 © Авторы статьи / Authors of the article

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ/LAND HYDROLOGY, WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.24 EDN: DKFMBS

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ АРГАЗИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Научная статья

Сибиркина А.Р.[1,] *, Ковальчук Л.С.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-2722-9417;
[1] Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, Российская Федерация
[2] Челябинский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sibirkina_alfira[at]mail.ru)

Предложена: 08.01.2024; Принята: 12.03.2024; Опубликована: 18.03.2024

Аннотация

Представлены данные о состоянии качества воды Аргазинского водохранилища, которое в каскаде с Шершневским водохранилищем является основным источником питьевой воды для жителей Челябинского промузла. Исследование показало, что на качество воды водохранилища долгие годы отрицательное воздействие оказывали сбросы сточных вод промышленных предприятий и коммунальных служб городов Миасс и Карабаш (через приток р. Миасс – р. Сак-Элга). При оценке качества воды использовали показатель УКИЗВ, который был рассчитан по таким нормируемым показателям качества воды как растворенный кислород, хлориды, сульфаты, азот аммония, азот нитритов, азот нитратов, железо общее, соединениям меди, цинка, марганца, никеля, органическим соединениям по БПК5, ХПК, нефтепродуктам, фенолам. Анализ УКИЗВ с 2016 по 2020 годы показал, что наблюдается улучшение качества воды, что может быть связано с отводом чистого стока реки Сак-Элга в обход загрязненной территории Карабашского городского округа и направления чистой воды в Аргазинское водохранилище. В работе проведена оценка уровня загрязнения воды в зависимости от содержания растворенного кислорода и за четырехгодичный период содержание растворенного кислорода находилось на уровне от «умеренно загрязненные (III)» до «очень чистые (I)», кислородный режим водохранилища был благополучен и соответствовал рыбохозяйственным нормативам ПДК. В статье представлены данные о содержании в воде соединений свинца (первый класс опасности). В ходе исследования установлено, что в 60,0% проб среднее содержание ионов свинца имеет значения в пределах 1,1-1,53 ПДК, что подтверждает влияние промышленных стоков Карабашского городского округа.

Ключевые слова: аргазинское водохранилище, кислородный режим, УКИЗВ, соединения свинца.

AN EVALUATION OF WATER QUALITY OF THE ARGAZI RESERVOIR

Research article

Sibirkina A.R.[1,] *, Kovalchuk L.S.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-2722-9417;
[1] South Ural State Humanitarian and Pedagogical University, Chelyabinsk, Russian Federation
[2] Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation

* Corresponding author (sibirkina_alfira[at]mail.ru)

Suggested: 08.01.2024; Accepted: 12.03.2024; Published: 18.03.2024

Abstract

The work presents data on the water quality of the Argazi Reservoir, which in cascade with the Shershnevskoye Reservoir is the main source of drinking water for the residents of the Chelyabinsk industrial estate. The study showed that for many years the water quality of the reservoir was negatively affected by wastewater discharges from industrial enterprises and municipal services of Miass and Karabash cities (via the Sak-Elga River, a tributary of the Miass River). In evaluating water quality, the SCIDWP index was used, which was calculated for such standardized water quality indicators as dissolved oxygen, chlorides, sulphates, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, total iron, compounds of copper, zinc, manganese, nickel, organic compounds by BOD5, COD, oil products, phenols. The analysis of SCIDWP from 2016 to 2020 showed that there is an improvement in water quality, which may be associated with the diversion of clean flow of the Sak-Elga River bypassing the polluted territory of Karabash urban district and directing clean water to the Argazi water reservoir. The article evaluates the level of water pollution depending on the dissolved oxygen content and for the four-year period the dissolved oxygen content was at the level from "moderately polluted (III)" to "very clean (I)", the oxygen regime of the reservoir was favourable and met the fishery standards of MAC. The article presents data on the content of lead compounds (first class of hazard) in water. The study found that in 60.0% of samples the average content of lead ions has values within 1.1-1.53 MAC, which confirms the influence of industrial effluents of Karabash urban district.

