

УДК 556.55

СОЛЕВОЙ СОСТАВ ВОД ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2015 г. В.П. Шестеркин

ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Хабаровск

Ключевые слова: Зейское водохранилище, минерализация, главные ионы.



В.П. Шестеркин

Рассмотрено формирование солевого состава вод Зейского водохранилища за многолетний период. Определены максимальные концентрации главных ионов и минерализация в придонных слоях воды в период наполнения, зафиксированы наименьшие значения минерализации и отсутствие стратификации в 1988 г. Показаны равномерное распределение концентраций главных ионов по акватории водохранилища в современных условиях и очень низкая минерализация воды.

Зейское водохранилище – наиболее крупное в бассейне р. Амур. Помимо использования энергетического потенциала реки его сооружение снизило риск наводнений в нижнем течении р. Зея, способствовало сохранению экологического состояния реки и судоходства ниже плотины.

Плотина Зейской ГЭС расположена в 649 км от устья р. Зеи. После завершения строительства в 1980 г. она создала при НПУ 315,0 м абс. водохранилище многолетнего регулирования глубиной 98 м с полным и полезным объемом воды 68,4 и 32,3 км³ соответственно, площадью зеркала – 2420 км². Длина водохранилища составляет 225 км, площадь водосбора 82 500 км². Максимальные приток и сброс воды в последние 30 лет отмечались в 2007 г. (15 200 и 4843 м³/с) и 2013 г. (11 700 и 4964 м³/с). Наибольший уровень воды (319,48 м абс.) наблюдался в 2013 г. Параметры Зейского водохранилища в 2005–2014 гг. приведены в табл. 1.

Зейское водохранилище, в отличие от многих других водохранилищ Сибири и Дальнего Востока (Вилуйского, Братского и др. [1]), характеризуется длительным периодом наполнения (1975–1985 гг.), который обусловил продолжительное по времени поступление в его воду минеральных веществ из затопленных почв и растительности. Такие особенности формирования качества воды, наряду с гидрологическими особенностями (малый водный

обмен, большие сработки и глубины в нижней части и др.) оказали влияние на гидрохимический режим Зейского водохранилища, в том числе – содержание главных ионов.

Формирование солевого состава вод Зейского водохранилища изучено лишь в период наполнения [2]. В последующие, включая и наиболее многоводные 2012 и 2013 годы, информация о содержании главных ионов, их пространственном распределении в воде водохранилища в научной литературе отсутствовала. Данная работа призвана восполнить этот пробел.

Таблица 1. Параметры Зейского водохранилища в 2005–2014 гг.

Характеристика	Годы									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Приток, км ³	26,9	30,1	37,9	25,0	30,2	28,0	18,0	38,3	47,6	25,7
Максимальный объем, км ³	70,9	74,5	77,6	68,6	73,2	67,9	61,4	75,0	80,2	63,8
Сток в XII–III, км ³	7,1	7,7	8,2	8,6	8,2	9,9	9,0	7,3	14,6	14,8
Сток в IV–XI, км ³	12,4	21,2	36,1	14,7	18,5	24,1	16,5	17,7	40,2	20,7

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Мониторинг качества воды Зейского водохранилища осуществляется Дальневосточным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ДВ УГМС) на Приплотинном и Алгинском (0,1 и 10 км выше плотины) створах с 1977 г., пункте у с. Бомнак – с 1984 г. Специалисты Института водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН) проводили наблюдения в летний период 1979, 1994, 2004 и 2013 гг. на 4–8 участках, полностью охватывающих акваторию водохранилища. Схема расположения участков приведена на рис. 1. Пробы воды отбирали с поверхности, среднего и придонного горизонтов.

Аналитические работы проводили в Межрегиональном центре экологического мониторинга гидроузлов (Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001. 515988) при ИВЭП ДВО РАН по принятым при гидрохимических исследованиях методам [3]. В работе использованы данные ДВ УГМС 1977–1988 гг. и Амурского бассейнового водохозяйственного управления Федерального агентства водных ресурсов 2005–2014 гг.

