

УДК 504.45 : 556 : 628.1

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-5-76-85

© М. В. Обухова, канд. техн. наук, доцент
© Ю. А. Иванюшин, канд. техн. наук, доцент
(Тюменский индустриальный университет,
Тюмень, Россия)

E-mail: obuhovamv@tyuiu.ru, ivanjushinja@tyuiu.ru

© M. V. Obuhova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© Yu. A. Ivanyushin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Industrial University of Tyumen,
Tyumen, Russia)

E-mail: obuhovamv@tyuiu.ru, ivanjushinja@tyuiu.ru

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОД РЕКИ ТУРА

LONG-TERM DYNAMICS OF THE WATER QUALITY OF THE TURA RIVER

В статье представлено физико-географическое описание реки Тура, водопользование в бассейне реки, анализ многолетних данных о химическом составе воды. В результате выполненного анализа данных установлено, что качество воды остается стабильно низким. Загрязняющими веществами являются: органические вещества, аммонийный азот, марганец, фенолы, фосфаты, нитриты, никель, медь, железо, свинец и ртуть. Основной причиной этих негативных изменений можно считать значительную антропогенную нагрузку на всем протяжении реки в результате деятельности человека в Свердловской и Тюменской областях, в том числе значительные объемы изъятия речной воды.

Ключевые слова: качество поверхностных вод, загрязняющие вещества, мониторинг.

The paper presents a physiographic and geographic description of the Tura River, water use in the river basin, and analysis of long-term data on the chemical composition of water. As a result of the performed data analysis, it has been found out that the water quality remains consistently low. Pollutants are: organic substances, ammonium nitrogen, manganese, phenols, phosphates, nitrites, nickel, copper, iron, lead and mercury. The main reason for these negative changes can be considered a significant anthropogenic load along the entire length of the river as a result of human activity in the Sverdlovsk and Tyumen regions, including significant volumes of river water withdrawal.

Keywords: surface water quality, pollutants, monitoring.

Введение

На сегодняшний день город Тюмень является динамично развивающимся мегаполисом России. Последние два десятилетия численность населения неуклонно растет, так, например, по официальным статистическим данным в период с 2017 по 2023 гг. население выросло на 111 064 чел. (или на 12,9 %) и достигло 855 618 чел.¹. При этом по итогам социально-экономического развития Тюмени за 1 кв. 2023 г. выросли объемы промыш-

ленного производства (индекс промышленного производства составил 109,3 % к уровню 2022 года), в 2 раза в сравнении с 2022 г. увеличилась площадь введенных в эксплуатацию жилых домов².

Развитие региона невозможно без наличия в достаточном объеме природных ресурсов, важнейшим из которых является природная вода [1, 2]. Вся система жизнеобеспечения человека построена на технологиях, использующих воду: производство

¹ Демографические показатели // Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, ХМАО-Югре и ЯНАО: официальный сайт. 2024. URL: https://72.rosstat.gov.ru/ofs_demp_ug (дата обращения: 14.04.2024).

² Итоги социально-экономического развития города // Администрация города Тюмени: официальный портал. 2023. URL: <https://clck.ru/3A6rFu> (дата обращения: 14.04.2024).

продовольствия [3–5]; выпуск промышленной продукции [6, 7]; получение энергии [8, 9]; бытовое водопотребление [10]; удовлетворение санитарно-гигиенических потребностей и другие [11]. Неудивительно, что активный экономический и демографический рост приводит к увеличению изъятия водных ресурсов и возрастанию антропогенной нагрузки [12] на природные водные объекты как в Тюменской области, так и в России, и в мире в целом [13]. Поэтому мониторинг и оценка изменения качества вод реки Тура являются актуальной природоохранной задачей для Тюменского региона.

Объектом исследования являются воды реки Тура в границах Тюменской области, предмет исследования — качественный состав речной воды. Цель работы — оценка изменений химического состава вод реки Тура на основании данных многолетних наблюдений качества речной воды.

Материалы и методы

Материалы исследования — многолетние данные о химическом составе речной воды (за период 2013–2022 гг.) по месяцам года, полученные наблюдательной сетью ООО «Тюмень Водоканал» в границах города Тюмени.

Методы исследования:

- статистическая обработка: на основании предоставленных ООО «Тюмень Водоканал» многолетних данных по фоновым концентрациям загрязняющих веществ по месяцам за период с 2013 по 2022 гг. были определены среднегодовые концентрации веществ в водах реки Тура в границах города Тюмени (см. таблицу);
- графические построения: на основании полученных среднегодовых данных построены и проанализированы графики содержания загрязняющих веществ с 2013 по 2022 гг. Выполнено сравнение с нормативными значениями ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (рис. 2–18).

Результаты

1. Физико-географические условия

Река Тура³ протекает в Свердловской и Тюменской областях России, является самым длинным и вторым по водоносности притоком Тобола (бассейн Иртыша) (рис. 1). Река берет начало в горах Северного Урала. Ее длина 1030 км, площадь водосборного бассейна — 80,4 тыс. км². Основные притоки

³ Качество поверхностных вод Российской Федерации: Ежегодник 2011 / под ред. член-корреспондента РАН А. М. Никанорова. Ростов-на-Дону: ФГБУ «Гидрохимический институт», 2024. 546 с.