Keywords: Argazi water reservoir, oxygen regime, SCIDWP, lead compounds.

Введение

Челябинская область богата природными водоемами – 3784 озера и 3602 реки. При всём богатстве водных источников наибольшее питьевое значение для Челябинского региона представляет каскад Аргазинское –

 © Авторы статьи / Authors of the article

Шершневское водохранилищ [1]. Этапы создания Аргазинского водохранилища: 1927 год – проектные работы, 1938 год – основное строительство, в 1946 год – закончены строительно-монтажные работы по плотине и водосбросу. В том же 1946 году происходит заполнение водохранилища паводковыми водами в объеме 654 млн. куб. км при площади водного зеркала составила 102 кв. км нормальный подпорный уровень (НПУ) составляет 271,5 м, [1], [2], [3].

Распоряжением Правительства РФ от 02.11.2009 года №1629-р (ред. от 07.03.2016) Аргазинский гидроузел наряду с Шершневской плотиной являются стратегическими объектами и относятся к гидротехническим сооружениям первого класса, подлежат обязательной охране полицией и поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [1]. С 21 января 1969 г. решением Исполнительного комитета Челябинского областного Совета народных депутатов № 29 «Об охране памятников природы в области» Аргазинское водохранилище отнесено к особо охраняемым природным территориям, имеет статус памятника природы Челябинской области, профиль ООПТ – гидрологический. Постановлением Законодательного Собрания Челябинской области от 31.01.2008 г. № 1009 «Об утверждении границ памятника природы Челябинской области Аргазинского водохранилища и его охранной зоны» утверждены границы памятника природы Челябинской области Аргазинского водохранилища [4], [5]. Учитывая всё выше изложенное, а именно, что Аргазинское водохранилище является одним из основных источников питьевого водоснабжения Челябинской области и ценный рекреационный ресурс, относится к особо охраняемой природной территории, необходимо регулярно проводить контроль качества воды.

Основой для водохранилища явилось уникальное озеро Аргази, которое наряду с озерами Увильды, Тургояк, Большой Кисегач относится к наиболее крупным водоемам области [1]. В водохранилище впадают реки Миасс, Аткус, Каменная, а также канал из озера Увильды, вытекает река Миасс.

Долгие годы акватория водохранилища через приток р. Миасс - р. Сак-Элга испытывала негативное воздействие от сброса сточных промышленных и коммунальных вод городов Миасс и Карабаш. С целью стабилизации экологической ситуации и снижения поступления загрязненных вод через приток р. Миасс - р. Сак-Элга, в 2019 году по заказу Министерства экологии Челябинской области, специалистами Западно-Уральского института водных и экологических проблем (г. Пермь) проведено обследование Аргазинского водохранилища. В рамках проекта выполнено более 3500 химических исследований, проведено рекогносцировочное обследование водоохранной зоны водохранилища [6]. Проведенные обследования позволили завершить в 2020 году возведение канала для отвода чистого стока реки Сак-Элга в обход загрязненной территории Карабашского городского округа и направления чистой воды в Аргазинское водохранилище [6].

При написании статьи использовали:

1) данные ежегодных Докладов об экологической ситуации в Челябинской области за 2016-2022 годы, находящиеся в свободном доступе на сайте Министерства экологии Челябинской области в разделе Информация об экологической ситуации в Челябинской области [7];

2) отчетная документация государственного контракта «Реализация положений Схемы развития и размещения, особо охраняемых природных территорий Челябинской области, в том числе мониторинг состояния особо охраняемой природной территории Челябинской области Аргазинское водохранилище» за 2022 год.

Наблюдения за качеством воды Аргазинского водохранилища проводятся в двух створах: 5,2 км к востоку от г. Карабаш, 18 км выше плотины и в черте д. Байрамгулово, 0,3 км выше Аргазинского гидроузла.