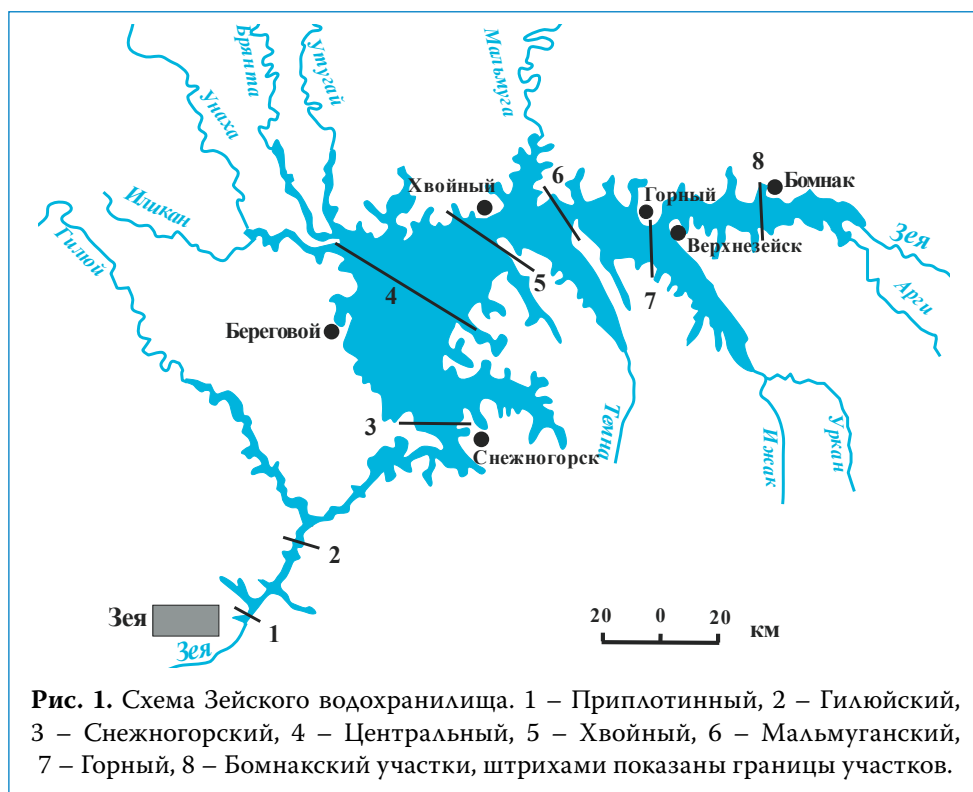


Рис. 1. Схема Зейского водохранилища. 1 – Приплотинный, 2 – Гилюйский, 3 – Снежногорский, 4 – Центральный, 5 – Хвойный, 6 – Мальмуганский, 7 – Горный, 8 – Бомнакский участки, штрихами показаны границы участков.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В формировании солевого состава Зейского водохранилища, как и любого другого, выделяются тесно связанные с особенностями его наполнения этапы:

- начало наполнения (1975–1978 гг.), объем водохранилища вырос до 23,3 км³, площадь зеркала до 1256 км²;
- максимальное наполнение (1982 г.), объем водохранилища увеличился до 51,0 км³, площадь зеркала до 1840 км²;
- заполнение до НПУ (1985–2014 гг.), объем воды водохранилища и площадь зеркала достигли максимальных значений.

В соответствии с этими этапами рассмотрим солевой состав вод Зейского водохранилища, который формировался в основном водами питающих его рек Зейя и Гилюй в условиях слабой хозяйственной деятельности на водосборе. В начале наполнения часть солей поступала в воду из затопленных почв и растительности.

Вода рек бассейна р. Зейя характеризуется невысокой минерализацией 14–100 мг/дм³, в половодье и дождевые паводки не превышающей 50 мг/дм³ [4].