Рис. 1. Карта-схема бассейна реки Тура. Автор А. В. Сафронов. URL: <https://clck.ru/3D3JLJ>

Данные качества воды в реке Тура в границах г. Тюмени

Загрязняющие вещества (среднегодовые значения)	Годы										ПДК*	Класс опасности
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
Алюминий, мг/дм ³	-	-	-	-	-	-	0,035	0,051	0,044	0,043	0,04	4
АПВ, мг/дм ³	0,05	0,029	0,031	0,027	0,029	0,027	0,03	0,053	0,025	0,027	0,1	-
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	2,04	1,40	2,08	2,24	2,57	1,69	2,31	2,43	2,59	2,45	2,1	-
Взвешенные вещества, мг/дм ³	7,88	3,45	10,63	6,97	7,34	8,10	12,43	10,00	7,08	13,69	0,25-0,75+фон	-
Железо, мг/дм ³	1,34	1,87	2,11	1,44	1,53	1,80	1,64	1,67	1,07	1,28	0,1	4
Ионы аммония, мг/дм ³	1,90	2,04	0,93	0,59	0,84	0,97	1,06	0,70	0,89	1,29	0,5	4
Марганец, мг/дм ³	0,24	0,28	0,25	0,30	0,33	0,38	0,19	0,30	0,21	0,34	0,01	4
Медь, мкг/дм ³	5,08	3,89	8,04	4,39	5,88	5,17	0,717	0,01	0,04	0,004	0,001	3
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,083	0,065	0,038	0,033	0,032	0,035	0,045	0,026	0,023	0,028	0,05	3
Никель, мкг/дм ³	5,35	10,16	4,14	0,639	3,57	6,05	0,835	0,015	0,009	0,006	0,01	3
Нитриты, мг/дм ³	0,16	0,12	0,04	0,07	0,16	0,16	0,20	0,125	0,20	0,24	0,08	4э
Ртуть, мг/дм ³	-	-	-	-	-	-	0,012	0,019	0,072	0,424	0,00001	1
Свинец, мкг/дм ³	<1,0 (0,86)	<1,0 (0,61)	<1,0 (0,09)	<1,0 (0,73)	<1,0 (0,61)	<1,0 (0,08)	<1,0 (0,21)	<1,0 (0,17)	<1,0 (0,004)	<1,0 (0,003)	0,006	2
Сульфаты, мг/дм ³	47,43	37,16	23,50	25,67	33,87	24,61	17,63	20,7	29,9	34,11	100,0	-
Фенолы, мкг/дм ³	1,80	0,905	1,19	0,88	1,00	0,998	2,63	0,58	0,0006	0,0006	0,001	-
Фосфаты, мг/дм ³	-	-	-	-	-	-	0,34	0,6	0,204	0,243	0,2**	4э
Хлориды, мг/дм ³	23,66	20,07	17,94	20,64	18,50	17,32	17,70	15,85	24,85	25,02	300,0	4
Хлорорганические пестициды (ДДТ, γ-ГХЦГ), мкг/дм ³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,00	1
ХПК, мгО ₂ /дм ³	51,20	61,73	48,84	39,56	43,24	54,97	62,16	50,73	38,49	42,56		-
Цинк, мг/дм ³	0,02	0,034	0,015	0,02	0,023	0,018	0,024	0,05	0,013	0,09	0,01	3

ПДК* — нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения в соответствии с приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 522 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»; 0,2** — для эвтрофных водоемов.

Туры: Салда, Тагил, Ница, Пышма, Актай, Ис. Русло реки извилистое, шириной 100–200 м, глубиной от 2 до 14 м. Река имеет медленную скорость течения (0,1–0,6 м/с). Высотные отметки истока реки — 416 м, устья — 42,2 м над уровнем моря. В верхней части русло реки сформировано горными породами, в низовьях — осадочными. Тура покрывается льдом в ноябре, а вскрывается во второй половине апреля. Питание преимущественно снеговое и дождевое.

По химическому составу вода гидрокарбонатно-кальциевая. Водородный

показатель pH — около 7,0; вода мягкая. Среднегодовая концентрация кислорода в воде — 8,5 мг/л, зимой — 2,0–3,0 мг/л. Запах воды составляет до 2 баллов, цветность зимой — 30–60 град., летом — 140–160 град.

Река Тура загрязнена на всем своем протяжении. Главным источником поступления загрязняющих веществ является территория Свердловской области [14]. Основные загрязнения [15–23]: органические вещества, аммонийный азот, нефтепродукты, фенолы, медь, железо, повышенное содержание ионов сульфатов. Притоки Туры,

протекающие в черте города Тюмени, также загрязнены.

На всем протяжении реки отмечаются процессы эвтрофикации, которые могут приводить к «цветению» и ухудшению качества воды, появлению анаэробных зон, нарушению природного равновесия в реке. Из-за медленного течения часть загрязняющих веществ аккумулируется на дне, способствуя вторичному загрязнению водоема. Высокая заболоченность бассейна реки способствует повышенному содержанию органических веществ в воде [24].

2. Водопользование

Освоение Сибири осуществлялось в том числе при помощи водного пути Туры, в связи с чем и сам бассейн реки получил значительное развитие. От истока к устью расположены следующие города [25]: Верхняя Тура, Нижняя Тура, Лесной, Верхотурье, Туринск и Тюмень (см. рис. 1). Построены три водохранилища площадью 23 км², Верхотурская ГЭС. Возведение этих гидротехнических сооружений привело к изменению режима реки. В ее бассейне на территории Свердловской области расположено 14 населенных пунктов, в которых имеются 39 крупных промышленных предприятий. Забор воды из поверхностных водных объектов в бассейне реки составляет более 910 млн м³/год, при этом 72,7 % приходится на реку Тура.

Тура является основным источником водоснабжения промышленности и населения города Тюмени, а также объектом рекреации⁴. Город расположен в нижнем течении реки Туры, в 182 км от устья.

