



Серия «Науки о Земле»
2022. Т. 40. С. 105–120
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiageo.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 57.044
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.40.105>

Сезонная изменчивость концентрации хлоридных ионов в воде Куйбышевского водохранилища

К. В. Селезнева*

*Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, г. Тольятти, Россия
Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия*

А. В. Селезнева, В. А. Селезнев

Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, г. Тольятти, Россия

Аннотация. По данным многолетних наблюдений в период 2001–2019 гг. исследованы закономерности сезонной изменчивости содержания хлоридов в воде Куйбышевского водохранилища. Стационарный гидрохимический пункт наблюдений расположен в замыкающем створе водохранилища. Для изучения причин сезонной изменчивости концентрации хлоридов использованы гидрологические данные на входных (Чебоксарский и Нижнекамский гидроузлы) и замыкающем (Жигулевский гидроузел) створах Куйбышевского водохранилища. Установлено, что за 19-летний период наблюдений диапазон сезонных колебаний средних месячных концентраций хлоридов составил 14–42 мг/дм³. Сезонная изменчивость содержания хлоридов ярко выражена и характеризуется поочередной сменой максимумов и минимумов концентрации хлоридов. Выявленные закономерности сезонной изменчивости хлоридов неизменны и наблюдались ежегодно в течение 2001–2019 гг., однако значения концентраций хлоридов существенно зависели от гидрометеорологических условий конкретного года: в маловодные годы концентрации хлоридов увеличивались, а в многоводные годы – уменьшались во все гидрологические сезоны года.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище, содержание хлоридов, сезонная изменчивость, влияние водности.

Для цитирования: Селезнева К. В., Селезнева А. В., Селезнев В. А. Сезонная изменчивость концентрации хлоридных ионов в воде Куйбышевского водохранилища // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 40. С. 105–120. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.40.105>

Original article

Seasonal Variability of the Concentration of Chloride Ions in the Water of the Kuibyshevsk Reservoir

K. V. Selezneva*

*Institute of Ecology of the Volga Basin RAS – Branch of the Samara Federal Research Center RAS,
Togliatti, Russian Federation
Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation*

© Селезнева К. В., Селезнева А. В., Селезнев В. А., 2022

*Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

A. V. Selezneva, V. A. Seleznev

Institute of Ecology of the Volga Basin RAS – Branch of the Samara Federal Research Center RAS, Togliatti, Russian Federation

Abstract. According to long-term observations in the period 2001–2019, regularities of seasonal variability of the content of chlorides in the water of the Kuibyshev reservoir were studied. Stationary hydrochemical observation point is located in the outlet section of the reservoir. To study the causes of seasonal variability in chloride concentrations, hydrological data were used at the inlet (Cheboksary and Nizhnikamsk waterworks) and outgoing (Zhigulevsk waterworks) sections of the Kuibyshev reservoir. It was found that over the 19-year observation period, the range of seasonal fluctuations in average monthly chloride concentrations was 14–42 mg/dm³. Seasonal variability of chloride content is pronounced and is characterized by alternating maxima and minima of chloride concentration. The winter maximum is observed in April before the beginning of the spring flood, and the summer maximum is observed in July before the beginning of the autumn low water. The spring minimum is observed in May at the peak of the spring flood, and the autumn minimum is observed in December before the freeze-up begins. The seasonal variability of chlorides includes four periods (I, II, III, IV), which are formed as a result of the interaction of genetically heterogeneous water masses in the reservoir. Period I is characterized by a gradual increase in the concentration of chlorides due to the inflow of groundwater during the winter low water. The short-term period II is characterized by a sharp decrease in the concentration of chlorides due to the entry of soil-surface waters into the reservoir during the spring flood. Period III is characterized by an increase in the concentration of chlorides due to an increase in the role of soil and groundwater during the summer low water period. Period IV is the longest and is characterized by a gradual decrease in the concentration of chlorides during the autumn low water period. The revealed patterns of seasonal variability of chlorides are unchanged and were observed annually during 2001–2019. However, the values of chloride concentrations significantly depended on the hydrometeorological conditions of a particular year. In dry years, the concentration of chlorides increased, and in high-water years, they decreased in all hydrological seasons of the year.

