

Солевой состав вод Бурейского водохранилища

В.П. Шестеркин  , Н.М. Шестеркина 

 shesterkin@ivep.as.khb.ru

ФГБУН «Хабаровский федеральный исследовательский центр
«Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения
Российской академии наук», г. Хабаровск, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Изучение солевого состава вод Бурейского водохранилища с начала заполнения актуально для прогноза качества воды проектируемых в бассейне Амура водохранилищ. Полученные в результате исследований данные необходимы при осуществлении мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнения. Цель проведенного исследования – оценка содержания основных ионов в воде Бурейского водохранилища, выявление факторов, определяющих их пространственно-временную изменчивость.

Методы. Гидрохимические наблюдения на Бурейском водохранилище с 2003 по 2008 гг. осуществляли на пяти, охватывающих основную часть акватории, участках. Поверхностные слои воды исследовали в январе и июле 2019 г. в районе Бурейского оползня, в июле 2020 г. на восьми участках водоема между оползнем и плотиной ГЭС. Аналитические работы проводили по принятым в гидрохимии методам. **Результаты.** Дана оценка содержания основных ионов в воде водохранилища в период наполнения и в последующие годы. Показано доминирование в солевом составе воды среди катионов иона кальция, среди анионов – гидрокарбонатного иона. Установлено, что поэтапное заполнение водоема способствовало постепенному сглаживанию различий содержания основных ионов, стабилизации солевого состава воды на шестой год заполнения. В современных условиях содержание ионов натрия и калия, хлоридных ионов по акватории водоема распределено относительно равномерно, наибольшая концентрация гидрокарбонатов кальция и магния отмечена в районе устья р. Тырмы. Рассмотрено влияние крупного оползня на содержание основных ионов в воде в 2019–2020 гг.


КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Бурейское водохранилище, минерализация, основные ионы.

Для цитирования: Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Солевой состав вод Бурейского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 5. С. 29–42. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-5-2.

Дата поступления 22.01.2021.

© Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., 2021

SALT COMPOSITION OF THE WATERS OF THE BUREYA RESERVOIR

Vladimir P. Shesterkin  , Nina M. Shesterkina  shesterkin@ivep.as.khb.ru*Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk, Russia*

ABSTRACT:

Significance. Significance of the work lies in the need to study the salt composition of the Bureya reservoir water from the beginning of filling, which is important for predicting the water quality of reservoirs in the Amur basin that are to be designed. The objective is to evaluate content of main ions in the water of the Bureya reservoir, and to identify factors determining their spatial and temporal variability. **Methods.** Hydro/chemical observations in the Bureya reservoir were made from 2003 to 2008 at five plots covering the major part of the water area. Water samples were taken from the surface, middle, and near-bottom horizons in winter, summer, and fall. Water samples were taken from the surface in January, July 2019 in the landslide area and in July 2020 at eight sites in the water body between the landslide and the hydropower dam. Analytical work was carried out according to the methods accepted in hydrochemistry. Materials of the Amur Basin Water Administration for 2005-2019 were used in the work. **Results.** The content of the main ions in the water of the reservoir during the filling period and the following years was assessed. The dominance of calcium ion among cations and hydrocarbonate ion among anions in the salt composition of water was shown. It is established that the emergence of oxygen deficit in water due to the increased area of flooded forests and reduced water inflow caused the absence of sulfate ion in the reservoir water in autumn and winter 2005. It is shown that staged filling of the reservoir contributed to gradual smoothing of differences in the content of major ions and stabilization of the salt composition of water in the sixth year of filling. In current conditions the content of sodium and potassium ions and chloride ions in the water area of the reservoir is relatively evenly distributed, the highest values of concentrations of calcium and magnesium hydrogen carbonates are observed near the mouth of the Tyrma River. The effect of a large landslide on the content of major ions in the water in 2019-2020 is considered.

Keywords: Bureya water reservoir, mineralization, major ions.

For citation: Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. Salt composition of the waters of the Bureya reservoir. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2021. No 4. P. 29–42. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-5-2.

Received January 22, 2021.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в бассейне р. Амур активно развивается гидротехническое строительство. Наибольшее количество водохранилищ для водоснабжения, энергетики и орошения создано на территории Китая. В российской части бассейна общий объем воды в Зейском, Бурейском и Нижнебурейском водохранилищах достигает 91 км³.

Бурейское водохранилище – второй, после Зейского, крупный искусственный водоем в российской части бассейна Амура. Помимо использования энергетического потенциала реки его сооружение уменьшило риск возникновения наводнений в нижнем течении р. Бурья, способствовало сохранению ее экологического состояния и судоходства в нижнем бьефе.