По классификации О.А. Алекина [5], речные воды бассейна относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу. Содержание главных ионов изменяется в широких пределах. Максимальные значения минерализации наблюдаются в период зимней межени (содержание иона кальция в воде р. Гилюй достигало 50 мг/дм^3 , иона магния $10,9 \text{ мг/дм}^3$). В воде остальных притоков р. Зeya содержание солей ниже. Наименьшие концентрации отмечаются в половодье и летне-осенние паводки: иона кальция изменяются от $2,1$ до $3,7 \text{ мг/дм}^3$, иона магния – от $0,4$ до $2,2 \text{ мг/дм}^3$. Содержание ионов натрия и калия суммарно ниже $9,0 \text{ мг/дм}^3$, хлоридного иона в пределах $1,2$ – $5,0 \text{ мг/дм}^3$, сульфатного иона $1,3$ – $25,9 \text{ мг/дм}^3$ [2].

В начале наполнения водохранилища (1975–1978 гг.) выщелачивание солей из затопленных почв и растительности обусловило появление максимальных за период наблюдений концентраций главных ионов (табл. 2), наибольшие значения которых отмечались в придонных слоях воды. На Приплотинном участке содержание иона кальция в этих слоях зимой превышало $6,0 \text{ мг/дм}^3$, иона магния – $1,7 \text{ мг/дм}^3$. В поверхностных горизонтах значения были ниже на $1,8$ – $3,6$ и $1,0$ – $1,7 \text{ мг/дм}^3$ соответственно. Аналогичная стратификация отмечена и для анионов: так, содержание хлоридного иона в поверхностных слоях воды превышало $1,6 \text{ мг/дм}^3$, в придонных – $2,3 \text{ мг/дм}^3$. Для гидрокарбонатного и сульфатного ионов эти значения составили $12,2$ и $3,0 \text{ мг/дм}^3$ и $23,8$ и $4,3 \text{ мг/дм}^3$ соответственно.

Существенно различалась по глубине минерализация в целом (рис. 2), значения которой рассчитывались без учета содержания ионов натрия и калия. В поверхностных слоях она в среднем составляла $30,1 \text{ мг/дм}^3$, придонных – $48,2 \text{ мг/дм}^3$. Максимальное ее значение ($52,1 \text{ мг/дм}^3$) отмечено в придонных слоях воды в марте 1980 г.

Весной поступление талых снеговых вод и весенняя циркуляция обусловили снижение и выравнивание концентраций главных ионов по глубине. В связи с этим в летний период содержание ионов кальция и магния в придонных слоях воды было ниже $5,7$ и $2,7 \text{ мг/дм}^3$, в поверхностных – $4,3$ и $1,9 \text{ мг/дм}^3$. Концентрация иона натрия не превышала $1,0 \text{ мг/дм}^3$, иона калия – $1,2 \text{ мг/дм}^3$. Соответственно изменилось и содержание анионов: концентрации гидрокарбонатного и хлоридного ионов в поверхностных слоях воды в этот период находились в пределах $10,4$ – $14,0 \text{ мг/дм}^3$ и $1,6$ – $2,0 \text{ мг/дм}^3$ соответственно. В придонных горизонтах содержание этих ионов на $1,8$ – $3,1 \text{ мг/дм}^3$ и $0,5$ – $0,7 \text{ мг/дм}^3$, соответственно, было выше. Подобная стратификация характерна для сульфатного иона, концентрация которого в поверхностных слоях воды варьировала от $6,2$ до $7,5 \text{ мг/дм}^3$, в придонных – от $6,1$ до $12,8 \text{ мг/дм}^3$. В отличие от остальных ионов его содержание летом и осенью из-за окисления соединений серы, образующихся при деструкции затопленной древесины, было выше, чем зимой. Такое распределение суль-