Keywords: Kuibyshev reservoir, chloride content, seasonal variability, influence of water content.

For citation: Selezneva K.V., Selezneva A.V., Seleznev V.A. Seasonal Variability of the Concentration of Chloride Ions in the Water of the Kuibyshev Reservoir. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 40, pp. 105-120. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.40.105> (in Russian)

Введение

Хлориды относятся к главным ионам природных вод. Они характеризуют гидрохимический режим и оказывают воздействие на экологическое состояние водных объектов [Алекин, 1970; Никаноров, 2001; Dojlido, Best, 1993; Williams, 2001]. Многолетние и сезонные изменения концентрации хлоридов влияют на функционирование водных экосистем, биологическое разнообразие и инвазионные процессы [Nagpal, Levy, Macdonald, 2003; Chapra, Dove, Rockwell, 2009; Total Suspended Solids ... , 2017; Salinization triggers a ... , 2017; Investigation of road ... , 2017; A fresh look ... , 2010; The effects of ... , 2021].

В поверхностных водах на территории России хлориды распространены повсеместно, а их содержание изменяется в широких пределах, в основном от 1 до 1500 мг/дм³ в зависимости от природно-климатических условий [Качество поверхностных вод ... , 2020]. Первичными источниками хлоридов в поверхностных водах являются магматические породы, в состав которых входят хлорсодержащие минералы и соленосные отложения. Значительное количество хлоридов поступает в поверхностные водные объекты: с грунтовыми водами; из океанов через атмосферу; в результате взаимодействия ат-

мосферных осадков с почвами; при вулканических выбросах. Постепенно возрастает роль антропогенной составляющей формирования концентрации хлоридов в поверхностных водах. Хлориды обладают большой миграционной способностью, что объясняется их хорошей растворимостью, слабовыраженной способностью к сорбции на взвешенных веществах и к потреблению водными организмами [Зенин, Белоусова, 1988].

Самые ранние сведения о содержании хлоридов в воде р. Волги получены в первой половине XIX в. в районе г. Казани. История гидрохимического изучения Волги и ее притоков описана в монографии А. А. Зенина [1965], где также приведены материалы по содержанию хлоридов до и после зарегулирования р. Волги. В дальнейших исследованиях основное внимание уделялось оценке пространственного распределения содержания хлоридов по длине Волжско-Камских водохранилищ [Дебольский, Григорьева, Комиссаров, 2011; Торгашкова, Воловик, 2012; Многолетние изменения качества ... , 2016].

На самом крупном Куйбышевском водохранилище пространственное распределение содержания хлоридов в основном изучено [Гидрометеорологический режим озер ... , 1978] и зависит от взаимодействия волжских и камских вод, которые существенно отличаются друг от друга. В камской воде содержание хлоридов в несколько раз превышает их содержание в волжской воде. Волжская вода поступает в Куйбышевское водохранилище через створ Чебоксарского гидроузла, а камская – через створ Нижнекамского гидроузла. В районе слияния Волги и Камы (Волжско-Камский плес) начинается взаимодействие вод, при этом волжская вода преимущественно распространяется вдоль правого берега, а камская – вдоль левого берега. По мере продвижения вниз по течению камские и волжские воды постепенно перемешиваются, а створ полного перемешивания располагается в центральной части водохранилища (Ульяновский плес). В замыкающем створе водохранилища (Жигулевский гидроузел) вода характеризуется как однородная.

Закономерности и причины сезонных изменений концентрации хлоридов в воде Куйбышевского водохранилища изучены недостаточно из-за ограниченного количества детальных и продолжительных наблюдений на основе единого методологического подхода. Поэтому основной целью исследования является количественная оценка сезонной изменчивости содержания хлоридов на основе систематических многолетних наблюдений (2001–2019 гг.) в замыкающем створе Куйбышевского водохранилища (Жигулевский гидроузел), через который проходит 94 % водного стока р. Волги.