Водоохранилище расположено в Амурской области и Хабаровском крае, плотина Бурейской ГЭС находится в 186 км выше устья р. Бурья. Площадь водосбора составляет 64,8 тыс. км², длина водохранилища – 140 км, площадь зеркала – 750 км², полный объем – 20,9 км³, максимальная глубина при НПУ 256 м – 118 м.

Наполнение Бурейского водохранилища началось в апреле 2003 г. Во время заполнения химический состав воды формировался в условиях высокого водного обмена. В 2004, 2009, 2010, 2012, 2013, 2016 и 2019 гг. приток воды в водохранилище превышал среднемноголетнее значение (27,3 км³), причем в 2019 г. был максимальным с начала зарегулирования, что обусловило высокую водность реки в нижнем бьефе. В маловодном 2008 г. приток воды был в два раза меньше. Параметры Бурейского водохранилища за период 2005–2019 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры Бурейского водохранилища в 2005–2019 гг., км³
Table 1. Parameters of the Bureya Reservoir in 2005–2019, km³

Показатель	Год														
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Приток	24,9	21,9	22,8	20,0	34,1	29,5	20,4	32,8	38,2	21,9	24,6	37,1	28,3	27,3	41,9
Объем	9,2	13,5	14,3	17,5	20,9	20,3	19,4	20,9	20,9	19,3	20,9	20,5	20,6	20,5	20,6
Сток (XII–III)	4,8	4,6	4,8	4,6	6,1	8,2	7,5	7,3	5,8	7,9	6,3	8,4	7,8	8,5	8,5
Сток (IV–XI)	19,5	14,8	17,7	11,8	28,1	22,9	13,3	22,9	30,3	15,8	16,0	30,2	16,6	18,8	34,0

В период заполнения водохранилища основное влияние на формирование химического состава воды оказали сток питающих его рек, затопленные лесные и заболоченные массивы. Особенности его наполнения в 2003–2008 гг., связанные с выработкой электроэнергии на стадии строительства, должны были снизить влияние затопленных почв и растительности на качество воды. В дальнейшем гидрохимический режим и качество воды определялись стоком питающих рек и внутриводоемными процессами. Проводившийся с первых дней эксплуатации мониторинг состояния Бу-

рейского водохранилища позволил проанализировать пространственную изменчивость концентраций главных ионов как в период заполнения, так и в последующие годы. Эти данные могут использоваться для прогнозирования качества вод проектируемых в бассейне Амура Селемджинского, Ниманского и других водохранилищ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Гидрохимические наблюдения на Бурейском водохранилище осуществляли в период наполнения с 2003 по 2008 гг. на пяти, охватывающих основную часть акватории, участках. Пробы воды отбирали с поверхности, среднего и придонного горизонтов зимой, летом и осенью. На Приплотинном и Чеугдинском участках образцы воды отбирали на трех, равномерно распределенных по ширине водоема вертикалях, на Сектаглинском, Тырминском и Нижнемельгинском участках – на середине. В январе и июле 2019 г. пробы воды отбирали с поверхности в районе оползня (Сандарский участок), в июле 2020 г. – на восьми участках (рис. 1) на середине водоема.

Аналитические работы осуществляли в Центре коллективного пользования при Институте водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук по принятым при гидрохимических исследованиях методам.¹ В работе использовали материалы Амурского бассейнового водохозяйственного управления Федерального агентства водных ресурсов за 2005–2019 гг.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Формирование химического состава воды в водохранилищах – сложный и многогранный процесс, зависящий от комплекса разнообразных факторов, связанных как с функционированием водных экосистем, так и с природными условиями водосбора. На состав воды оказывают влияние многие абиотические, биологические и антропогенные факторы. В природных условиях они действуют в сложной зависимости и взаимосвязи, определяя трансформацию многих химических веществ.

В начале создания Бурейского водохранилища основное влияние на солевой состав его вод в условиях отсутствия хозяйственной деятельности в береговой зоне оказывали воды питающих рек Буряя и Тьрма. Определенная часть солей поступала из затопленных почв и растительности. Поверхностные воды бассейна р. Буряя, по классификации О.А. Алекина [1],

¹ РД 52.18.595-96 Руководящий документ. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200036098> (дата обращения: 19.08.2021)

относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу. Концентрация иона калия не превышает $0,9 \text{ мг/дм}^3$, хлоридного иона – $1,4 \text{ мг/дм}^3$ и незначительно отличается от содержания в воде ледниковых озер хр. Дуссе-Алинь. Содержание остальных главных ионов изменяется в широких пределах, зависит от состава подстилающих пород.