Результаты исследования

Водоемы Челябинской области на протяжении ряда лет испытывают аномальное обмеление, обусловленное засушливой погодой и влиянием глобального потепления. По данным гидрометеослужбы уровень воды на многих озерах за последние 6 лет понизился на 20-70 см, что отражается на наполняемости водохранилищ. По состоянию на 1 июня наполненность Аргазинского водохранилища в 2019-2022 годах менялась следующим образом: 74,93% (2019-2020 гг.) > 61-65% (2022 г.). Учитывая тот факт, что падение уровня воды может отразиться на качестве воды в водоёмах, необходим постоянный мониторинг качества воды. При оценке качества воды целесообразно использовать относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод – УКИЗВ, определяющий часть загрязняющего компонента в общем загрязнении воды при одновременном присутствии ряда загрязняющих веществ. Классификация качества воды на основе значений УКИЗВ в зависимости от степени их загрязненности позволяет выделить пять классов качества воды.

Таблица 1 - Классификация качества воды на основе значений УКИЗВ

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.24.1

Класс	Характеристика	Разряд	Характеристика
1-й класс	условно чистая	-	-
2-й класс	слабо загрязненная	-	-
3-й класс	загрязненная	разряд «а»	загрязненная
		разряд «б»	очень загрязненная
4-й класс	грязная	разряд «а»	грязная
		разряд «б»	грязная
		разряд «в»	очень грязная
		разряд «г»	очень грязная

 © Авторы статьи / Authors of the article

Класс	Характеристика	Разряд	Характеристика
5-й класс	экстремально грязная	-	-

Примечание: по ист. [6]

В работе представлены результаты расчета УКИЗВ по таким нормируемым показателям качества воды как растворенный кислород, хлориды, сульфаты, азот аммония, азот нитритов, азот нитратов, железо общее, соединения меди, цинка, марганца, никеля, органические соединения по БПК5, ХПК, нефтепродукты, фенолы. За четыре года с 2016 по 2020 годы УКИЗВ изменялся следующим образом: 2016 г. = 4,86 (4Б) < 2017 г. = 6,16 (4В) > 2018 г. = 5,39 (4Б) > 2019 г. = 2 (слабо загрязненная) = 2020 г. = 2 (слабо загрязненная). Можно заключить, что проведенные работы по отводу чистого стока реки Сак-Элга в обход загрязненной территории Карабашского городского округа и направления чистой воды в Аргазинское водохранилище дали положительные результаты и привели к улучшению качества воды.

Аргазинское водохранилище является водной экологической системой и для жизни гидробионтов определяющее значение имеет кислородный режим. Кроме того, от содержания растворенного кислорода в воде можно оценить уровень ее загрязнения (табл. 2).

Таблица 2 - Содержание кислорода в водоемах с различной степенью загрязненности

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.24.2

Уровень загрязненности воды и класс качества	Растворенный кислород	
	лето, мг/л	% насыщения
Очень чистые, I	9	95
Чистые, II	8	80
Умеренно загрязненные, III	7..6	70
Загрязненные, IV	5..4	60
Грязные, V	3..2	30
Очень грязные, VI	0	0

Примечание: по ист. [8]

Следует отметить, что во все периоды исследования кислородный режим водохранилища был благополучен и соответствовал рыбохозяйственным нормативам ПДК. Содержание растворенного кислорода в воде изменялось в следующем порядке: 2017 г. (7,66-11,7 мг/дм^3) – 2018 г. (5,30-14,0 мг/дм^3) – 2019 г. (7,90-14,20 мг/дм^3) – 2020 г. (7,80-16,50 мг/дм^3) – 2022 г. (8,38-9,40 мг/дм^3), при норме не ниже 4 мг/дм^3. Качество воды и находилось на уровне от «умеренно загрязненные (III)» до «очень чистые (I)». В 2018 г. содержание растворенного кислорода опускалось до уровня загрязнения, который варьирует между значениями от «умеренно загрязненные (III)» – «загрязненные (IV)» до «очень чистые» (I).