Водообеспечение города Тюмени осуществляется от двух независимых источников водоснабжения: поверхностного водозабора на реке Тура в районе Метелева (около 60 % от общего объема водообеспечения) и подземного водозабора в районе п. Карегинский Нижнетавдинского района Тю-

менской области (около 40 %) [24]. Крупные потребители воды в Тюмени (предприятия): ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, ООО «Тюмень Водоканал», ПАО «СУЭНКО».

Изъятие речного стока для использования в различных сферах деятельности и возврат сточных вод в природные водоисточники являются наиболее мощным антропогенным фактором, влияющим на качество речной воды [26].

3. Многолетний мониторинг качества вод в реке Тура, г. Тюмень

В таблице показаны многолетние среднегодовые значения содержания загрязняющих веществ в водах реки Тура в пределах города Тюмени, а также нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения.

По данным таблицы построены графики изменения среднегодовых концентраций загрязняющих веществ и сопоставлены с ПДК рыбохозяйственного использования вод (рис. 2–18).

Обсуждение

В ходе выполненного исследования были выявлены следующие особенности качества вод реки Тура в границах Тюменской области:

1. Река испытывает значительную антропогенную нагрузку в результате хозяйственной деятельности человека в Свердловской и Тюменской областях в части сброса загрязняющих веществ и забора воды для водоснабжения населения и промышленных предприятий. Устройство гидротехнических сооружений в верховье реки привело к изменению режима и замедлению скорости течения, что способствует отложению загрязнений на дне реки и вторичному ее загрязнению. На всем протяжении реки наблюдаются процессы эвтрофикации.

2. Анализ многолетних данных качества воды в реке Тура в границах города Тюмени показал превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения по алюми-

⁴ Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году // Правительство Тюменской области: официальный сайт. 2023. URL: <https://clck.ru/3A55LY> (дата обращения: 14.04.2024).

