

УДК 504.45

**КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ
ШЕРШНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
(РОССИЯ, Г. ЧЕЛЯБИНСК)**

Кравцова А.В., Ходоровская Н.И., Дерябина Л.В.

*ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск,
e-mail: kravtsova87@yandex.ru*

В работе представлена комплексная характеристика состояния единственного источника питьевого водоснабжения г. Челябинска – Шершневского водохранилища и его притоков в 2021 г. с использованием гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей. Оценка качества воды представлена по рыбохозяйственным и хозяйственно-питьевым нормативам с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды, характеристики сапробности, трофности, трофо-сапробиологическим и эколого-токсикологическим показателям. Наибольший вклад в итоговую оценку качества воды в период летней межени внесли такие факторы, как рН, высокий процент пересыщения воды кислородом, низкая прозрачность, высокая цветность, повышенное содержание органических соединений (соединения фосфора, БПК₅, перманганатная окисляемость), численность и биомасса фитопланктона, а также токсиканты: железо, медь, марганец, цинк, нефтепродукты, СПАВ. В экосистеме Шершневского водохранилища в 2021 г. установились условия, соответствующие переходу от мезотрофного состояния к мезоэвтрофному состоянию, воды характеризуются по показателям развития планктона как бета-мезосапробные. Воды Шершневского водохранилища его притоков в 2021 г. являются загрязненными согласно УКИЗВ с критическим показателем загрязненности – медь (превышение ПДК_{рыбхоз.} в 5 раз), а также с превышением ПДК_{рыбхоз.} марганца, железа общего в воде и БПК₅.

Ключевые слова: качество воды, загрязненность, трофность, сапробность, нормирование

**COMPLEX CHARACTERISTICS OF THE STATE
OF THE SHERSHNEVSKY RESERVOIR
(RUSSIA, CHELYABINSK)**

Kravtsova A.V., Khodorovskaya N.I., Deryabina L.V.

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, e-mail: kravtsova87@yandex.ru

The paper presents a comprehensive description of the state of the only source of drinking water supply in Chelyabinsk – the Shershnevsky reservoir and its tributaries in 2021. using hydrophysical, hydrochemical and hydrobiological indicators. The assessment of water quality is presented according to fishery and drinking standards using a specific combinatorial index of water pollution, characteristics of saprobity, trophic, trophic-saprobiological and ecological-toxicological indicators. The greatest contribution to the final assessment of water quality during the summer autumn was made by such factors as pH, a high percentage of water supersaturation with oxygen, low transparency, high color, increased content of organic compounds (phosphorus compounds, BPK₅, permanganate oxidability), phytoplankton biomass, as well as toxicants – iron, copper, manganese, zinc, petroleum products, SPAV. In the ecosystem of the Shershnevsky reservoir in 2021 the conditions corresponding to the transition from the mesotrophic state to the mesoeutrophic state have been established, the waters are characterized by indicators of plankton development as beta-mesasaprobic. The waters of the Shershnevsky reservoir of its tributaries in 2021 are polluted according to the UKIZV with a critical indicator of contamination – copper (exceeding the MPC, by 5 times), as well as exceeding the MPC. manganese, common iron in water and BPK₅.

Keywords: water quality, pollution, trophic, saprobity, standardization

Оценка состояния водных объектов приобретает в последнее время значимый характер, что связано с возрастанием значения антропогенных факторов, с одной стороны, а с другой – изменениями элементов регионального климата, которые влияют на формирование гидрохимического и гидрологического режима. Качество воды водных объектов также определяется поверхностным стоком и притоками, которые в свою очередь зависят от состояния своих водосборных территорий [1]. Оценка состояния водной экосистемы представляет собой не только учет изменения свойств одного какого-либо показателя. Она формируется как результат интегра-

ции многих свойств, среди которых особое значение имеют факторы, характеризующие качество воды и степень эвтрофирования водоема, а также характер и уровень техногенного воздействия. Полученная комплексная информация более полно и точно учитывает синергетический эффект разных химических веществ и влияние многих других факторов на качество воды водных объектов [2; 3].