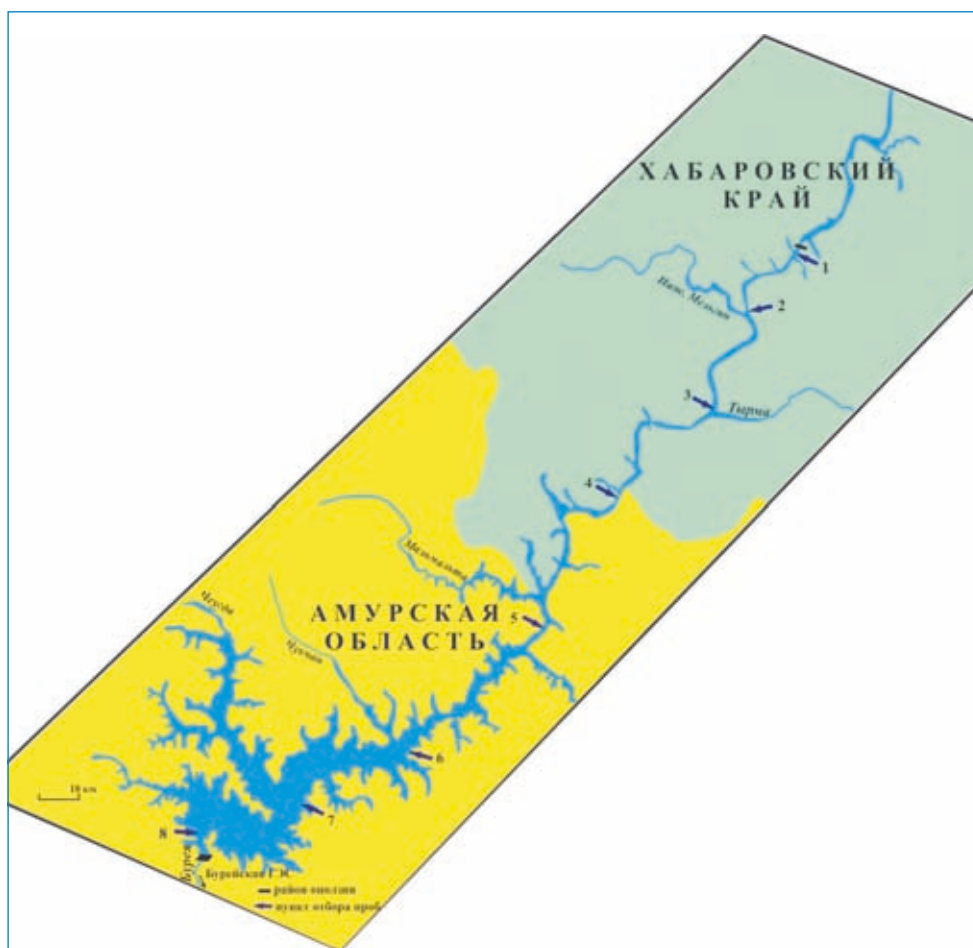


Рисунок. Схема Бурейского водохранилища: 1 – Сандарский, 2 – Нижнемельгинский; 3 – Тырминский; 4 – Сектаглинский, 5 – Мальмальтинский; 6 – Чукчанский; 7 – Чеугдинский; 8 – Приплотинный участки.

Fig. The schematic map of the Bureya Reservoir: 1 – Sandar; 2 – Nizhnelmelginsk; 3 – Tyrminsk; 4 – Sektaglinsk; 5 – Malmaltinsk; 6 – Chukchansk; 7 – Chegudinsk; 8 – Priplotinnyy ranges.

Наименьшее содержание литогенных ионов характерно для правых притоков р. Бурея (Ниман, Туюн и др.), дренирующих интрузивные и метаморфические породы хр. Турана, Дуссе-Алиня и Эзопа. Содержание сульфатного иона находится ниже предела обнаружения, минерализация воды не превышает $16,7 \text{ мг/дм}^3$, что свидетельствует о преобладании в питании рек дождевых и снеговых вод. Левые притоки р. Бурея (Ургал, Чегдомын, Дубликан и др.), химический состав вод которых формируется на сложенных терригенными юрскими и меловыми отложениями западных склонах Буреинского хребта, отличаются более высоким содержанием основных ионов. Наибольшие концентрации Ca^{2+} и Na^+ достигают $7,0$ и $2,6 \text{ мг/дм}^3$ соответственно, HCO_3^- и SO_4^{2-} – 34 и $9,6 \text{ мг/дм}^3$ соответственно [2]. Максимальное содержание основных ионов наблюдается в воде р. Гуджал (приток р. Тырма) в районах распространения карста. Содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- в период открытого русла здесь возрастает до $19,1$, $4,6$ и $76,0 \text{ мг/дм}^3$ соответственно [3].