Условные обозначения: — ПДК водоемов рыбохозяйственного значения

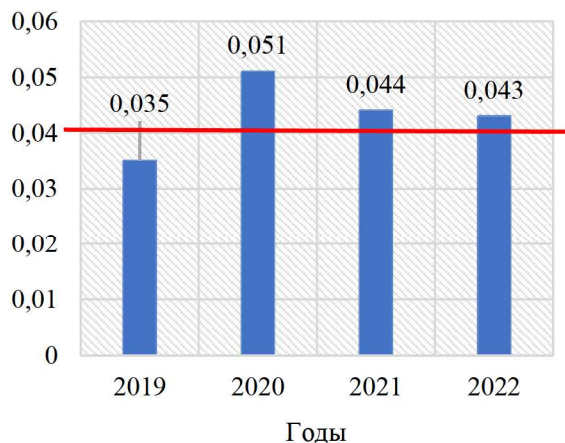


Рис. 2. Среднегодовая концентрация алюминия, мг/дм³

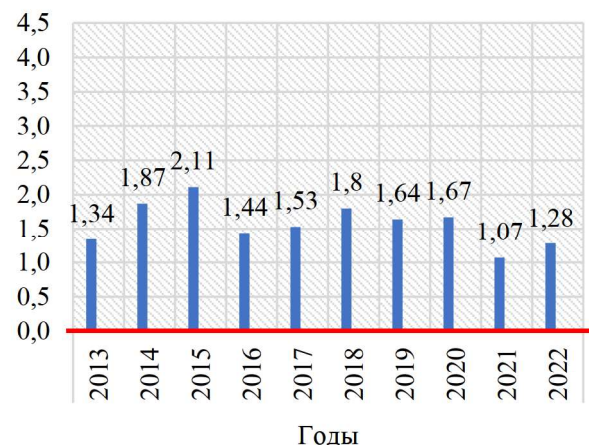


Рис. 5. Среднегодовая концентрация железа, мг/дм³

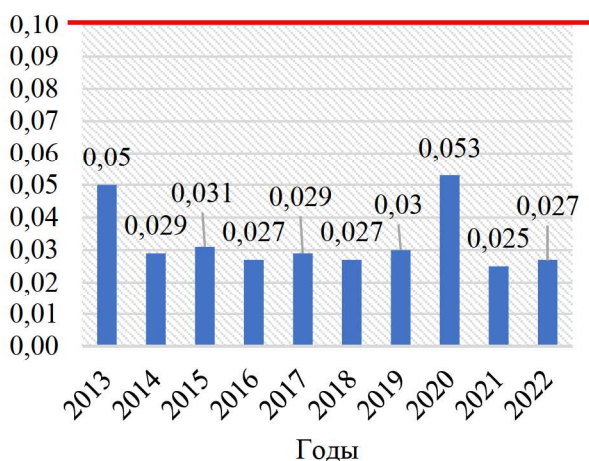


Рис. 3. Среднегодовая концентрация АПАВ, мг/дм³

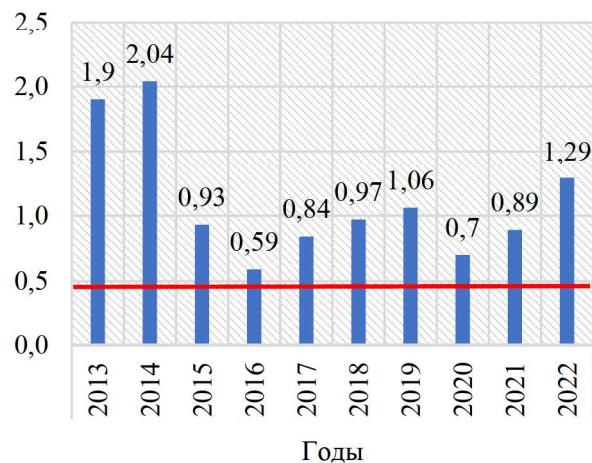


Рис. 6. Среднегодовая концентрация ионов аммония, мг/дм³

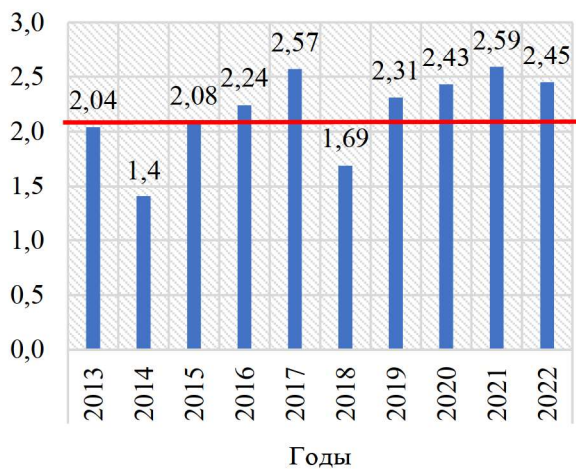


Рис. 4. Среднегодовая концентрация BPKy, мг/дм³

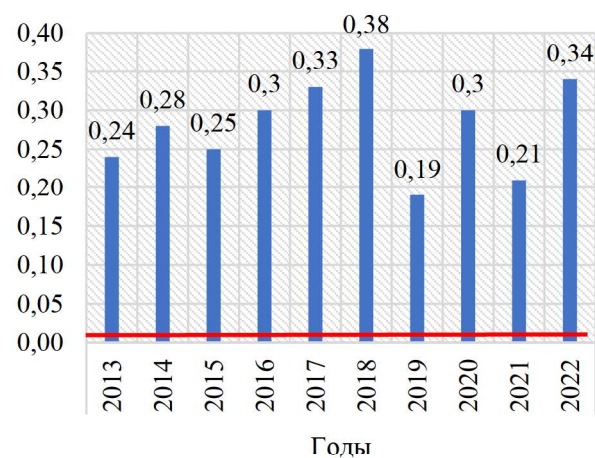


Рис. 7. Среднегодовая концентрация марганца, мг/дм³

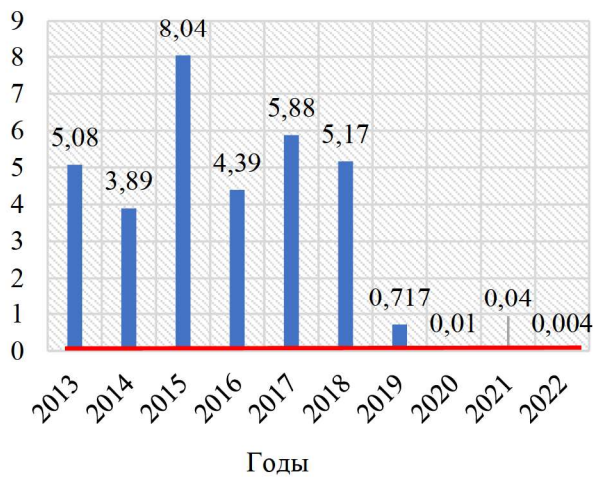


Рис. 8. Среднегодовая концентрация меди, мкг/дм³

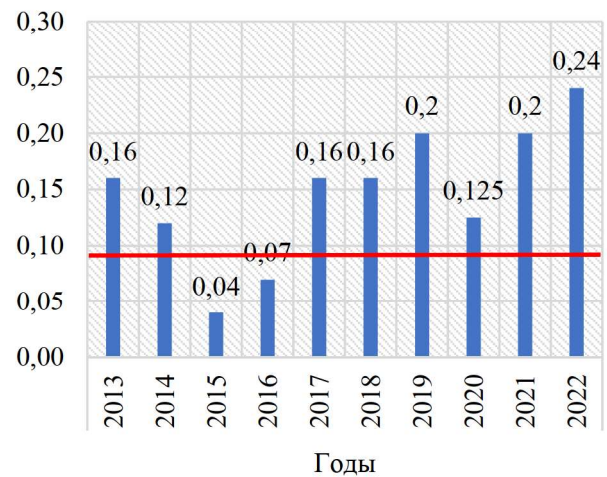


Рис. 11. Среднегодовая концентрация нитритов, мг/дм³

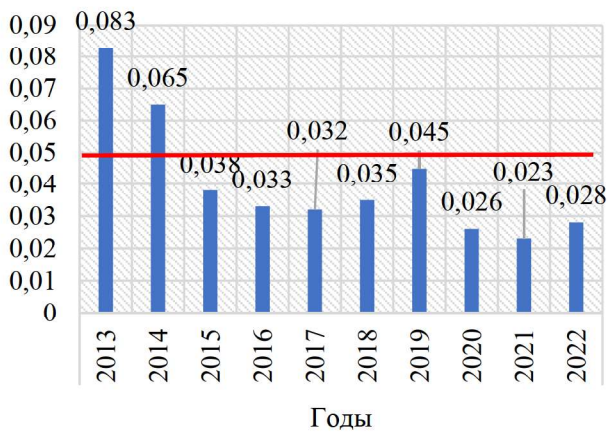


Рис. 9. Среднегодовая концентрация нефтепродуктов, мг/дм³

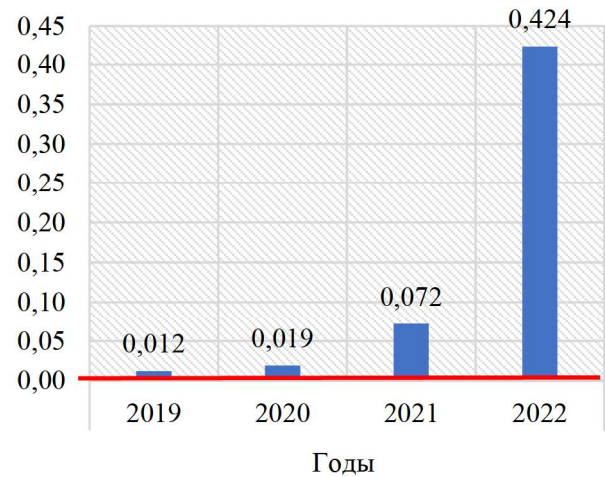


Рис. 12. Среднегодовая концентрация ртути, мг/дм³

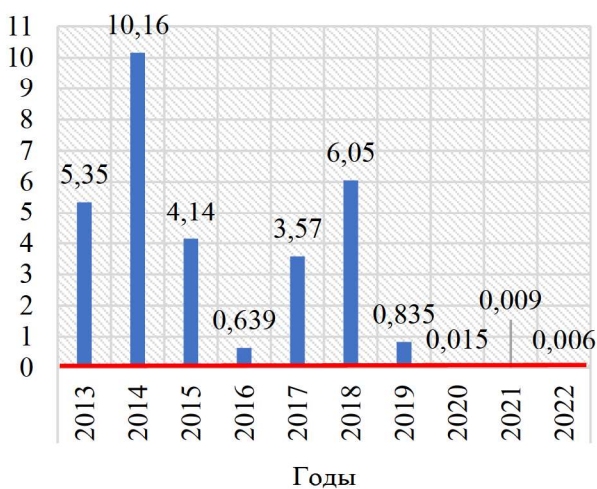


Рис. 10. Среднегодовая концентрация никеля, мг/дм³

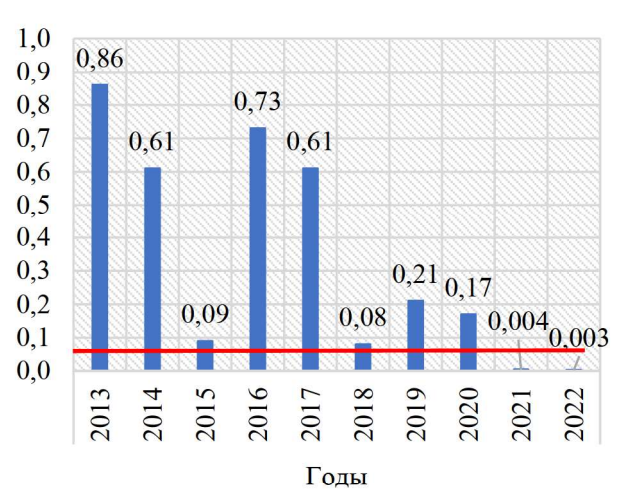


Рис. 13. Среднегодовая концентрация свинца, мкг/дм³



Рис. 14. Среднегодовая концентрация сульфатов, мг/дм³

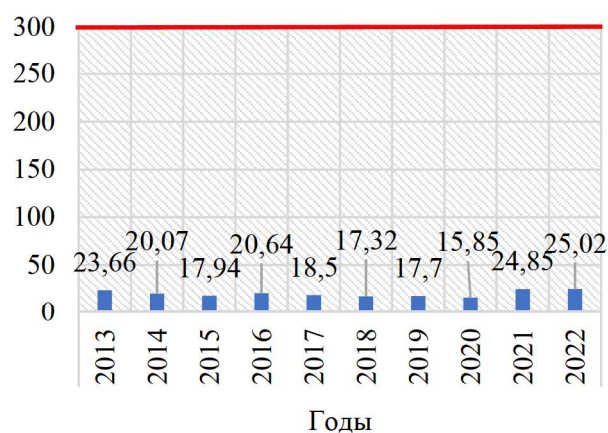


Рис. 17. Среднегодовая концентрация хлоридов, мг/дм³

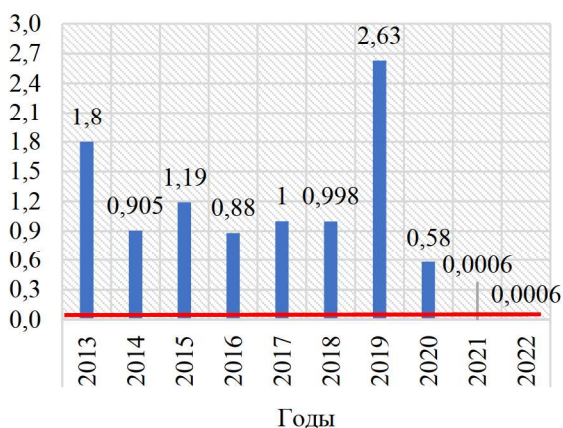


Рис. 15. Среднегодовая концентрация фенолов, мкг/дм³

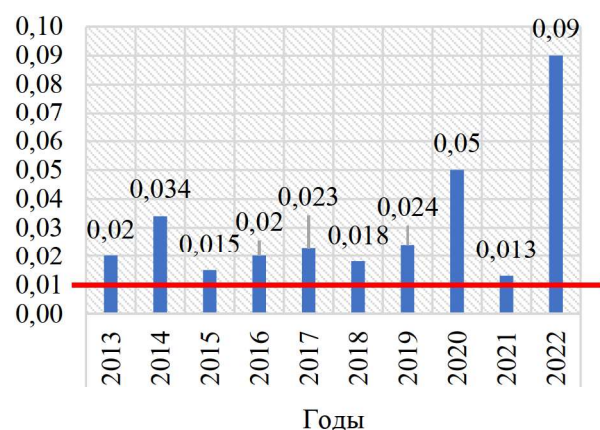


Рис. 18. Среднегодовая концентрация цинка, мг/дм³

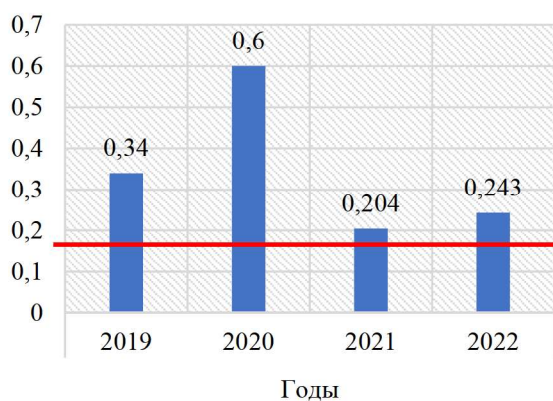


Рис. 16. Среднегодовая концентрация фосфатов, мг/дм³

нию, органическим веществам (БПК₅), железу, меди, никелю, свинцу, ртути, фенолам, фосфатам, цинку, хлорорганическим пестицидам, нефтепродуктам, марганцу и свинцу.

Выводы

По результатам мониторинга качества вод реки Тура в границах Тюменской области в период с 2013 по 2022 гг. определено, что река испытывает значительную антропогенную нагрузку и загрязнена на всем протяжении. Очевидно, что низкое качество природных вод наносит ущерб здоровью населения, окружающей природной среде и экономике региона: увеличиваются затраты на очистку природной воды до питьевого качества, наносится ущерб рыболовству и туризму.

Для улучшения качества вод реки Тура могут быть рекомендованы следующие природоохранные мероприятия: расширение национального проекта «Экология» в сфере экологического оздоровления не только уни-