В Европе и США наиболее распространенным методом оценки различных поверхностных вод является water quality indices (WQIs), расчет которого основан на использовании таких показателей, как температура, рН, мутность, взвешенные вещества,

концентрация фосфатов, нитратов, растворенного кислорода, БПК₅, фекальных колиформ, и его различные модификации [4]. Согласно цели устойчивого развития по питьевой воде и санитарии, общее качество воды оценивается на основе базового набора из пяти параметров по поверхностным водоемам: содержание в воде растворенного кислорода, электропроводность (минерализация), содержание азота, содержание фосфора и pH, которые определяют доброкачественность водного объекта [5]. Для характеристики процессов эвтрофирования и антропогенного загрязнения широко применяется индекс трофического статуса (trophic status indices TSIs) и индекс тяжелых металлов (heavy metal indices HMIs) [6]. В России в настоящее время наиболее широкое распространение получили методы оценивания, основанные на санитарно-гигиеническом, общеэкологическом и гидробиологическом подходе. Среди них можно выделить нормативный подход с использованием ПДК, удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), комплексную характеристику по трофо-сапробным показателям, комплексную экологическую классификацию поверхностных вод, различные гидробиологические индексы и другие [7]. Несмотря на определенные недостатки, свойственные каждой из множества классификаций, оценка класса качества поверхностных вод по всему комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей позволяет учесть многокомпонентность формирования состояния водных объектов [8-10]. Применение различных методов и классификаций оценки состояния водных объектов с использованием комплекса гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей позволяет получить комплексное всестороннее представление о водном объекте и сформировать обоснованные выводы о качестве воды в настоящее время.

Цель исследования – выполнение комплексной оценки состояния вод верховьев Шершневского водохранилища и его притоков в 2021 г.

Материалы и методы исследования

Шершнёвское водохранилище (ШВ) представляет собой искусственный водоем на р. Миасс и является единственным источником питьевого водоснабжения г. Челябинска и всего Челябинского промышленного узла. Водоохранилище занимает нижнее положение в каскаде с Аргазинским водохранилищем на р. Миасс. Шершневское водохранилище – среднее по размерам водохранилище руслового типа, объем воды –

176 млн м³, максимальная глубина – 14 м, средняя – 4,5 м. Вдоль берегов водохранилища расположены коллективные сады, жилой частный сектор, городская высотная застройка, места массового отдыха. Формирование качества воды и экосистемы верхнего участка – речного плеса водохранилища происходит за счет вод, которые несет р. Миасс, а также ее приток р. Биргильда, впадающая непосредственно в реку Миасс перед расширением русла реки. Район исследования расположен в верховьях Шершневского водохранилища на участке речного плеса. В данном районе находятся очистные водопроводные сооружения (вблизи пос. Сосновка), подготавливающие и снабжающие питьевой водой городские водопроводные системы. Схема расположения пунктов наблюдения и их характеристика представлена на рисунке.

Для проведения исследования состояния Шершневского водохранилища по гидрохимическим и гидробиологическим показателям выбраны периоды весеннего половодья и летне-осенней межени, так как они являются наиболее важными периодами для характеристики динамики гидрохимического водного режима состояния экосистемы водохранилища. Определение показателей качества воды проводилось в полевых условиях общепринятыми методами экологического мониторинга согласно сертифицированным методикам и в соответствии с действующими нормативными документами.

Аналитическая оценка качества воды верховьев Шершневского водохранилища и степени ее загрязнения, а также биологическая оценка состояния биоценоза в 2021 г. осуществлялась путем сравнения с нормативами ПДК_{рыбхоз} и ПДК_{хоз-пит}. Характеристика качества воды по удельному комбинаторному индексу (УКИЗВ) выполнялась по 17 показателям. Определение видового состава и развития планктонных организмов для характеристики зон сапробности – в соответствии с индексом Пантле-Букка в модификации Сладечека. Оценка трофического состояния водной экосистемы в целом проводилась в соответствии с «Комплексной экологической классификацией качества поверхностных вод суши» (КЭККПВС, Окснюк О.П., Жукинский В.Н. и др., 1993) по показателям: прозрачность по диску Секки, % насыщения кислорода в воде, окисляемость, БПК₅, концентрации аммония, нитратов, нитритов, фосфатов, pH, цветность, взвешенные вещества, фосфор и азот общий, биомасса фитопланктона, а также использовались концентрации токсикантов в воде – железо, медь, марганец, цинк, нефтепродукты, СПАВ [11; 12].