Таблица 2. Содержание главных ионов и минерализация в воде Приплотинного участка Зейского водохранилища, мг/дм³

Год	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	М
1978	<u>3,1–7,7</u>	<u>0,7–3,6</u>	<u>9,2–30,5</u>	<u>2,0–12,8</u>	<u>1,3–3,4</u>	<u>20,8–48,9</u>
	5,0	1,5	14,5	7,4	2,2	31,2
1982	–	<u>0,7–2,1</u>	–	<u>4,4–10,3</u>	<u>0,5–1,4</u>	<u>14,9–39,0</u>
		1,4		8,8	0,9	22,4
1985	<u>3,0–3,4</u>	<u>1,5–1,8</u>	<u>8,5–13,4</u>	<u>3,4–6,0</u>	<u>0,5–0,9</u>	<u>18,2–23,3</u>
	3,2	1,6	11,4	4,6	0,8	21,4
1988	<u>2,2–3,6</u>	<u>1,0–2,1</u>	<u>7,3–11,6</u>	<u>3,7–6,8</u>	<u>0,8–1,1</u>	<u>15,9–25,5</u>
	3,0	1,4	9,2	4,9	0,7	19,7
1994	<u>3,0–3,6</u>	<u>1,2–1,6</u>	<u>11,4–13,4</u>	<u>4,0–5,6</u>	<u>0,6–0,9</u>	<u>22,0–26,2</u>
	3,5	1,3	12,6	4,8	0,7	24,1
2004	<u>3,1–4,6</u>	<u>0,7–1,7</u>	<u>13,4–19,5</u>	<u><1,0–4,0</u>	<0,5	<u>21,1–31,6</u>
	4,0	1,5	16,0	2,4		25,6
2013	<u>3,9–4,3</u>	<u>1,2–1,4</u>	<u>14,0–15,2</u>	<u><1,0–3,3</u>	<u>0,6–0,8</u>	<u>23,0–26,5</u>
	4,1	1,3	14,8	2,3	0,7	24,8

Примечание: числитель – интервал концентраций; знаменатель – среднее значение.

фатов по глубине отмечалось и при изучении гидрохимического режима Вилюйского [6] и Хантайского водохранилищ [7].

Минерализация воды весной значительно снижается, причем в придонных слоях в большей степени, чем в поверхностных (рис. 2). Различия в значениях минерализации между этими горизонтами составляли 3,9–12,6 мг/дм³. Осенью содержание солей распределялось по глубине относительно равномерно. Подобная сезонная динамика отмечена во все годы наблюдений (рис. 2). Низкая минерализация воды Зейского водохранилища обусловлена следующими факторами:

- в составе постилающих пород водосбора водохранилища в основном преобладают хорошо промытые четвертичные отложения (пески, супеси и др.), трудно выщелачиваемые интрузивные и метаморфизованные породы [8];
- почвенный покров водосбора водохранилища представлен подзолистыми буроземами, пойменными аллювиально-слоистыми, луговыми и болотными почвами, промытыми атмосферными осадками [9];
- в бассейне водохранилища отсутствуют крупные источники загрязнения.

Наблюдения, проведенные в октябре 1979 г., свидетельствовали о низком содержании ионов натрия, калия и хлоридного, концентрации которых в основном не превышали 1,3; 0,6 и 1,1 мг/дм³ соответственно, т. е. были на