кальных водных объектов, но и средних и малых рек России, таких как Тура; совершенствование мониторинга состояния водных объектов для учета загрязнения рек от диффузных источников; модернизация систем очистки сточных вод, поступающих от крупных населенных пунктов и промышленных предприятий; строительство новых очистных сооружений в малых поселениях и селах; разработка экономических и административных мер для стимулирования водопользователей к рациональному использованию природных вод и снижению сброса неочищенных сточных вод.

Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при разработке эффективных природоохранных мероприятий в Тюменской области, направленных на улучшение качества воды в реке, а также при планировании рациональной хозяйственной деятельности.

Библиографический список

1. Responsibility for sustainable water consumption in the global supply chains / *M. Motoshita, S. Pfister, T. Sasaki* et al. // *Resources, Conservation and Recycling*. 2023. Vol. 196. P. 107055. DOI 10.1016/j.resconrec.2023.107055.
2. *Sahoo S., Goswami S.* Theoretical framework for assessing the economic and environmental impact of water pollution: A detailed study on sustainable development of India // *Journal of Future Sustainability*. 2024. Vol. 4, № 1. Pp. 23–34. DOI 10.5267/j.jfs.2024.1.003.
3. Food security under water scarcity: a comparative analysis of Egypt and Jordan / *M. Christoforidou, G. Borghuis, C. Seijger* et al. // *Food Security*. 2023. Vol. 15. № 1. Pp. 171–185. DOI 10.1007/s12571-022-01310-y.
4. Water use in global livestock production – opportunities and constraints for increasing water productivity / *J. Heinke, M. Lannerstad, D. Gerten* et al. // *Water Resources Research*. 2020. Vol. 56. № 12. P. e2019WR026995. DOI 10.1029/2019WR026995.
5. *Zahoor I., Mushtaq A.* Water pollution from agricultural activities: a critical global review // *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2023. Vol. 23. № 1. Pp. 164–176.
6. *Conejo A. N., Birat J.-P., Dutta A.* A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain // *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 259. P. 109782. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109782.