В начале заполнения водохранилища (2003–2004 гг.) высокий водный обмен и большие различия химического состава вод рек Бурея и Тырма обусловили значительную пространственно-временную неоднородность состава воды в водоеме [4]. Минерализация воды изменялась в пределах $18,4$ – $49,6 \text{ мг/дм}^3$. Наименьшее содержание солей отмечено на Приплотинном участке, наибольшее, из-за повышенной концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} , на Тырминском участке (табл. 2).

По вертикальному разрезу на всех участках водохранилища, за исключением Тырминского, высокий водный обмен, малые глубины и попуски придонных слоев воды через нижние затворы обусловили относительно равномерное распределение солей. На Тырминском участке в октябре 2004 г. в результате плотностных течений более высокие концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ отмечались в придонных слоях воды по сравнению с поверхностными. Минерализация воды на глубине 54 м была выше на $14,7 \text{ мг/дм}^3$ по сравнению с поверхностными горизонтами.

Среди анионов в составе воды отмечалось хорошо выраженное преобладание концентрации HCO_3^- (34 – 42 %-экв), значительно меньше SO_4^{2-} (<14 %- экв) и Cl^- (<2 %- экв) ионов. В катионном составе доминировал Ca^{2+} (24 – 29 %-экв). Содержание Mg^{2+} зафиксировано в пределах 11 – 18 %-экв, Na^+ – не превышало 10 %-экв.

В сезонном отношении наименьшие концентрации основных ионов на всех участках водохранилища отмечались в июне, когда в стоке питающих его рек доминировали талые снеговые воды. В дальнейшем содержание главных ионов в воде постепенно возрастало, достигая зимой на Приплотинном, Чеугдинском и Сектаглинском участках максимальных значений за счет вклинивания в верхние горизонты вод р. Тырма.

Таблица 2. Содержание Ca^{2+} в воде на участках Бурейского водохранилища по сезонам и годам в период наполнения, мг/дм^3
 Table 2. Ca^{2+} content in water at the Bureya Reservoir ranges in different seasons and years during the filling period, mg/dm^3

2003		2004			2005			2006			2007			2008		
лето	осень	зима	лето	осень	зима	лето	осень	зима	лето	осень	зима	лето	осень	зима	лето	осень
Нижнемельгинский																
-	-	$\frac{6,9}{-}$	$\frac{4,7}{3,7}$	$\frac{4,2}{5,1}$	$\frac{6,6}{6,6}$	$\frac{3,6}{3,2}$	$\frac{4,5}{3,7}$	$\frac{6,4}{5,5}$	$\frac{3,0}{3,3}$	$\frac{4,9}{4,9}$	-	$\frac{3,6}{3,8}$	$\frac{4,0}{4,0}$	-	$\frac{4,3}{4,3}$	$\frac{4,1}{3,7}$
Тырминский																
-	-	$\frac{6,9}{7,3}$	$\frac{5,1}{4,4}$	$\frac{5,7}{7,4}$	-	$\frac{6,7}{5,7}$	$\frac{6,0}{6,4}$	$\frac{7,2}{7,2}$	$\frac{3,2}{4,1}$	$\frac{4,5}{5,7}$	-	$\frac{6,4}{6,0}$	$\frac{4,4}{5,6}$	-	$\frac{6,8}{4,9}$	$\frac{3,7}{6,5}$
Сектаглинский																
-	-	$\frac{5,4}{6,5}$	$\frac{3,4}{3,5}$	$\frac{4,2}{4,6}$	$\frac{7,0}{5,8}$	$\frac{3,6}{4,0}$	$\frac{4,1}{4,1}$	$\frac{6,8}{4,7}$	$\frac{3,0}{3,2}$	$\frac{4,5}{4,5}$	-	$\frac{4,0}{4,2}$	$\frac{4,0}{4,8}$	-	$\frac{4,3}{4,3}$	$\frac{4,1}{4,1}$
Чеугдинский																
$\frac{4,0}{4,6}$	$\frac{4,1}{3,1}$	-	$\frac{3,3}{3,3}$	$\frac{4,6}{4,6}$	$\frac{6,8}{5,4}$	$\frac{3,7}{3,4}$	$\frac{4,1}{4,0}$	$\frac{6,8}{4,8}$	$\frac{3,0}{3,1}$	$\frac{4,9}{4,1}$	-	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,0}$	-	$\frac{4,3}{4,7}$	$\frac{4,1}{4,1}$
Приплотинный																
$\frac{3,7}{3,4}$	$\frac{4,1}{3,1}$	$\frac{6,5}{5,0}$	$\frac{3,4}{3,4}$	$\frac{3,7}{4,5}$	$\frac{7,0}{5,9}$	-	-	-	$\frac{3,1}{3,4}$	$\frac{4,9}{5,3}$	$\frac{6,2}{5,0}$	$\frac{4,6}{4,8}$	$\frac{4,0}{3,6}$	$\frac{4,5}{4,3}$	$\frac{4,5}{4,8}$	$\frac{4,1}{4,5}$

Примечание: в числителе – поверхностный, в знаменателе – придонный горизонт; прочерк – не определяли.