Схема расположения пунктов наблюдения (п.н.) на Шершневском водохранилище

Итоговые результаты оценки качества воды и состояния экосистемы Шершневского водохранилища представлены в таблице.

Результаты исследований и их обсуждение

Отличительной климатической особенностью 2021 года на Южном Урале являлась аномально высокая и длительная температура воздуха выше среднемесячных значений. Температура воды в поверхностном слое воды в пунктах наблюдений (п.н.) в мае 2021 г. колебалась в диапазоне от 16,7 до 19,1°C, в июне достигла 26,4-27,7°C, в июле вода в поверхностном слое притоков и в водохранилище держалась 21,1-21,6°C, а в конце августа прогрелась до 23-24°C.

Анализ воды в п.н. ШВ в 2021 г. показал, что минерализация воды составила 220-226 мг/дм³. Количество взвешенных веществ в воде в половодье составляло 37-47 мг/дм³, в летне-осеннюю межень резко снизилось по сравнению с половодьем. Цветность воды в 2021 г. в конце августа оставалась практически такой же высокой (42-63°), как и в половодье (52-80°).

В период половодья значения по показателю окисляемости перманганатной достигали 5,8 мгО/дм³, значения БПК₅ составили от 2,7 до 3,3 мгО/дм³ в ШВ; при этом ХПК определилось в пределах от 17 до 24 мгО/дм³. Концентрация аммонийного иона в пробах

воды по всем п.н. характеризуется значениями в диапазоне от 0,56 до 0,74 мг/дм³. В половодье 2021 г. по всем п.н. концентрации фосфат-иона не превышали 0,05 мг/дм³. В период половодья в верховьях ШВ отмечены превышения ПДК_{рыбхоз.} в воде БПК₅ в 1,2-1,6 раза, а также аммоний-иона в 1,2-1,48 раза. В пробах п.н.2,3 превышение ПДК_{рыбхоз.} составляло по железу от 2,2 до 3,6 раза, по марганцу во всех п.н. этот норматив превышен в 3-6 раз. Также выявлена кратность превышения по ПДК_{рыбхоз.} содержания меди в воде всех пунктов наблюдения, которая составляет от 4 до 6 раз. При сравнении полученных данных с нормативами хозяйственно-питьевого водопользования следует отметить, что во всех п.н. обнаружено превышение ПДК_{хоз-пит.} по ХПК от 1,13 до 1,93 раза и окисляемости перманганатной в 1,16 раза, по цветности воды превышение норматива составляло от 1,5 до 2,3 раза. Повышенное содержание органики по показателю БПК₅ было в 1,3-1,7 от ПДК_{хоз-пит.}

Значения показателей ХПК и перманганатной окисляемости воды в целом повысились в летне-осеннюю межень по всем п.н. за исключением п.н. 2 по ХПК, а в п.н. 4 и 5 ШВ достигли значений 5,4 и 6,5 мгО/дм³ соответственно. В летне-осеннюю межень концентрация фосфат-иона в воде увеличилась только в п.н. 2 (р. Миасс) до 0,2 мг/дм³

и в п.н.3 и 5 ШВ до 0,12 мг/дм³. В период летне-осенней межени 2021 г. при сравнении полученных данных с нормативами рыбохозяйственного водопользования следует отметить, что превышения были выявлены по концентрации меди, марганца, железа общего в воде и БПК₅. При сравнении полученных данных с нормативами хозяйственного водопользования из перечисленных показателей превышения нормативов были выявлены по ХПК в 1,5-2,4 раза, по БПК₅ в 2,7-3,3 раза, по окисляемости перманганатной в 1,3-2,0 раза, цветности в 1,2-1,8 раза, запаху и мутности во всех пунктах наблюдений.