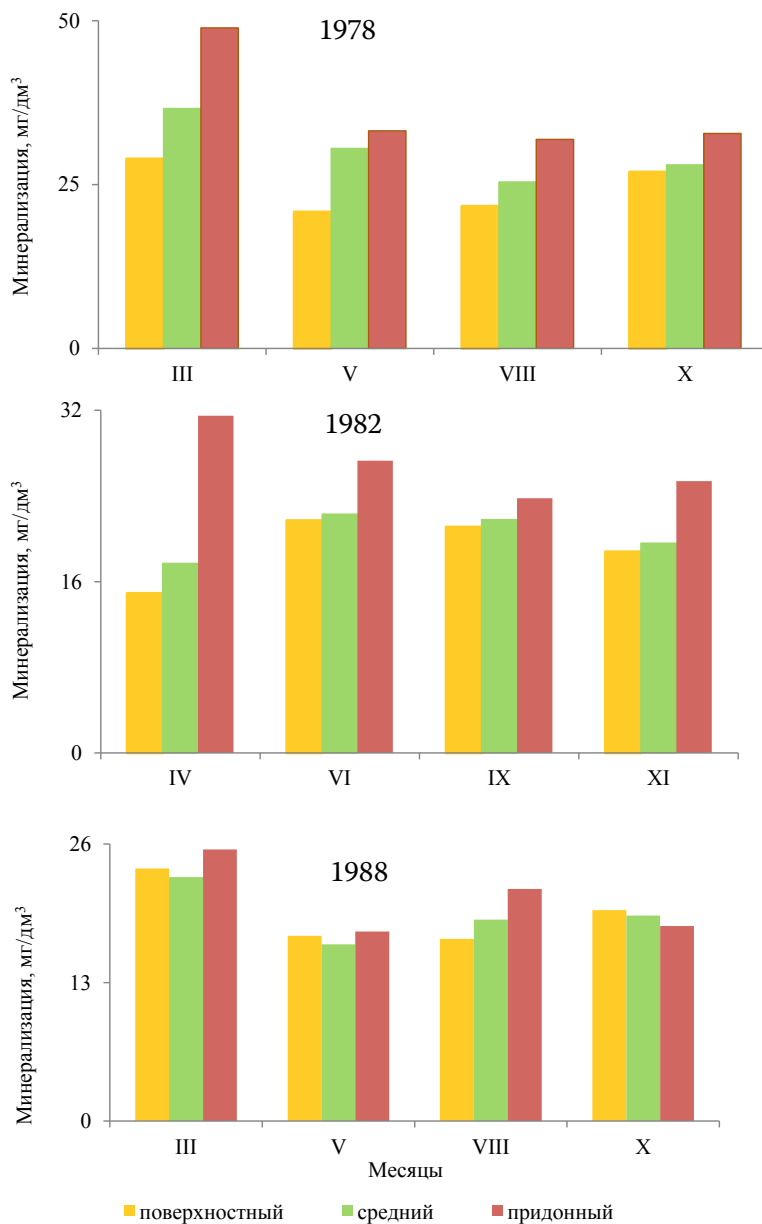


Рис. 2. Сезонная динамика минерализации воды Приплотинного участка Зейского водохранилища в 1978, 1982, 1988 гг.

уровне их содержания в воде ледниковых озер Приамурья [10]. По акватории и вертикальному разрезу водохранилища больших различий не отмечалось. Концентрации остальных ионов в пространственном отношении распределялись неравномерно. На Приплотинном и Гилюйском участках содержание ионов кальция, магния и гидрокарбонатного иона было максимальным в придонных слоях воды, Центральном и Мальмуганском участках различия в их концентрациях по вертикальному разрезу отсутствовали.

Длительный и этапный период наполнения водохранилища обусловил растянутое во времени поступление солей из затопленных почв и растительности, что, в свою очередь, определило более низкие, чем при разовом заполнении всего объема, значения минерализации (рис. 2).

В 1982 г. максимальное содержание главных ионов отмечено в придонных слоях воды, минимальное – в поверхностных. В сезонном отношении наибольшие концентрации иона магния и сульфатного иона наблюдались зимой. Летом и осенью содержание иона магния и хлоридного иона в поверхностных горизонтах воды не превышало 1,5 и 1,2 мг/дм³, в придонных – 2,1 и 1,4 мг/дм³ соответственно, т. е. было низким. Повышенными оставались концентрации сульфатного иона: в придонных слоях они изменялись от 4,9 до 7,1 мг/дм³, в поверхностных – от 6,5 до 9,0 мг/дм³.