В 2005 г. увеличение площади затопляемых лесов наряду со снижением притока (табл. 1) существенно повлияло на содержание основных ионов. Минерализация воды на всех участках, за исключением Тырминского, летом варьировала в пределах 22,8–25,5 мг/дм^3 , осенью – 22,4–30,5 мг/дм^3 [4]. Различия в содержании Ca^{2+} между поверхностными и придонными горизонтами на Чеугдинском, Сектаглинском и Нижнемельгинском участках летом не превышали 0,4 мг/дм^3 , осенью – 0,8 мг/дм^3 , т. е. были незначительными.

Более существенные изменения, вызванные притоком речных вод с более высокой температурой, отмечались осенью в содержании сульфатов. В сентябре в придонных слоях Чеугдинского участка на глубине 80 м температура воды достигала 16,4 °С, в октябре – 13,2 °С, в то время как на поверхности – 19,4 и 16,8 °С соответственно. Повышение температуры способствовало усилению окислительно-деструкционных процессов, в результате чего по всему вертикальному разрезу Чеугдинского участка наблюдался дефицит растворенного кислорода (до 3,0 мг/дм³) [5]. Низкое содержание кислорода и наличие сульфатредуцирующих бактерий, использующих кислород сульфатов и выделяющих сероводород [6], могли снизить содержание SO₄²⁻ в сентябре до 1,8–2,2 мг/дм³, а в октябре на всех участках до 0,4 мг/дм³. Дефицит кислорода и наличие сероводорода в придонных слоях воды в начале наполнения отмечалось и на других водохранилищах Сибири и Дальнего Востока, однако снижения содержания SO₄²⁻ зафиксировано не было [7–11]. Лишь в поверхностных слоях воды Зейского водохранилища в районе плотины в июле 2013 г. наряду с повышенным уровнем сульфатредуцирующих бактерий [12] содержание SO₄²⁻ находилось ниже предела обнаружения [13]. Поэтому в октябре 2005 г. на Чеугдинском участке среди анионов в составе воды отмечалось значительное доминирование HCO₃⁻ (44,8%-экв), содержание Cl⁻, а тем более SO₄²⁻, было существенно меньше (4,8 и 0,4%-экв соответственно). В катионном составе доминировал Ca²⁺ (26 %-экв). Содержание Mg²⁺ достигало 14,9 %-экв, Na⁺ – 7,4 %-экв. Подобный солевой состав воды сохранялся по всему вертикальному разрезу этого участка, а также в нижних слоях воды Сектаглинского и Нижнемельгинского участков в марте 2006 г.

В летне-осенний период 2006–2008 гг. постепенное снижение водного обмена привело к сглаживанию различий в содержании основных ионов в воде по акватории и глубине на всех участках водоема, за исключением Тырминского. Минерализация воды на большей части акватории не превышала 37 мг/дм³, среднегодовые значения в 2007 и 2008 гг. составляли соответственно 30,4 и 32,4 мг/дм³ [4]. Среднее содержание Ca²⁺ в этот период было на уровне 4,1 мг/дм³, при этом по мере снижения водного обмена его концентрации постепенно возрастали. Если на Нижнемельгинском и Чеугдинском участках среднегодовые концентрации кальция в 2006 г. составляли 3,1 и 3,5 мг/дм³ соответственно, то в маловодном 2008 г. – 4,0 и 4,5 мг/дм³. Различия между поверхностными и придонными слоями не превышали 0,8 мг/дм³.

На Тырминском участке, как и ранее, минерализация воды была выше. В 2006–2008 гг. ее среднее значение достигало 39 мг/дм³. Концентрация Ca²⁺ в среднем составляла 5,7 мг/дм³. Сохранялось и неравномерное рас-

пределение концентраций основных ионов по глубине. В августе наиболее маловодного 2008 г. содержание Ca^{2+} в поверхностных слоях воды, по сравнению с придонными, было выше на $1,9 \text{ мг/дм}^3$, а в октябре – ниже на $2,8 \text{ мг/дм}^3$, т. е. различия стали более резкими, чем в предыдущие годы (табл. 2). Существенно изменилась и сезонная динамика содержания основных ионов. Наблюдения свидетельствовали об отсутствии больших различий между зимними и летними значениями на Приплотинном участке (табл. 2), неоднородном их распределении по продольному профилю водохранилища в начале лета, обусловленном преобладанием вод весеннего половодья над зимними водами прошедшего водохозяйственного года. Таким образом, если на Нижнемельгинском участке содержание иона кальция в воде в июне 2008 г. в среднем составляло $4,4 \text{ мг/дм}^3$, то на Приплотинном и Чеугдинском участках – $4,9 \text{ мг/дм}^3$.