В результате техногенного воздействия к приоритетным загрязнителям водоемов относятся соединения тяжелых металлов, особый интерес представляют соединения свинца, относящиеся к первому классу опасности. В современных условиях в природных водах соединения свинца встречается практически повсеместно и в типичных гидрокарбонатных водах содержание его изменяется от следов до 0,05 мг/дм^3, ПДК – 0,006 мг/дм^3. В таблице 3 приведены данные о содержании соединений свинца в воде Аргазинского водохранилища в 2022 году.

Таблица 3 - Содержание соединений свинца в воде Аргазинского водохранилища

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.24.3

Загрязняющее вещество	Дата отбора проб	Точки отбора			Р/хоз. норм.
		ПП1	ПП2	ПП3	-
Соединения свинца, мг/дм^3	13.05.2022	0,0081±0,0020	0,0075±0,0019	0,0064±0,0016	Не более 0,006
	17.06.2022	0,0092±0,0022	0,0074±0,0018	0,0077±0,0019	
	20.07.2022	Менее 0,0020	Менее 0,0020	Менее 0,0020	
	19.08.2022	Менее 0,0050	Менее 0,0050	Менее 0,0050	
	09.09.2022	Менее 0,0020	Менее 0,0020	Менее 0,0020	

Примечание: ПП 1 - 550.19'42,25728'' N, 600 22'8,57856''E; ПП 2 - 550.23'7,06524'' N, 600 27'349,72572''E; ПП 3 - 550.27'42,80292'' N, 600 21'33,94152''E

 © Авторы статьи / Authors of the article

Об уровне загрязнения воды водохранилища свидетельствует тот факт, что лишь в 40,0 % проб воды концентрации соединений свинца находились в пределах 0,002-0,005 мг/дм^3, т.е. ниже ПДК, а в 60,0 % проб среднее содержание соединений свинца находится на уровне 1,06-1,53 ПДК и составляет 0,0049 (0,0064-0,0092 мг/дм^3). В то же время, выявленные концентрация соединений свинца далеки от смертельно опасных для рыб значений равных 0,1-0,3 мг/л. Следует отметить, что опасность загрязнения воды соединениями свинца определяется негативным влиянием этих соединений на нервную систему человека, особенно остро проявляется у детей, ведет к замедлению умственного развития. Негативно влияет на сердечно-сосудистую систему, работу ЖКТ [9].

Водные массы водохранилища формируются в большей степени за счет атмосферного питания, что и находит отражение в химическом составе воды. Соединения свинца относятся к халькофильным элементам и находятся в природных водах в растворенном и взвешенном (сорбированном) состоянии. В растворенной форме встречается в виде минеральных и органоминеральных комплексов, а также простых ионов, в нерастворимой – главным образом в виде сульфидов, сульфатов и карбонатов [10]. Из полученных данных можно констатировать, что ситуация остаётся напряженной и свидетельствует об активном загрязнении водоема [11], в том числе за счёт попадания в водоём промышленных отходов, содержащих токсичные соединения тяжелых металлов, которые вредят не только окружающей среде, но и здоровью человека. В то же время хотелось бы отметить, что современная экологическая ситуация складывалась в течение не одного десятилетия и даже не одного столетия. Первые железоделательные заводы на территории, выделенной позднее в Кыштымский горный округ, где расположен ныне Карабаш, были построены и пущены в 1737 году. Старейшим металлургическим предприятием России является Карабашский медеплавильный комбинат – крупный производитель черновой меди из медного концентрата, а черновая медь содержит определенные примеси – спутники основного металла [14]. Изменения экологической ситуации начались с 2004 года, когда завод перешёл под управление Группы «Русская медная компания» (РМК), начинается масштабная программа по экологической и технологической модернизации предприятия, в которую компания вложила свыше 30 миллиардов рублей. За это время проведена замена шахтных печей на печи с погружной фурмой, работающих по процессу Ausmelt, которая активно используется для переработки сырья, содержащего медь, никель, свинец, олово, цинк и драгоценные металлы, установлены конверторы с газоплотными напыльниками, не выбрасывающими пыль при работе, проведены работы по реабилитации карабашского пруда [15], [16]. На заводе проведена реконструкция химико-металлургического комплекса, исключающего выбросы металлургических газов в воздух за счёт утилизации в новом сернокислотном цехе, внедрена сульфидно-известковая технология очистки, которая позволяет не только извлекать из стоков отходы производства, но и производить полезный продукт, такой как строительный гипс [14]. Введён замкнутый цикл оборота воды, все стоки, доводятся до состояния условно чистого раствора, очищенная вода далее возвращается в технологический оборот и вновь используется для нужд производства, в частности, в градирнях и для охлаждения шлака в металлургическом цехе [14].

