо общее, мг/л	0.1	0.05	0.05	0.03	0.03

Кадмий, мг/л	5	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
Кальций, мг/л	180	50.1	50.1	60.1	60.1
Кобальт (II), мг/л	0.01	0.0001	0.0001	0	0
Магний, мг/л	40	12.2	12.2	18.2	18.2
Марганец (II), мг/л	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02
Медь (II), мг/л	0.001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001
Никель (II), мг/л	0.01	0.014	0.014	0.013	0.01
Свинец (II), мг/л	0.006	0.003	0.003	0.004	0.005
Цинк, мг/л	0.01	0.097	0.097	0.08	0.08
Хром общий, мг/л	0,5/ 0,05	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002

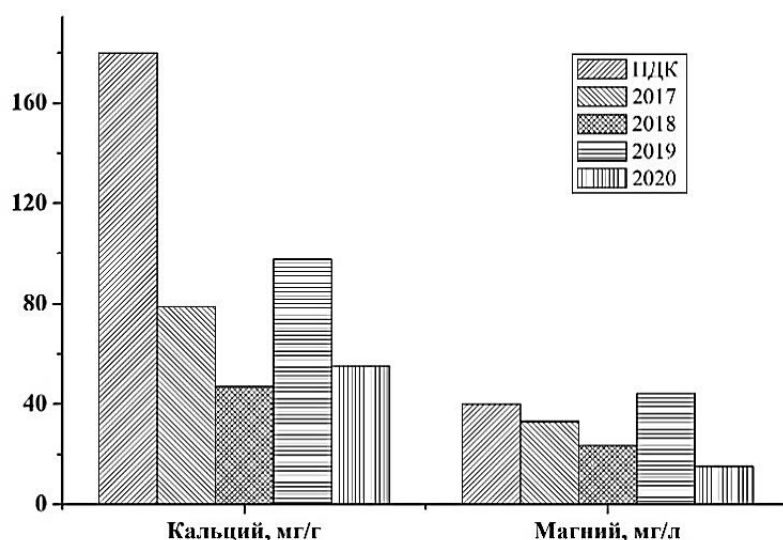
На рисунках 1 и 2 показано содержание тяжелых металлов с 2017 по 2020 год в реке Рубас и их ПДК.



А



Б



В

Рис. 1. Изменение содержания ионов металлов в реке Рубас по годам: А – содержание общего железа, марганца (II), меди (II) и никеля (II), Б – содержание общего хрома, свинца и цинка, В – магния и кальция

Как видно из рисунка 1, в 2017 году среднегодовая концентрация двухвалентной меди превышает ПДК в 1,6 раза. В 2018 году среднегодовая концентрация двухвалентного марганца в 3 раза превышает ПДК, а цинка – в 1,5 раза. В 2019 году наблюдается превышение ПДК магния – в 1,1 раза, марганца – в 3 раза, меди – в 3,8 раза, цинка – в 1,35 раза. Превышение предельно- допустимых концентраций наблюдается у следующих элементов в 2020 году: никеля – в 1,3 раза, цинка – в 9 раз, марганца – в 2,5 раза.

Содержание свинца в воде реки Рубас не превышает норм ПДК, но в целом по сравнению с 2017 годом идет увеличение его содержания.

В 2018 году наблюдается превышение ПДК по общему железу в 1,1 раза.

Почти по всем анализируемым элементам идет увеличение их содержания по сравнению с 2017 годом.

Уровень загрязнения речных вод опасными тяжелыми металлами можно оценить по кратности превышения ПДК и критериям высокого (ВЗ) и экстремально высокого (ЭВЗ) уровней загрязнения воды. Для веществ 1 и 2-го классов опасности уровень высокого загрязнения соответствует превышению ПДК в 3–5 раз, экстремально высокого загрязнения – превышению ПДК в 5 и более раз. Низкий уровень загрязненности для веществ 1 и 2-го классов опасности – превышение ПДК в 1,2 раза и более, средний уровень загрязненности – превышение ПДК в 2,3–3 раза.

Для веществ 3 и 4-го классов опасности низкий уровень загрязненности соответствует превышению ПДК в 1,2–2,1 раза, средний уровень загрязненности – превышение ПДК в 2,1–10,5 раза.

Так, в 2019 году в реке Рубас уровень загрязнения по ионам меди был высоким. А в 2020 году уровень загрязнения по ионам цинка – экстремально высоким.

Были рассчитаны ИЗВ за 2017–2020 годы. Для этого дополнительно проводился мониторинг растворенного кислорода и БПК₅ исследуемых водоемов в данный

промежуток времени. Помимо перечисленных параметров для расчета ИЗВ были взяты средние концентрации по годам никеля, цинка, марганца (II) и меди.

По полученным данным построен график изменения ИЗВ по годам.

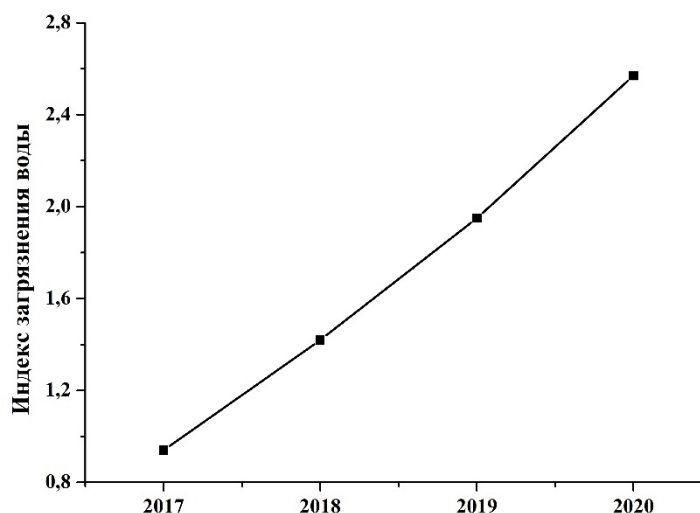


Рис. 2. ИЗВ реки Рубас в период с 2017 по 2020 гг.