Улучшение кислородного режима в водохранилище в 2006 г. (в придонных слоях до $2,6\text{--}9,6 \text{ мг/дм}^3$ [5]) обусловило появление сульфатного иона, максимальное содержание которого в придонных слоях воды Приплотинного участка достигало $9,5 \text{ мг/дм}^3$, Чеугдинского и Сектагинского – $7,2 \text{ мг/дм}^3$, Тырминского и Нижнемельгинского участков – $7,6 \text{ мг/дм}^3$. Поэтому в 2006–2008 гг., по сравнению с 2005 г., в солевом составе воды не наблюдалось больших изменений в содержании катионов, тогда как, среди анионов содержание HCO_3^- снизилось до 35 %-экв, а SO_4^{2-} возросло до 12,5 %-экв, т. е. стало таким же, как в начале заполнения.

Последующие наблюдения в январе 2019 г. в районе оползня (рис. 1), разделившего водохранилище на две части в декабре 2018 г., свидетельствовали об отсутствии различий в содержании основных ионов (табл. 3). Лишь в правобережной части водоема, ниже оползня, отмечалось незначительное повышение содержания HCO_3^- и Mg^{2+} , что могло быть обусловлено растворением некоторой части обломочного материала фильтрующимися через плотину водами [14].

Повышенная концентрация сульфатного иона в это время, по сравнению с мартом 2006 г., свидетельствовала об усилении хозяйственной деятельности в бассейне р. Буряя. Если в 2007 г. шахтно-рудничные воды не сбрасывались в р. Чегдомын из-за закрытия угольного разреза «Ургальский», то в 2018 г. поступило $315,5 \text{ т}$ сульфатов².

Отсутствовали большие различия в содержании основных ионов в воде водохранилища в районе оползня и в июле 2019 г. после появления прорана в левобережной его части, соединившего верхнюю и нижнюю части водохранилища. Максимальный за все годы наблюдений приток воды в водоем

² Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2018 году. Хабаровск: МПП Хабаровского края. 2019. 248 с.

Таблица 3. Химический состав вод в левобережной (ЛБ) и правобережной (ПБ) части Бурейского водохранилища выше и ниже оползня, январь–июль 2019 г.

Table 3. Chemical composition of the Bureya Reservoir left bank (ЛБ) and right bank (ПБ) parts upstream and downstream the landslide, January-July, 2019

Показатель, мг/дм ³	с. Чекунда	Выше оползня		Ниже оползня	
		ЛБ	ПБ	ЛБ	ПБ
Na ⁺	3,0	3,0/1,0	3,0/1,0	3,0/1,0	3,0/1,0
K ⁺		<1,0			
Ca ²⁺	6,4	6,4/3,3	6,4/3,3	6,4/3,3	6,4/3,7
Mg ²⁺	1,7	1,2/1,0	1,2/1,3	1,2/1,0	1,5/1,0
HCO ₃ ⁻	28	29/12	28/14	28/12	32/17
Cl ⁻	0,9	1,1/<0,5	1,4/<0,5	1,3/<0,5	1,3/<0,5
SO ₄ ²⁻	5,3	4,1/1,5	5,4/1,8	5,6/2,2	5,2/1,7
Минерализация	44,3	43,8/19,2	44,4/22,1	44,5/22,0	48,4/25,7

(табл. 1) обусловил в это время более низкое, чем в 2007–2008 гг. [4], содержание солей (табл. 3). Минерализация воды изменялась в узких пределах (19–26 мг/дм³), содержание основных ионов распределялось относительно равномерно, за исключением правобережной части, где проявлялось влияние р. Средний Сандар.

В солевом составе воды в 2019 г., также как в 2004 гг., отмечалось преобладание HCO₃⁻ среди анионов (до 40 %-экв.) и Ca²⁺ (до 26,4 %-экв.) среди катионов. Меньше содержалось Mg²⁺ и SO₄²⁻ – до 13,1 и 7,9 %-экв. соответственно. Таким образом, различия концентраций основных ионов в воде в районе оползня в 2004 и 2019 гг. были незначительными, большого влияния оползень на солевой состав не оказал.