Детальное исследование, на примере Куйбышевского водохранилища, закономерностей сезонной изменчивости содержания хлоридов в воде водоемов с сезонным регулированием водного стока направлено на совершенствование теории экологического прогнозирования и разработку рекомендаций оптимального использования водных биологических ресурсов водохранилищ. На фоне глобальных климатических изменений и их влияния на водные объекты актуальность подобных исследований будет только возрастать [Беспалова, Селезнев, Селезнева, 2017; Возняк, Лепихин, 2018; Овчинникова, Широкая, Пашкина, 2012; Novotny, Murphy, Stefan, 2008]. Особенно это относится к водохранилищам Волжско-Камского каскада, которые являются местом обитания, сохранения и добычи биологических ресурсов.

Объект, материалы и методы

Куйбышевское водохранилище создано в 1957 г. и является самым крупным в Волжско-Камском каскаде (рис. 1). Площадь водохранилища составляет 6450 км^2 , а длина с учетом камской ветки – 750 км. Максимальная ширина водохранилища достигает 40 км, максимальная глубина – 40 м. Средний многолетний водный сток в замыкающем створе Куйбышевского водохранилища (Жигулевский гидроузел) – 244 км^3 , это 94 % водного стока всей Волги. Входным створом для Куйбышевского водохранилища по волжской ветке является створ Чебоксарского гидроузла, через который проходит 107 км^3 водного стока, а по камской ветке – створ Нижнекамского гидроузла с водным стоком 94 км^3 (рис. 1). Основным боковым притоком является р. Вятка, водный сток которой равен 28 км^3 [Вуглинский, 1991; Селезнева, Беспалова, Селезнев, 2018]. Ниже по течению от Жигулевского гидроузла расположены Саратовское и Волгоградское водохранилища, а также речной участок Волги от г. Волгограда до Каспийского моря.

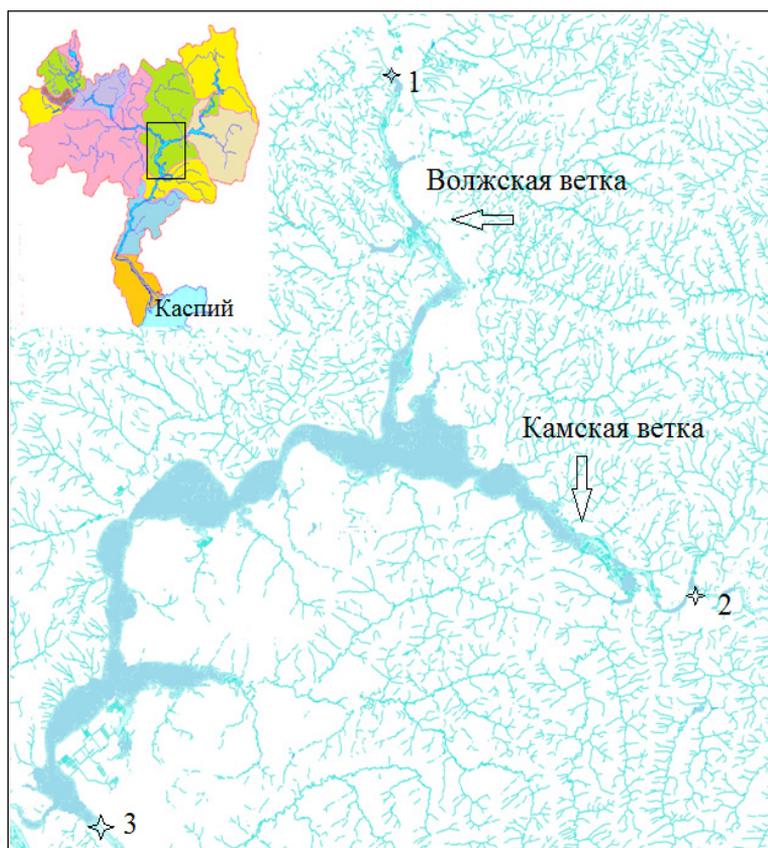


Рис. 1. Расположение Куйбышевского водохранилища в бассейне Волги, входных и замыкающего створов (гидроузлы: 1 – Чебоксарский, 2 – Нижнекамский, 3 – Жигулевский)