Даже с учётом проводимой модернизации производства, для снижения загрязнения воды Аргазинского водохранилища, промышленным предприятиям Карабашского городского округа необходимо продолжать совершенствовать системы очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов. В современной промышленности очищение сточных вод от ионов тяжелых металлов осуществляют разными способами, в том числе мембранным методом. При имеющихся достоинствах, мембранный метод имеет и ряд ограничений – высокое потребление энергии, короткий срок службы мембран из-за концентрационной поляризации, за счет чего в непосредственной близости от места разделения образуется концентрат загрязнений, который со временем приводит к ухудшению селективности и проницаемости перегородки [12], [13]. Решить проблемы мембранного метода позволяет синтезированный, усилиями наших ученых совместно с учеными из Индии, новый вид мембран на основе особо пористых наночастиц оксида алюминия, легированного цинком [13]. Полученные мембраны на основе пористых наночастиц, помимо полного удаления тяжелых металлов из отработанных вод промышленных предприятий, обладают «противообрастающими свойствами», т.е. устойчивостью материала к обрастанию водными микроорганизмами, которые в итоге выводят из строя приборы и устройства, долго находящиеся в водных средах [13]. Учитывая достижения науки, рекомендуем руководству, технологам и экологам промышленных предприятий Карабашского городского округа, обратить внимание на мембранный метод очистки сточных вод, который по данным журнала Chemosphere, имеет 98%-ную эффективность при удалении соединений свинца.

Заключение

Улучшению качества воды способствовал отвод чистого стока реки Сак-Элга в обход загрязненной территории Карабашского городского округа и направления чистой воды в Аргазинское водохранилище, что отражает показатель УКИЗВ. Установлено, что, несмотря на падение уровня воды, кислородный режим водохранилища благополучен и соответствует рыбохозяйственным нормативам ПДК. Выявленное загрязнение соединениями свинца подтверждает длительное негативное воздействие от поступления загрязненных промышленных сточных вод с территории Карабашского городского округа. Дополнительным, мощным источником поступления ионов свинца в воду являются донные отложения, исследование которых планируется в будущем.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Список литературы / References

1. Хакимов Р.Ш. Использование водных ресурсов озера Аргази: прошлое, настоящее, будущее / Р.Ш. Хакимов — Челябинск: Челябинский государственный университет, 2021. — 107 с.

2. Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала: (Гидрологический режим и влияние на него атмосферной циркуляции) / М.А. Андреева — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1973. — 170 с.

3. Андреева М.А. Гидрологический режим озер Челябинской области / М.А. Андреева. // Материалы науч.-техн. конф. по комплексному использованию водных ресурсов и перспективам развития мелиорации земель Челябинской области: (Крат. тез. докл. и рекомендации); — Челябинск: Челябинск, 1971. — С. 38-42.

4. ОГУ "ООПТ Челябинской области" О положениях о памятниках природы Челябинской области (оз. Аркуль, оз. Иткуль, оз. Подборное, оз. Большой Биляшкуль, Аргазинское водохранилище) / ОГУ "ООПТ Челябинской области" // Областное государственное учреждение «Особо охраняемые природные территории Челябинской области». — 2008. — URL: http://oopt174.ru. (дата обращения: 08.01.24)

5. Моисеев А.П. Памятники природы Челябинской области / А.П. Моисеев, М.Е. Николаева — Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1987. — 256 с.