Численность и биомасса фитопланктона в Шершнёвском водохранилище значительно увеличились к концу августа – началу сентября: в п.н. 3 – численность 91,884 млн кл/дм³, биомасса 5,2 мг/дм³ и содержание хлорофилла «а» 34,5*10⁻³ мг/дм³, в п.н. 4 – численность 129,04 млн кл/дм³, биомасса 8,6 мг/дм³ и содержание хлорофилла «а» 33,32*10⁻³ мг/дм³. В п.н. 5 отмечена самая высокая численность фитопланктона – 139,519 млн кл./дм³, биомасса водорослей составляла 6,84 мг/дм³, при этом содер-

жание хлорофилла «а» 35,67*10⁻³ мг/дм³, что связано со значительным развитием представителей в основном цианобактерий, таких как *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria agardhii*, *Microcystis aeruginosa*.

Значения УКИЗВ, рассчитанные по рыбохозяйственным нормативам, свидетельствуют о снижении качества воды. Критерии для водоёмов рыбохозяйственного водопользования характеризуют благоприятные или неблагоприятные условия жизни для гидробионтов и, соответственно, будущее экологическое благополучие водного объекта. Во всех пунктах наблюдений УКИЗВ колебалось в диапазоне значений от 2,17 до 2,28, что соответствует 3 классу разряду 3а качества воды и характеризуется как «загрязненная». Критическими показателями загрязнённости воды во всех пунктах наблюдения является медь, а для рек Биргильда, Миасс – марганец. В пробах п.н. 2, 3 превышение ПДК^{рыбохоз.} составляло по железу от 2,2 до 3,6 раза, по марганцу во всех п.н. этот норматив превышен в 3-6 раз. Также выявлена кратность превышения по ПДК^{рыбохоз.} содержания меди в воде всех пунктов наблюдения, которая составляет от 4 до 6 раз.

Сравнительная характеристика качества воды в верховьях Шершневского водохранилища в 2021 г.

Фаза гидрологического режима	Значение показателя в пункте наблюдения (п.н.)				
	п.н. 1 р. Биргильда	п.н. 2 р. Миасс	п.н. 3 ШВ, пос. Смолино	п.н. 4 ШВ, пос. Сосновка	п.н. 5 ШВ, пос. Западный
УКИЗВ					
Весеннее половодье и летняя межень	2,21	2,23	2,28	2,18	2,17
	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а
Индекс сапробности по фитопланктону (Пантле-Букка в модификации Сладечека)					
Весеннее половодье и летняя межень	2,1	1,9	2	2	2
Индекс сапробности по зоопланктону (Пантле-Букка в модификации Сладечека)					
Весеннее половодье и летняя межень	1,5	1,4	1,6	1,5	1,8
Характеристика трофического состояния по КЭКПВС					
Весеннее половодье	мезоэвтрофная	мезоэвтрофная	мезоэвтрофная	мезотрофная	мезоэвтрофная
Летняя межень	мезотрофная	мезотрофная	мезотрофная	мезотрофная	мезоэвтрофная
Характеристика класса качества воды по КЭКПВС					
Весеннее половодье	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3а	класс 3 разряд 3б
Летняя межень	класс 3 разряд 3б	класс 3 разряд 3б	класс 3 разряд 3б	класс 3 разряд 3б	класс 4 разряд 4б

Уровень сапробности по индексу Пантле-Букка, рассчитанный для фитопланктона и зоопланктона, свидетельствовал в основном о наличии β-мезосапробных условий в системе «река Биргильда – р. Миасс – верховье Шершневского водохранилища» в 2021 г. Качество воды части акватории Шершневского водохранилища, оценённое по показателям фитопланктона и зоопланктона, соответствовало 3 классу «умеренно загрязненная» по ГОСТ 17.1.3.07-82 в течение всего сезона 2021 г.

В течение летнего периода 2021 г. в зоне верховьев Шершневского водохранилища установились условия, соответствующие переходу от мезотрофного состояния в р. Биргильда и р. Миасс, в п.н. 3 в районе пос. Смолино, п.н. 4 близ пос. Сосновка и к мезоэвтрофному состоянию в п.н. 5 ниже пос. Западный в Шершневском водохранилище.