Как видно из рисунка 2, ИЗВ реки Рубас растет с каждым годом. В 2017 г. вода реки Рубас относилась ко второму классу качества – «чистая», уже в 2018 и 2019 гг. – к третьему классу – «умеренно загрязненная», а в 2020 году – к четвертому классу – «загрязненная».

Выводы

Результаты оценки многолетней изменчивости содержания тяжелых металлов в водной среде могут быть использованы при разработке мероприятий по улучшению качества воды и восстановлению состояния речных экосистем, оценке антропогенной нагрузки, идентификации локальных загрязнений и т. п. Оценка уровня загрязнения вод реки Рубас показала превышение ПДК по многим тяжелым металлам.

В 2019 году в реке Рубас уровень загрязнения по ионам меди был высоким. А в 2020 году уровень загрязнения по ионам цинка – экстремально высоким. По ионам марганца (II) в 2018, 2019, 2020 годах – средний уровень загрязненности

Как показали исследования, индекс загрязнения вод реки Рубас растет с каждым годом. В реке Рубас класс качества воды изменился – из «чистой» воды в 2017 году он превратился в «загрязненную» в 2020 году.

Литература

1. Ашурбекова Т.Н., Гаджимусаева З.Г., Шерифова Л.Л. Анализ качества воды Республики Дагестан и экологическая обстановка // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4–5 (46). – С. 12–13.
2. Абдулкаримова А.М. Экологическая ситуация в Республике Дагестан // Сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции «Экология и

безопасность жизнедеятельности». – Пенза: Изд-во Пензенского государственного аграрного университета, 2018. – С. 1–9.

3. *Абдулкаримова А.М.* Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития Республики Дагестан // Проблемы устойчивого развития горных районов Северного Кавказа в условиях глобальных изменений: исследования и практика; Материалы Международной научно-практической конференции (г. Грозный, 12–14 октября 2014 г.) / отв. ред. У.Т. Гайрабеков. – Грозный: Чеченский государственный университет им. Ахмата Кадырова, 2014. – С. 34–38.

4. «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 02.07.2021).

5. *Тихонова И.О., Кручинина Н.Е., Десятов А.В.* Экологический мониторинг водных объектов: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии». – М.: ИНФРА-М, 2012. – 151 с.: ил., табл. – (Высшее образование). ISBN 978-5-91134-666-9.

6. *Чигоева Д.Н., Каманина И.З., Каплина С.П.* Содержание тяжелых металлов в водотоках в районе Унальского хвостохранилища и реки Ардон // Юг России: экология, развитие. 2018. № 2. – С. 113–122.

7. *Чуйко Е.В., Абдусаматов А.С.* Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия // Юг России: экология, развитие. 2013. № 3. – С. 110–116.

8. *Буфетова М.В.* Загрязнение вод Азовского моря тяжелыми металлами // Юг России: экология, развитие. 2015. № 3. – С. 112–120.

9. Recent insights on uncertainties present in integrated catchment water quality modeling / *Tscheikner-Gratl F. et al.* // Water research. 2019. Vol. 150. – Pp. 368–379.

10. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses / *Kumar V. et al.* // Chemosphere. 2019. Vol. 236. – Pp. 124364.

11. *Тихоненкова Л.А., Филипенко С.И., Филипенко Е.Н.* Влияние теплоэлектростанции на загрязнение металлами донных отложений Кучурганского водохранилища-охлаждителя Молдавской ГРЭС // Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 1: Естественные науки. 2022. Т. 37, вып. 2. – С. 42–55.

12. ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

13. Рекомендаций Р 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод».

14. *Протасов В.Ф.* Экология здоровья и окружающей среды в России. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 358 с.

15. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – 49 с.

16. *Глотова Н.В.* Мониторинг среды обитания: учебное пособие к практическим занятиям. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 22 с.

Поступила в редакцию 21 февраля 2023 г.

UDC 504.4.054

DOI: 10.21779/2542-0321-2023-38-1-66–74

The Monitoring of the Rubas River Heavy Metal Pollution

Sh.G. Ammaeva, F.G. Gasanova, A.Ya. Gadzhieva, A.B. Isaev

*Dagestan State University; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a;
shanaza@mail.ru*

The article presents the information on the content of ions of copper (II), iron (II), iron (III), cadmium, calcium, cobalt (II), magnesium, manganese (II), strontium, arsenic (III), nickel (II), lead (II), Cr (VI), chromium (III) in the Rubas River for the period from 2017 to 2020. The monitoring of the water body was carried out at the mouth of the river on the highway "Kavkaz" in the surface layer at hydrological posts for monitoring water quality. The concentration of heavy metal ions was determined by the atomic absorption method. The correspondence of the content of heavy metal ions in the Rubas River with the maximum permissible concentrations in the water of water bodies has been established. The water pollution indices (WPI) have been calculated. The conclusions are drawn about the level of the river pollution with heavy metals.

Keywords: heavy metal ions, Rubas river, water pollution index (WPI), maximum allow-able concentration (MPC).

Received 21 February 2023