7. Multi-criteria decision making for sustainability assessment of boxboard production: A life cycle perspective considering water consumption, energy consumption, GHG emissions, and internal costs / *Y. Man, Y. Han, Y. Liu* et al. // *Journal of environmental management*. 2020. Vol. 255. P. 109860. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109860.
8. *Chen L., Wemhoff A. P.* Assessing the impact of electricity consumption on water resources in the U.S. // *Resources, Conservation and Recycling*. 2022. Vol. 178. P. 106087. DOI 10.1016/j.resconrec.2021.106087.
9. *Henry A., Prasher R., Majumdar A.* Five thermal energy grand challenges for decarbonization // *Nature Energy*. 2020. Vol. 5, № 9. Pp. 635–637. DOI 10.1038/s41560-020-0675-9.
10. *Abu-Bakar H., Williams L., Hallett S. H.* A review of household water demand management and consumption measurement // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 292. P. 125872. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.125872.
11. *Мани М. А., Митина Н. Н.* Вода из воздуха: частичное решение проблемы дефицита воды с помощью газотурбинных электростанций на нефтегазовых месторождениях // *Деловой журнал Neftegaz.RU*. 2023. № 5. С. 90–95.
12. Determining the effect of anthropogenic loading on the environmental state of a surface source of water supply / *R. Ponomarenko, L. Plyatsuk, L. Hurets* et al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3. № 10 (105). Pp. 54–62.
13. *Данилов-Данильян В. И.* Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. 88 с.
14. *Переладова Л. В.* Экологическое состояние источников хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Тюмени // *Вестник Тюменского государственного университета. Серия: Экология*. 2011. № 12. С. 173–178.
15. *Chistyakova N. F., Sindireva A. V.* Features of the chemical composition of the surface waters of the Tura river under conditions of anthropogenic and technogenic impact // *Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в Северо-Восточной Азии: тезисы докладов V Междунар. науч. конф. (23–26 августа 2022)*. Иркутск, 2022. Pp. 93–93.
16. *Kryakhtunov A. V.* Dynamics of changes in the concentration of oil products in the Tura river within the residential area of the large oil capital of Russia // *Journal of ecological engineering*. 2021. № 22 (11). Pp. 223–229. DOI 10.12911/22998993/143288.
17. *Артеменко С. В., Петухова Г. А.* Особенности экологического состояния малых и больших рек бас-

сейна Иртыша на территории Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1, № 3 (3). С. 54–59.