С достижением НПУ в 1985 г. концентрации главных ионов и амплитуда их колебаний стали меньше, причем сульфатных ионов значительно (табл. 2), что свидетельствовало о постепенном снижении активности процессов разложения затопленной древесины. Подобное поведение сульфатов отмечалось в воде Бурейского водохранилища в начале его наполнения [11].

По вертикальному разрезу концентрации главных ионов распределялись относительно равномерно. Небольшие различия в составе воды свидетельствовали о стабилизации содержания главных ионов, которые стали определяться в основном содержанием их в водах питающих водохранилище рек.

В последующие годы концентрации главных ионов в воде Приплотинного участка постепенно уменьшались (табл. 2), хотя наибольшие значения, как и раньше, отмечались зимой, а наименьшие – весной (рис. 2). Однако сезонные различия в их содержании стали меньше, более равномерно соли распределились по глубине (рис. 2). В многоводном 1988 г. (приток воды в водохранилище составил 31,3 км³) наибольшая минерализация в придонных слоях воды зимой достигала 25,5 мг/дм³, летом и весной снижалась до 20,0 мг/дм³. Среднегодовое содержание кальция, гидрокарбонатного иона и в целом минерализации в это время имели самые низкие за период наблюдений значения (табл. 2), что могло быть вызвано поступлением в нижнюю часть водохранилища больших масс воды р. Гилюй, минерализация которых в это время достигала 15,3 мг/дм³.

Гидрохимические исследования в среднем по водности 1994 г. (приток воды в апреле–июле составил $16,6 \text{ км}^3$) показали более высокие, чем в 1988 г., концентрации иона кальция и гидрокарбонатного иона, а соответственно и минерализации (табл. 2), относительно равномерное распределение солей по акватории и глубине (рис. 3). Исключение составляли сульфаты, содержание которых на всех участках, за исключением Центрального, распределялось относительно равномерно. На Центральном участке водохранилища концентрация сульфатов в поверхностном слое воды составляла $4,2 \text{ мг/дм}^3$, в придонном – $7,7 \text{ мг/дм}^3$.

Слабый приток воды в водохранилище в 2000–2003 гг. ($19,0\text{--}25,2 \text{ км}^3$) и апреле–июле 2004 г. ($12,6 \text{ км}^3$) обусловил в августе 2004 г. некоторое увеличение содержания иона кальция, гидрокарбонатного иона, значения минерализации (табл. 2). Концентрация сульфатного иона снизилась в среднем в два раза, причем в отдельных горизонтах воды находилась ниже предела обнаружения. По глубине и акватории какой-либо закономерности в распределении концентрации солей не отмечалось. Среднее значение минерализации воды Зейского водохранилища не превышало 26 мг/дм^3 , т. е. являлось наиболее низким по сравнению с водохранилищами Сибири и Дальнего Востока [6, 7, 12, 13 и др.].