6. Министерство экологии Челябинской области Доклад об экологическом состоянии Челябинской области / Министерство экологии Челябинской области // Министерство экологии Челябинской области: официальный сайт. — 2016. — URL: https://mineco.gov74.ru/mineco/activities/oxranaokruzhayushhejsredychely/informaciyaobekologicheskojsit.htm. (дата обращения: 08.01.24)

7. Министерство экологии Челябинской области. — 2016. — URL: https://mineco.gov74.ru (дата обращения: 08.01.2024)

8. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. — Москва: Наука, 1987. — 340 с.

9. Корбанова А.И. Свинец и его действие на организм / А.И. Корбанова, Н.С. Сорокина, Н.Н. Молодкина // Мед. труда и пром. экология. — 2001. — 5. — С. 29-34.

10. Мур Д.В. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / Д.В. Мур. — Москва: Мир, 1987. — 285 с.

11. Сибиркина А.Р. Сравнительная оценка экологического состояния Аргазинского водохранилища за 2017-2020 год / А.Р. Сибиркина, О.Н. Мулюкова, Г.С. Бревнова // Экологические чтения. — Омск: Омский ГАУ, 2021.

12. Принцип работы мембранного метода очистки сточных вод. — 2022. — URL: https://howseptik.com/vodostok/membrannaya-ochistka-stochnyx-vod.html (дата обращения: 21.02.2024)

13. Новые наномембраны очистили промышленные стоки от свинца на 98% // ТАСС Наука. — 2021. — URL: https://nauka.tass.ru/nauka/10917129 . (дата обращения: 21.02.24)

14. Так ли страшна Карабашмедь. — 2018 — URL: https://dzen.ru/a/W4L9xVVZywCqXlDm (дата обращения: 21.02.2024)

15. Карабашмедь войдет в ТОП-3 крупнейших медеплавильных предприятий России. — 2021. — URL: https://news.rambler.ru/ecology/46868888/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 21.02.2024)

16. Декарбонизация в технологии Ausmelt. — 2021. — URL: https://www.metso.com/ru/insights/blog/mining-and-metals/decarbonization-of-the-ausmelt-process/ (дата обращения: 21.02.2024)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Hakimov R.Sh. Ispol'zovanie vodnyh resursov ozera Argazi: proshloe, nastojaschee, buduschee [Use of Water Resources of Lake Argazi: Past, Present, Future] / R.Sh. Hakimov — Cheljabinsk: Chelyabinsk State University, 2021. — 107 p. [in Russian]

2. Andreeva M.A. Ozera Srednego i Juzhnogo Urala: (Gidrologicheskij rezhim i vlijanie na nego atmosfernoj tsirkuljatsii) [Lakes of the Middle and Southern Urals: (Hydrological regime and the influence of atmospheric circulation on it)] / M.A. Andreeva — Chelyabinsk: South-Ural Book Publishing House, 1973. — 170 p. [in Russian]

3. Andreeva M.A. Gidrologicheskij rezhim ozer Chelyabinskoj oblasti [Hydrological Regime of Lakes in the Chelyabinsk Region] / M.A. Andreeva. // Materials of Scientific and Technical. Conf. on the Integrated Use of Water Resources and Prospects for the Development of Land Reclamation in the Chelyabinsk region: (Short abstract of reports and recommendations); — Chelyabinsk: Chelyabinsk, 1971. — P. 38-42. [in Russian]

4. OGU "OOPT Chelyabinskoj oblasti" O polozheniyax o pamyatnikax prirody' Chelyabinskoj oblasti (oz. Arkul', oz. Itkul', oz. Podbornoe, oz. Bol'shoj Bilyashkul', Argazinskoe vodoxranilishhe) [On the provisions on natural monuments of the Chelyabinsk region (Lake Arkul, Lake Itkul, Lake Podbornoe, Lake Bolshoi Bilyashkul, Argazinskoye Reservoir)] / OGU "OOPT Chelyabinskoj oblasti" // Regional state institution “Specially Protected Natural Territories of the Chelyabinsk Region”. — 2008. — URL: http://oopt174.ru. (accessed: 08.01.24) [in Russian]