18. Вершинская М. Е., Шабанов В. В., Маркин В. Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных систем. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 148 с.

19. Переладова Л. В., Свирепов С. С. Особенности формирования химического состава и качества вод р. Тура и ее притоков в пределах территории города Тюмень // Актуальные проблемы обеспечения устойчивого развития Тюменского региона: материалы 68-й студ. науч. конф. (Тюмень, 20 апреля 2017 г.). Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2017. С. 79–85.

20. Проничева К. А., Гаевая Е. В. Оценка качества поверхностных вод реки Тура города Тюмени // Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна: материалы Национальной науч. конф. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2020. С. 544–547.

21. Тимонин Г. В. Мониторинг накопления нефтепродуктов в реке Тура в пределах городской территории // Фундаментальные и прикладные исследования в науке и образовании: сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Оренбург, 14.04.2021). Стерлитамак: ООО «АМИ», 2021. С. 16–20.

22. Экосистема реки Туры в XXI веке. Часть I. Ретроспектива / Л. В. Михайлова, А. К. Матковский, Е. А. Исаченко-Боме [и др.] // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3, № 3 (11). С. 33–54.

23. Жулин А. Г., Белова Л. В., Семенов П. А. Влияние железа в речной воде на технологию очистки // Архитектура, строительство, транспорт. 2024. № 2. С. 84–95. DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-84-94.

24. Качалова Г. С. Анализ изменения показателей качества воды от водозабора до потребителя // Успехи современного естествознания. 2022. № 2. С. 66–70. DOI 10.17513/use.37780.

25. Исторические водные пути Севера России (XVII–XX вв.) и их роль в изменении экологической обстановки. Экспедиционные исследования: состояние, итоги, перспективы / В. А. Низовцев, А. В. Постников, В. А. Снытко [и др.]. М.: Типография «Парадиз», 2009. 298 с.

26. Современное состояние и динамика качества воды р. Клязьма / Н. А. Лямперт, И. П. Ничипорова, Е. Е. Лобченко, О. А. Первышева // Успехи современного естествознания. 2022. № 3. С. 104–110. DOI 10.17513/use.37800.

References

1. Motoshita M., Pfister S., Sasaki T., et al. Responsibility for sustainable water consumption in the global supply

chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 2023, vol. 196, p. 107055. DOI 10.1016/j.resconrec.2023.107055.

2. Sahoo S., Goswami S. Theoretical framework for assessing the economic and environmental impact of water pollution: A detailed study on sustainable development of India. *Journal of Future Sustainability*, 2024, vol. 4, no. 1, pp. 23–34. DOI 10.5267/j.jfs.2024.1.003.

3. Christoforidou M., Borghuis G., Seijger C. et al. Food security under water scarcity: a comparative analysis of Egypt and Jordan. *Food Security*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 171–185. DOI 10.1007/s12571-022-01310-y.

4. Heinke J., Lannerstad M., Gerten D. et al. Water use in global livestock production - opportunities and constraints for increasing water productivity. *Water Resources Research*, 2020, vol. 56, no. 12. Pe2019WR026995. DOI 10.1029/2019WR026995.

5. Zahoor I., Mushtaq A. Water pollution from agricultural activities: a critical global review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 164–176.

6. Conejo A. N., Birat J.-P., Dutta A. A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 259, p. 109782. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109782.

7. Man Y., Han Y., Liu Y., et al. Multi-criteria decision making for sustainability assessment of boxboard production: A life cycle perspective considering water consumption, energy consumption, GHG emissions, and internal costs. *Journal of environmental management*, 2020, vol. 255, p. 109860. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109860.

8. Chen L., Wemhoff A. P. Assessing the impact of electricity consumption on water resources in the U.S. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, vol. 178, p. 106087. DOI 10.1016/j.resconrec.2021.106087.

9. Henry A., Prasher R., Majumdar A. Five thermal energy grand challenges for decarbonization. *Nature Energy*, 2020, vol. 5, no. 9, pp. 635–637. DOI 10.1038/s41560-020-0675-9.

10. Abu-Bakar H., Williams L., Hallett S. H. A review of household water demand and consumption management. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 292, p. 125872. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.125872.

11. Mani M. A., Mitina N. N. Voda iz vozdukh chastichnoe reshenie problemy defitsita vody s pomoshch'yu gazoturbinnikh elektrostansiy na neftegazovykh mestorozhdeniyakh [Water from air as a partial solution of water deficit problem by means of gas turbine power plants at oil and gas fields]. *Delovoy zhurnal NeftegazRU – Business Journal NeftegazRU*, 2023, no. 5, pp. 90–95.

12. Ponomarenko R., Plyatsuk L., Hurets L., et al. Determining the effect of anthropogenic loading on the environmental state of a surface source of water supply.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, vol. 3, no. 10 (105), pp. 54–62.