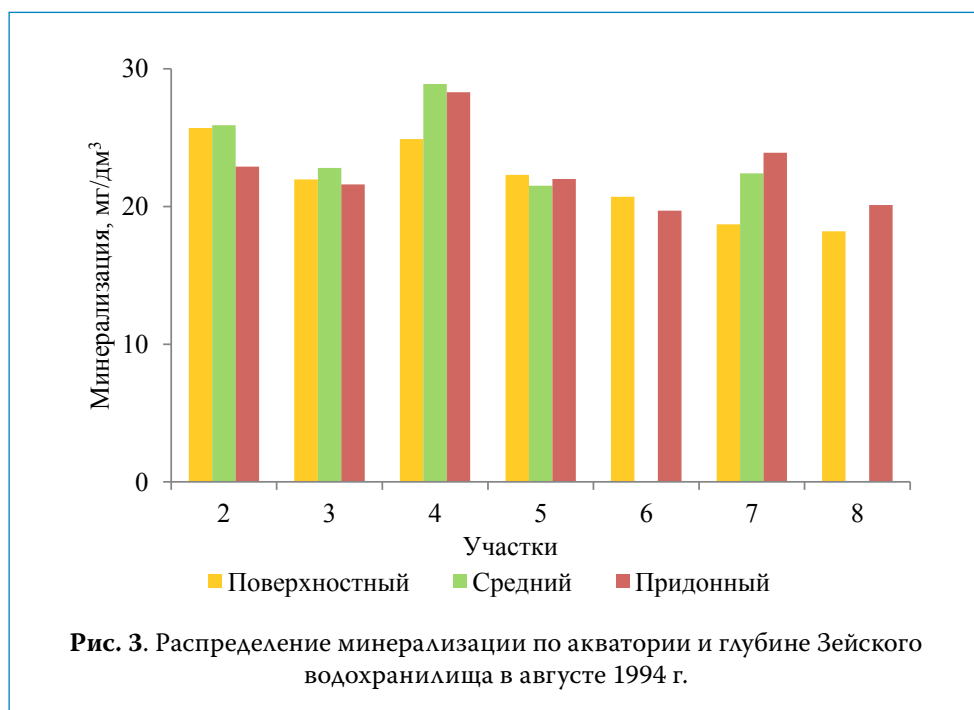
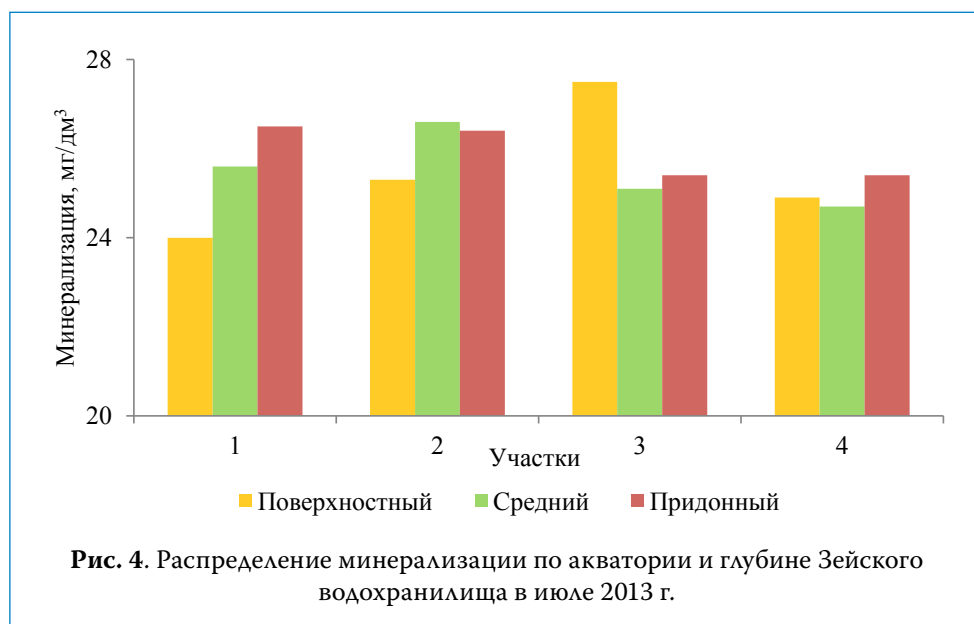


Рис. 3. Распределение минерализации по акватории и глубине Зейского водохранилища в августе 1994 г.

В 2013 г. содержание главных ионов в воде исследуемого водохранилища находилось на уровне 2004 г. (табл. 2), хотя большой приток воды в 2012 г. (табл. 1) и апреле–июне 2013 г. ($13,4 \text{ км}^3$) обусловили выход водохранилища на НПУ уже в середине июля. Содержание ионов натрия и калия, как и в предыдущие годы, не превышало $1,0$ и $0,5 \text{ мг/дм}^3$. По акватории и глубине водохранилища содержание большинства главных ионов распределялось относительно равномерно. Исключение составляли сульфаты, концентрации которых распределялись мозаично: наибольшие значения на Приплотинном и Гилюйском участках наблюдались в придонных слоях, на Центральном и Снежногорском участках – в поверхностных. Причем в придонных слоях воды Центрального и Снежногорского участков сульфаты находились ниже предела обнаружения.