Основное регулирование водного стока на Нижней Волге осуществляется Жигулевским гидроузлом в соответствии с Основными правилами использования водных ресурсов Куйбышевского водохранилища на реке Волге¹. Общий объем водохранилища составляет 57,3 км³, а полезный – 30,7 км³, что позволяет осуществлять сезонное, недельное и суточное регулирование водного стока в интересах различных водопользователей. Для многолетнего регулирования водного стока емкость Куйбышевского водохранилища недостаточна [Гидрометеорологический режим озер ... , 1978].

Гидрохимические наблюдения проводились ежемесячно в период 2001–2019 гг. в замыкающем створе Куйбышевского водохранилища. Пункт наблюдений расположен в нижнем бьефе Жигулевского гидроузла. Ширина водохранилища в районе наблюдения составляет 1,0 км, глубина – 6–8 м [Seleznev, Vespalova, Selezneva, 2018]. Для анализа расходов воды в створах Чебоксарского, Нижнекамского и Жигулевского гидроузлов и уровня воды водохранилища использованы ежегодные кадастровые справочные издания «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» УГМС Росгидромета.

Из-за интенсивного перемешивания водных масс Куйбышевского водохранилища в створе Жигулевского гидроузла наблюдается однородность физико-химических показателей воды по глубине. Поэтому отбор проб воды осуществлялся батометром Молчанова ГР-18 с поверхностного горизонта (0,5 м) с причальной бетонной стенки. Пробы воды фильтровали через мембранный фильтр (0,45 мкм), промытый дистиллированной водой. Отбор проб воды и определение массовой концентрации хлоридных ионов (Cl⁻) выполнялось в соответствии с действующими нормативными документами для аккредитованных лабораторий, имеющих лицензию Росгидромета (табл. 1).

Таблица 1

Диапазон и точность измерения массовой концентрации хлоридных ионов (Cl⁻)

Методика анализа	Период использования методики, годы	Показатель точности (границы погрешности при вероятности $P = 0,95$) $\pm \Delta$, мг/дм ³
РД 52.24.407-95	2001–2005	–
РД 52.24.407-2006	2006–2016	1,4+0,030 Cl ⁻
РД 52.24.407-2017	2017–2019	1,4+0,030 Cl ⁻

Примечание: «-» – показатель точности отсутствует.

По данным гидрохимических наблюдений и материалам гидрологической информации создана база данных за 19-летний период. Ежемесячная дискретность отбора проб воды на водохранилище была установлена на основе учащенных наблюдений в течение года с периодичностью 4 раза в месяц. Для исключения влияния суточного и недельного режима регулирования водного стока на содержание хлоридов пробы воды отбирались в определенный день недели (среда) и установленное время (11 часов местного времени). Полученные данные натурных наблюдений обрабатывались с использованием программного средства Statistica-10.

¹ Утверждены Приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР от 11 ноября 1983 г. № 596.

Обсуждение результатов

Содержание хлоридов в водной массе Куйбышевского водохранилища формируется под воздействием волжских и камских вод, поступающих через Чебоксарский и Нижнекамский гидроузлы. Объемы стока волжской и камской воды практически одинаковые, но отличаются друг от друга по содержанию хлоридов в несколько раз. Содержание хлоридов в волжской воде составляет 11–13 мг/дм³, а в камской воде – 36–48 мг/дм³. Определенное влияние на содержание хлоридов в Куйбышевском водохранилище оказывает водный сток р. Вятки, а вот влияние других боковых притоков (Свияга, Черемшан и др.) незначительно из-за маленького объема водного стока.

По данным наблюдений, в замыкающем створе Куйбышевского водохранилища средняя концентрация хлоридов за период 2001–2019 гг. составила 27,0 мг/дм³. Диапазон межгодовых колебаний средней годовой концентрации хлоридов – 22,5–31,2 мг/дм³. За этот период средний годовой расход воды в створе Жигулевского гидроузла достиг 7,7 тыс. м³/с, а амплитуда межгодовых колебаний – 30 %.