5. Moiseev A.P. Pamjatniki prirody Cheljabinskoj oblasti [Natural Monuments of the Chelyabinsk Region] / A.P. Moiseev, M.E. Nikolaeva — Chelyabinsk: South-Ural Book Publishing House, 1987. — 256 p. [in Russian]

6. Ministerstvo e'kologii Chelyabinskoj oblasti Doklad ob e'kologicheskom sostoyanii Chelyabinskoj oblasti [Report on the environmental state of the Chelyabinsk region] / Ministerstvo e'kologii Chelyabinskoj oblasti // Ministry of Ecology of the Chelyabinsk Region: official website. — 2016. — URL: https://mineco.gov74.ru/mineco/activities/oxranaokruzhayushhejsredychely/informaciyaobekologicheskojsit.htm. (accessed: 08.01.24) [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

7. Ministerstvo ekologii Cheljabinskoj oblasti [Ministry of Ecology of Chelyabinsk Oblast]. — 2016. — URL: https://mineco.gov74.ru (accessed: 08.01.2024) [in Russian]

8. Vernadskij V.I. Ximicheskoe stroenie biosfery' Zemli i ee okruzheniya [Chemical Structure of the Earth's Biosphere and Its Environment] / V.I. Vernadskij. — Moscow: Nauka, 1987. — 340 p. [in Russian]

9. Korbanova A.I. Svinecz i ego dejstvie na organizm [Lead and Its Effect on the Body] / A.I. Korbanova, N.S. Sorokina, N.N. Molodkina // Occupational Medicine and Industrial Ecology. — 2001. — 5. — P. 29-34. [in Russian]

10. Mur D.V. Tyazhely'e metally' v prirodny'x vodax: Kontrol' i ocenka vliyaniya [Heavy Metals in Natural Waters: Monitoring and Impact Assessment] / D.V. Mur. — Moscow: Mir, 1987. — 285 p. [in Russian]

11. Sibirkina A.R. Sravnitel'naja otsenka ekologicheskogo sostojanija Argazinskogo vodohranilischa za 2017-2020 god [Comparative assessment of the ecological state of the Argazinsky reservoir for 2017-2020] / A.R. Sibirkina, O.N. Muljukova, G.S. Brevnova // Jekologicheskie chtenija [Ecological Readings]. — Omsk: Omsk SAU, 2021. [in Russian]

12. Printsip raboty membrannogo metoda ochistki stochnyh vod [The Principle of Operation of the Membrane Method of Wastewater Treatment]. — 2022. — URL: https://howseptik.com/vodostok/membrannaya-ochistka-stochnyx-vod.html (accessed: 21.02.2024) [in Russian]

13. Novy'e nanomembrany' ochistili promy'shlenny'e stoki ot svincza na 98% [New nanomembranes have purified industrial wastewater from lead by 98%] // TASS Science. — 2021. — URL: https://nauka.tass.ru/nauka/10917129 . (accessed: 21.02.24) [in Russian]

14. Tak li strashna Karabashmed' [Is the URL Karabash so scary]. — 2018 — URL: https://dzen.ru/a/W4L9xVVZywCqXlDm (accessed: 21.02.2024) [in Russian]

15. Karabashmed' vojdet v TOP-3 krupnejshih medeplavil'nyh predprijatij Rossii [Karabashmed will enter the TOP 3 largest copper smelting enterprises in Russia]. — 2021. — URL: https://news.rambler.ru/ecology/46868888/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (accessed: 21.02.2024) [in Russian]

16. Dekarbonizatsija v tehnologii Ausmelt [Decarbonization in Ausmelt technology]. — 2021. — URL: https://www.metso.com/ru/insights/blog/mining-and-metals/decarbonization-of-the-ausmelt-process/ (accessed: 21.02.2024) [in Russian]