В соответствии с «Комплексной экологической классификацией качества поверхностных вод суши» по трофо-сапробиологическим и эколого-токсикологическим показателям весной 2021 г. вода во всех пунктах наблюдения относилась к классу 3а -удовлетворительной чистоты, разряду достаточно чистая, кроме п.н. 5 в пос. Западный, где произошло ухудшение качество воды до разряда 3б – слабо загрязненная. К окончанию лета 2021 г. наблюдались негативные изменения качества вод Шершневского водохранилища и его притоков. В р. Биргильда, а также в водохранилище, в п.н. 3 и 4 (пос. Смолино и пос. Сосновка) разряд качества воды сменился на 3б – слабо загрязненная, а в п.н. 5 пос. Западный изменился и класс качества воды на 4 – загрязненная, разряд 4б сильно загрязненная. Наибольший вклад в итоговую оценку качества воды в период летней межени внесли такие факторы, как рН, высокий процент пересыщения воды кислородом, низкая прозрачность, высокая цветность, повышенное содержание органических соединений (соединения фосфора, БПК₅, перманганатная окисляемость), биомасса фитопланктона, а также токсиканты: железо, медь, марганец, цинк, нефтепродукты, СПАВ.

Заключение

Таким образом, приведенная комплексная характеристика состояния верховьев Шершневского водохранилища с использованием различных классификаций позволяет оценить перспективы состояния экосистемы водохранилища, что необходимо в целях сохранения экологического благополучия и, как следствие, эксплуатационных свойств водного объекта. В 2021 г. к окончанию летне-осенней межени Шершневское

водохранилище и его притоки характеризуются накоплением органического вещества в экосистеме, усилением процессов фотосинтеза и интенсификацией процессов биопродуктивности. Приоритетными загрязняющими веществами с токсическим эффектом являются тяжелые металлы. Характеристика качества вод в верховьях водохранилища показала, что воды системообразующей реки Миасс приносят в водохранилище значительные концентрации железа, марганца, меди. В течение летнего периода 2021 г. в зоне верховьев Шершневского водохранилища установились условия, соответствующие переходу от мезотрофного к мезоэвтрофному состоянию его экосистемы.

Комплексный анализ гидрохимических, биохимических и гидробиологических показателей свидетельствует, что в 2021 г. качество воды в верховьях Шершневского водохранилища и его притоках характеризуется 3 классом разрядом 3а качества воды, что соответствует состоянию воды как «загрязненная», и формирует предпосылки ухудшения качества воды питьевого источника г. Челябинска.

Список литературы

1. Качество поверхностных вод Российской Федерации в 2020 году: ежегодник / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]. URL: <https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202020.pdf?ysclid=laf2cjpjnf856502005> (дата обращения: 27.02.2023).
2. Тиленова Д.К. О методиках оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2014. № 3. С.43-49.
3. Гавришин А.И. Сравнительный анализ двух методов оценки качества вод // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 2. С. 57-66. DOI: 10.31857/S086978092102003X.
4. Garcia C., Santos S., Mendonça, M., Garcia H. Evaluation of Water Quality Indices: Use, Evolution and Future Perspectives. *Advances in Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/63689> (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.5772/intechopen.79408.
5. Khodorovskaia N., Yachmenev V., Kravtsova A., Kraïneva S., Deryabina L. Ecological well-being of water sources as a factor of an industrial city sustainable development. *E3S Web of Conferences*. 2021. № 258. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/34/e3sconf_uesf2021_08007.pdf (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202125808007.
6. Yan T., Shen S.-L., Zhou A. Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution* (2022). № 308. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122008259?via%3Dihub> (дата обращения: 27.02.2023). DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119611.
7. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Самарский научный центр РАН, 2003. 463 с.

8. Кочетова Ж.Ю., Лазарев И.С., Базарский О.В., Внукова С.В. Методика оценки качества поверхностных вод по приоритетным загрязнителям // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2022. № 3. С. 268-280.

9. Бакаева Е.Н. Проблемы оценки качества поверхностных вод // Степная Евразия – устойчивое развитие: сборник материалов международного форума (Ростов-на-Дону, 27–30 сентября 2022 года). Ростов н/Д.: Южный федеральный университет, 2022. С. 117-119.

10. Зубарев В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. № 2. С. 71-77.

11. Р 52.24.763-2012 Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов н/Д.: ФГУ ГХИ, 2012. 22 с.

12. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д.: ФБГУ ГХИ, 2011. 50 с.