Сезонные изменения расходов воды намного больше межгодовых колебаний. За период 2001–2019 гг. средние месячные расходы воды (Q) в течение года изменялись весьма существенно в диапазоне 5,5–19,6 м³/с (табл. 2), что составляет более 350 %. Максимальные (Q_{\max}), минимальные (Q_{\min}) средние месячные расходы воды, а также среднее квадратичное отклонение (σ) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сезонная изменчивость расходов воды за 2001–2019 гг.

Расход воды, тыс. м ³ /с	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q	6,0	6,1	5,8	10,5	19,6	8,7	6,5	5,9	5,7	5,5	5,9	6,2
Q_{\max}	8,6	9,0	9,7	21,80	33,5	16,8	14,1	9,9	8,6	11,9	12,4	9,0
Q_{\min}	3,9	3,4	3,4	2,6	11,0	1,3	3,6	2,1	3,6	3,7	3,1	3,4
σ	1,2	1,4	1,4	3,7	6,6	6,1	1,8	1,6	1,4	1,4	1,5	1,3

При анализе гидрологических условий Куйбышевского водохранилища обычно выделяют: зимнюю межень, весеннее половодье и летне-осеннюю межень. Зимняя межень продолжается с декабря по март. В это время расходы воды стабильны, полезная емкость водохранилища срабатывается. Весеннее половодье наблюдается с апреля по июнь, расходы воды резко увеличиваются, идет интенсивное наполнение водохранилища до нормального подпорного уровня. Как правило, в мае наступает пик весеннего половодья, а в июне наблюдается снижение расходов воды. Летне-осенняя межень наблюдается с июля по ноябрь, расходы воды меняются незначительно.

Сезонные изменения концентрации хлоридов оказались более значительными, чем межгодовые. Амплитуда многолетних колебаний средних месячных значений составила 14,0–41,3 мг/дм³ и достигает около 300 %. Осредненные за период 2001–2019 гг. средние месячные концентрации хлоридов (Cl) изменялись в пределах от 22,8 до 30,6 мг/дм³ (табл. 3). Максимальные (Cl_{\max}) и минимальные (Cl_{\min}) значения концентрации хлоридов, а также средние квадратичные отклонения (σ) для каждого месяца даны в табл. 3.

Таблица 3

Сезонная изменчивость концентрации хлоридов за 2001–2019 гг.

Концентрация, мг/дм ³	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ⁻	24,1	26,4	28,8	30,6	24,5	28,7	30,2	29,9	28,3	25,8	24,3	22,8
Cl ⁻ _{max}	27,9	39,1	35,6	41,3	34,1	41,0	39,3	35,0	36,7	29,8	29,3	26,9
Cl ⁻ _{min}	20,0	21,7	20,4	22,0	14,0	19,3	21,8	24,0	22,9	21,8	20,8	18,6
σ	4,2	5,6	4,3	6,3	5,1	7,8	5,7	4,0	4,4	2,7	2,8	2,5

По результатам исследований установлено, что содержание хлоридов в Куйбышевском водохранилище характеризуется ярко выраженной сезонной изменчивостью, при этом отчетливо выделяются два максимума и два минимума (рис. 2). Зимний максимум наблюдается перед началом весеннего половодья, а летний максимум – в июле при снижении атмосферных осадков. Один минимум отмечается в пик весеннего половодья, а второй минимум – в период осенней межени. Сезонная изменчивость включает четыре периода (I, II, III и IV), которые отличаются друг от друга разнонаправленными трендами увеличения или уменьшения концентрации хлоридов.