Среди анионов в составе воды отмечено выраженное преобладание гидрокарбонатного иона ($39\text{--}42 \text{ \% экв}$), значительно меньше содержание сульфатного ($< 12 \text{ \% экв}$) и хлоридного ($< 4,0 \text{ \% экв}$) ионов. В катионном составе доминировали ионы кальция ($26\text{--}29 \text{ \% экв}$). Содержание магния находилось в пределах $13\text{--}16 \text{ \% экв}$, натрия не превышало 7 \% экв . (рис. 4)

Минерализация воды основной части водохранилища не превышала 25 мг/дм^3 , т. е. с 1982 г. практически осталась на прежнем уровне (табл. 2). Не замечены большие различия и в распределении ее по акватории. Исключение составили приустьевые участки малых рек Большой Гармакан,



Широковка, которые дренировали карбонатные отложения хр. Тукурингра. Концентрации ионов кальция и сульфатного на таких участках достигали 19,0 и 14 мг/дм³, минерализация – 110 мг/дм³. Повышенными были концентрации этих ионов и в воде р. Матовая – притоке р. Гилюй (8,2, 9,9 и 53,8 мг/дм³ соответственно).

ВЫВОДЫ

Максимальные концентрации главных ионов и минерализация, крайне неравномерное их распределение по глубине и акватории отмечены в период наполнения водохранилища (1977–1982 гг.). Наименьшее содержание главных ионов и минерализация, отсутствие больших различий по глубине, акватории и в сезонном отношении наблюдались в многоводном 1988 г.

В современных условиях содержание главных ионов в воде по акватории и глубине водохранилища распределено относительно равномерно, за исключением приустьевых участков рек, дренирующих карбонатные отложения. Минерализация вод Зейского водохранилища не превышает 26 мг/дм³ и является наименьшей среди водохранилищ Сибири и Дальнего Востока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
2. Мордовин А.М., Петров Ю.С., Шестеркин В.П. Гидроклиматология и гидрохимия Зейского водохранилища. Владивосток-Хабаровск: Дальнаука, 1997. 138 с.
3. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды РД 52.18.595–96 (в ред. Изменения № 1, утв. Росгидрометом 11.10.2002, Изменения № 2, утв. Росгидрометом 28.10.2009).
4. Тарасов М.Н., Лапшина Т.П., Башмакова О.И. Гидрохимия рек трассы БАМ. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 75 с.
5. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
6. Лабутина Т.М. Формирование и прогнозирование гидрохимического режима водохранилищ Северо-Востока СССР. Якутск: Наука, 1985. 114 с.
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. Гидрогеология СССР. Т. XXIII. Хабаровский край и Амурская область. ДТГУ / под ред. Н.А. Маринова. М.: Недра, 1971. 514 с.
9. Гришин И.А, Матюшкина Л.А. Почвы долин в районах водохранилищ Зейской и Бурейской ГЭС // Вопросы географии Дальнего Востока. 1979. Сб. 19. С. 42–58.
10. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.А. Река Буря: гидрология, гидрохимия, ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2006. 149 с.

11. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Бурея // Водное хозяйство России. 2014. № 4. С. 72–83.
12. Верблова Н.В. Формирование гидрохимического режима Братского водохранилища // Формирование планктона и гидрохимия Братского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1973. С. 78–118.
13. 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. 2011. № 4. С. 33–40.

Сведения об авторе:

Шестеркин Владимир Павлович, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», 680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: shesterkin@iver.as.khb.ru