Наблюдения на акватории водохранилища в июле 2020 г. свидетельствовали об отсутствии различий в концентрациях Na⁺, K⁺ и Cl⁻ в воде (табл. 4). Максимальное содержание Ca²⁺ и Mg²⁺, HCO₃⁻ отмечалось на Тырминском и Сектаглинском участках, также как и в период наполнения в 2003–2008 гг., за счет влияния более минерализованных вод р. Тырма. Наименьшие концентрации этих ионов, как и ранее, были характерны для Сандарского и Нижнемельгинского участков. Отсутствовали большие различия солевого состава воды по сравнению с 2019 г.

Таблица 4. Химический состав воды Бурейского водохранилища между Сандарским и Приплотинным участками в июле 2020 г., мг/дм³
 Table 4. Chemical composition of the Bureya Reservoir water between Sandarsk and Priplotinny ranges in July, 2020, mg/dm³

Показатель	Номер участка (рисунок)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Na ⁺	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
K ⁺	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Ca ²⁺	3,3	2,9	5,9	6,1	5,1	4,1	3,9	3,9
Mg ²⁺	1,4	1,2	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,4
HCO ₃ ⁻	14	12	24	24	21	17	17	18
Cl ⁻	0,26	0,26	0,35	0,26	0,35	0,26	0,26	0,26
SO ₄ ²⁻	3,3	3,2	1,9	3,5	2,0	3,3	2,1	3,2
Минерализация	24,6	21,9	36,3	37,8	32,3	27,9	26,6	28,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования впервые рассмотрены основные факторы и процессы формирования солевого состава вод Бурейского водохранилища в период наполнения и эксплуатации. В начале заполнения (2003–2004 гг.) высокий водный обмен и большие различия в химическом составе вод рр. Бурей и Тьрма обусловили пространственно-временную неоднородность состава воды в водохранилище. Наименьшее содержание основных ионов отмечалось в июне на Приплотинном участке при наполнении тальми снеговыми водами, наибольшее – зимой на Тьрминском участке. В 2005 г. увеличение площади затопляемых лесов и снижение притока обусловило отсутствие осенью и зимой сульфатного иона. В 2006–2008 гг. снижение водного обмена привело к сглаживанию различий в содержании солей в воде по акватории и глубине на всех участках водохранилища, кроме Тьрминского, увеличению содержания сульфатного иона.

Исследования в районе оползня в 2019 г. свидетельствовали об отсутствии различий в содержании основных ионов. Исключение составила правобережная часть водоема ниже оползня, где отмечалось незначительное повышение содержания HCO₃⁻ и Mg²⁺. Летом 2020 г. содержание Na⁺, K⁺ и Cl⁻ распределялось равномерно, максимальные концентрации Ca²⁺ и HCO₃⁻ отмечались ниже устья р. Тьрма, наименьшие – выше ее устья.

В составе воды среди катионов преобладает Ca^{2+} (до 29 %-экв.), содержание Mg^{2+} менее 18 %-экв. Среди анионов доминирует HCO_3^- (до 42 %-экв.), содержание SO_4^{2-} – менее 14 %-экв, осенью 2005 г. и в марте 2006 г. снижалось до 0,4 %-экв.

Полученные в результате исследований данные необходимы для разработки и реализации мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнения, могут быть использованы в качестве дополнительной информации при возникновении чрезвычайных ситуаций и в прогнозе качества вод проектируемых водохранилищ Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
2. Шестеркина Н.М., Таловская В.С., Ри Т.Д., Шестеркин В.П. Гидрохимия притоков Бурейского водохранилища // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 18–27.
3. Шестеркин В.П. Особенности химического состава природных вод Приамурья в районах развития карста // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2019. С. 182–189.
4. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Таловская В.С. Минерализация и содержание органического вещества в воде Бурейского водохранилища в первые годы заполнения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 4. С. 33–40.
5. Шестеркин В.П. Кислородный режим Бурейского водохранилища // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С. 50–55.
6. Barton L., Hamilton W. Sulphate-reducing bacteria: environmental and engineered systems. Cambridge University Press. 533 p.
7. Дрюккер В.В., Домышева Н.Г., Шевелева Н.Г., Кузьмина И.Г., Никулина И.М., Балонов И.М., Шишкин Б.А. Гидрохимические и гидробиологические исследования Хантайского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1986. 120 с.
8. Кибальчин И.А., Артемова Г.З. Санитарное состояние Братского водохранилища в первые годы заполнения (1962–1964) // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М.: Наука, 1970. С. 226–274.
9. Лабутина Т.М. Формирование и прогнозирование гидрохимического режима водохранилищ Северо-Востока СССР. Якутск, 1985. 118 с.
10. Susekova N.G., Oganesyana A. Sh. Hydrochemical regime of the Kolymskoe reservoir at different stages of its filling. *Water Resource*. 1996. Vol. 23. No. 3. P. 323–331.
11. Чайкина М.В. Гидрохимический режим Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1975. 130 с.
12. Андреева Д.В., Кондратьева Л.М., Стукова О.Ю. Микробиологические исследования процессов сульфатредукции в Зейском водохранилище // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2014. 798 с.
13. Шестеркин В.П. Солевой состав вод Зейского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 5. С. 32–42. DOI: 10.35567/1999-4508-2015-5-3.