13. Danilov-Daniil'yan V. I. *Vodnye resursy mira i perspektivy vodokhozyaystvennogo kompleksa Rossii* [Water Resources of the World and Prospects of Water Management Complex of Russia]. Moscow, Tipografiya LEVKO Publ., Institut ustoychivogo razvitiya. Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii, 2009, 88 p.

14. Pereladova L. V. *Ekologicheskoe sostoyanie istochnikov khozyaystvenno-pit'evogo vodosnabzheniya g. Tyumeni* [Ecological state of sources of economic and drinking water supply in Tyumen]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekologiya – Bulletin of the Tyumen State University. Series: Ecology*, 2011, no. 12, pp. 173–178.

15. Chistyakova N. F., Sindireva A. V. *Features of the chemical composition of the surface waters of the Tura river under conditions of anthropogenic and technogenic impact*. In: «Resursy, okruzhayushchaya sreda i regional'noe ustoychivoe razvitie v Severo-Vostochnoy Azii». *Trudy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* (23-26 avgusta 2022) [In: “Resources, Environment and Regional Sustainable Development in North-East Asia”. *Proceedings of the V International Scientific Conference* (August 23–26, 2022)]. Irkutsk, 2022, pp. 93–93.

16. Kryakhtunov A. V. *Dynamics of changes in the concentration of oil products in the Tura river within the residential area of the large oil capital of Russia* *Journal of ecological engineering*, 2021, no. 22 (11), pp. 223–229. DOI 10.12911/22998993/143288.

17. Artemenko S. V., Petukhova G. A. *Osobennosti ekologicheskogo sostoyaniya malyykh i bol'shikh rek basseyna Irtysha na territorii Tyumenskoy oblasti* [Features of the ecological state of small and large rivers of the Irtysh basin on the territory of the Tyumen region]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodnopol'zovanie – Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and Nature Management*, 2015, vol. 1, no. 3 (3), pp. 54–59.

18. Vershinskaya M. E., Shabanov V. V., Markin V. N. *Ekologo-vodokhozyaystvennaya otsenka vodnykh sistem: monografiya* [Ecological and water management assessment of water systems. Monograph]. Moscow, RGAU-MSKha Publ., 2016, 148 p.

19. Pereladova L. V., Svirepov S. S. *Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava i kachestva vod r. Tura i ee pritokov v predelakh territorii goroda Tyumen'* [Features of formation of chemical composition and water quality of the Tura River and its tributaries within the territory of the city of Tyumen]. «*Aktual'nye problemy obespecheniya ustoychivogo razvitiya Tyumenskogo regiona*». *Trudy 68-y studencheskoy nauchnoy konferentsii* (Tyumen', 20 aprelya 2017 g.) [“Actual problems of ensuring sustainable

development of the Tyumen region”. *Proceedings of the 68-th student scientific conference* (Tyumen, April 20, 2017)]. Tyumen', TyumGU Publ., 2017, pp. 79–85.

20. Pronicheva K. A., Gaevaya E. V. *Otsenka kachestva poverkhnostnykh vod reki Tura goroda Tyumeni* [Assessment of surface water quality of the Tura River of the city of Tyumen]. *Lesnaya melioratsiya i ekologo-gidrologicheskie problemy Donskogo vodosbornogo basseyna. Trudy Natsional'noy nauchnoy konferentsii* [Forest reclamation and ecological and hydrological problems of the Don watershed]. Volgograd, FNTs agroekologii RAN Publ., 2020, pp. 544–547.

21. Timonin G. V. *Monitoring nakopleniya nefteproduktov v reke Tura v predelakh gorodskoy territorii* [Monitoring of oil product accumulation in the Tura River within the urban area]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v nauke i obrazovanii. Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Orenburg, 14.04.2021) [Fundamental and applied research in science and education. *Trudy International scientific-practical conference* (Orenburg, 14.04.2021)]. Sterlitamak, AMI Publ., 2021, pp. 16–20.

22. Mikhaylova L. V., Matkovskiy A. K., Isachenko-Bome E. A., et al. *Ekosistema reki Tury v XXI veke. Chast' I. Retrospektiva* [Ecosystem of the Tura River in the XXI century. Part I. Retrospective]. *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki – Bulletin of Fisheries Science*, 2016, vol. 3, no. 3 (11), pp. 33–54.

23. Zhulin A. G., Belova L. V., Semenov P. A. *Vliyanie zheleza v rechnoy vode na tekhnologiyu ochistki* [Influence of iron in river water on purification technology]. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport – Architecture, construction, transportation*, 2024, no. 2, pp. 84–95. DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-84-94.

24. Kachalova G. S. *Analiz izmeneniya pokazateley kachestva vody ot vodozabora do potrebitelya* [Analysis of changes in water quality indicators from water intake to consumer]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances in modern natural science*, 2022, no. 2, pp. 66–70. DOI 10.17513/use.37780.

25. Nizovtsev V. A., Postnikov A. V., Snytko V. A., et al. *Istoricheskie vodnye puti Severa Rossii (XVII-XX vv.) i ikh rol' v izmenenii ekologicheskoy obstanovki. Ekspeditsionnye issledovaniya: sostoyanie, itogi, perspektivy* [Historical waterways of the North of Russia (XVII-XX cc.) and their role in changing the ecological situation. Expeditionary research: state, results, prospects]. Moscow, Paradiz Publ., 2009, 298 p.

26. Lyampert N. A., Nichiporova I. P., Lobchenko E. E., Pervysheva O. A. *Sovremennoe sostoyanie i dinamika kachestva vody r. Klyaz'ma* [Modern state and dynamics of water quality of the Klyazma River]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances in modern natural science*, 2022, no. 3, pp. 104–110. DOI 10.17513/use.37800.