14. Шестеркин В.П. Гидрохимия Бурейского водохранилища в районе оползня в январе 2019 года // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием. Т. 2. Качество воды и геоэкология. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 215–218.

REFERENCES

1. Alekin O.A. Foundations of hydrochemistry. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 444 p. (in Russ.).
2. Shesterkina N.M., Talovskaya V.S., Ri T.D., Shesterkin V.P. Hydrochemistry of the Bureya Reservoir tributaries. Presnovodnye ekosistemy bassejna reki Amur [Fresh water ecosystems of the Amur River basin]. Vladivostok: Dal'nauka. 2008 P. 18–27 (in Russ.).
3. Shesterkin V.P. Special features of Amur Region waters chemical composition at the areas of karst development. *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* [Readings in memoriam of V.Y. Levanidov]. Vladivostok: Dal'nauka. 2019. P. 182–189. (in Russ.)
4. Shesterkin V.P., Sirotskiy S.E., Talovskaya V.S. Mineralizatsiya i sodержanie organicheskogo veshchestva v vode Burejskogo vodohranilishcha v pervye gody zapolneniya. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, 2011, no 4, p. 33–40. (in Russ.).
5. Shesterkin V.P. Oxygen regime of the Bureya Reservoir. *Geografiya i prirodnye resursy*. [Geography and natural resources], 2008, no 2, p. 50–55 (in Russ.).
6. Barton L., Hamilton W. Sulphate-reducing bacteria: environmental and engineered systems. Cambridge University Press. P. 533.
7. Dryukker V.V., Domyшева N.G., Sheveleva N.G., Kuz'mina I.G., Nikulina I.M., Balonov I.M., Shishkin B.A. Hydro/chemical and hydrological studies of the Khantaisk Reservoir. Novosibirsk: Nauka [Science], 1986. 120 p. (in Russ.).
8. Kibal'chin I.A., Artemova G.Z. Sanitary conditions in the Bratsk Reservoir during the first years of its filling (1962–1964). *Formirovanie prirodnikh usloviy i zhizni Bratskogo vodokhranilishcha* [Formation of natural conditions and existence of the Bratsk Reservoir M.: Nauka [Science], 1970. P. 226–274. (in Russ.).
9. Labutina T.M. Formation and forecasting of the USSR northeastern reservoirs hydro/chemical regime. Yakutsk, 1985. 118 p. (in Russ.).
10. Susekova N.G., Oganessian A. S. Hydrochemical regime of the Kolymskoe reservoir at different stages of its filling. *Water Resource*, 1996, Vol. 23, no 3, p. 323–331.
11. Chaykina M.V. Hydro/chemical regime of the Novosibirsk Reservoir. Novosibirsk: Nauka [Science], 1975. 130 p. (in Russ.).
12. Andreeva D.V., Kondrat'eva L.M., Stukova O.Y. Micro/biological researches of the sulphate reduction processes in the Zeya Reservoir. *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* [Readings in memoriam of V.Y. Levanidov]. Vladivostok: Dal'nauka, 2014. 798 p. (in Russ.).
13. Shesterkin V.P. Salt composition of the Zeya Reservoir waters. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, 2015, no 5, p. 32–42 (in Russ.).
14. Shesterkin V.P. The Bureya Reservoir hydrochemistry in the landslide area in January 2019. *Sovremenniye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov*: [Current problems of reservoirs and their catchments] tr. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. V. 2. Kachestvo vody i geokologiya. Perm': PGNIU, 2019. P. 215–218 (in Russ.).

Сведения об авторах:

Шестеркин Владимир Павлович, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; ORCID:0000-0002-7271-8228; e-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Шестеркина Нина Михайловна, старший научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; ORCID:0000-0001-7053-6087; e-mail: shesterkina@ivep.as.khb.ru

About the authors:

Vladimir P. Shesterkin, Candidate of Geographic Sciences, Khabarovsk Federal Research Center, Institute of Water and Ecological Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Dikopoltseva, 56, Khabarovsk, 680000 Russia; ORCID: 0000-0002-7271-8228; e-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Nina M. Shesterkina Senior Researcher, Khabarovsk Federal Research Center, Institute of Water and Ecological Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Dikopoltseva, 56, Khabarovsk, 680000 Russia; ORCID: 0000-0001-7053-6087; e-mail: shesterkina@ivep.as.khb.ru