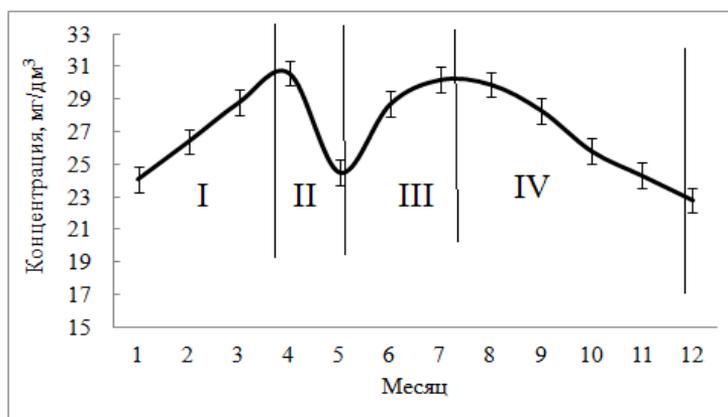


Рис. 2. Сезонная изменчивость концентрации хлоридов (I, II, III, IV – периоды; \mp , \pm – планки погрешностей)

Период I характеризуется постепенным увеличением концентрации хлоридов с 24,1 до 30,6 мг/дм³ за счет возрастающего присутствия в водохранилище грунтовых вод. В этот период уровень воды падает, идет уменьшение полезной емкости водохранилища. Основные и боковые притоки водохранилища полностью переходят на грунтовое питание. При увеличении концентрации хлоридов расходы воды в замыкающем створе водохранилища (Жигулевский гидроузел) менялись незначительно и были больше суммарных расходов воды на входных створах волжской (Чебоксарский гидроузел)

и камской (Нижекамский гидроузел) веток. Наибольшая концентрация хлоридов наблюдалась в конце зимней межени, когда водохранилище практически полностью заполнено грунтовыми водами. В апреле концентрация хлоридов продолжала расти, несмотря на резкое увеличение расходов воды. Для периода I характерным является отсутствие связи между концентрацией хлоридов и расходами воды: расход воды стабильный, а концентрация хлоридов растет. Водные массы водохранилища формируются в основном за счет грунтовых вод с повышенным содержанием хлоридов.

В период II происходит резкое уменьшение концентрации хлоридов с 30,6 до 24,5 мг/дм³ за счет быстрого наполнения водохранилища почвенно-поверхностными водами с низкой минерализацией. Это самый короткий период интенсивного обмена, когда зимние грунтовые воды замещаются почвенно-поверхностными водами. В период весеннего половодья реки переходят на питание тальми водами. Минимальная концентрация хлоридов наблюдалась в мае с некоторой задержкой после наступления пика весеннего половодья. В периоде II концентрация хлоридов, уровень и расход воды изменяются в противофазе: концентрация хлоридов уменьшается, а расход и уровень воды растут. В весеннее половодье водные массы водохранилища формируются преимущественно почвенно-поверхностными водами с низкой минерализацией.

В периоде III наблюдается увеличение концентрации хлоридов с 24,5 до 30,2 мг/дм³ за счет постепенного перемешивания почвенно-поверхностных водных масс с низкой минерализацией с вновь поступающими почвенно-грунтовыми водами, сформированными в летнюю межень с минимальным количеством атмосферных осадков. Это период снижения расхода воды и интенсивности водного обмена, стабилизации режима уровня воды. В периоде III концентрация хлоридов растет при снижении расхода воды и стабильном уровне воды. В первой половине летне-осенней межени идет постепенное замещение почвенно-поверхностных вод грунтовыми водами.

Период IV характеризуется постепенным уменьшением концентрации хлоридов с 30,2 до 22,8 мг/дм³ за счет плавного замещения водных масс, содержащих грунтовые воды, на почвенно-поверхностные воды, сформированные под воздействием осенних атмосферных осадков. Это самый продолжительный период (5–6 месяцев). В период IV расходы воды меняются мало, колеблются в пределах 5,5–6,5 м³/с и не имеют определенной направленности, а концентрация хлоридов постепенно снижается. Во второй половине сезона формирование водных масс происходит в результате взаимодействия грунтовых и почвенно-грунтовых вод.

Полученные результаты показывают, что сезонная изменчивость концентрации хлоридов в основном обусловлена последовательной сменой генетически разнородных водных масс. На режим смены водных масс существенное влияние оказывает сезонное регулирование водного стока на Куйбышевском водохранилище.

Установленные закономерности сезонной изменчивости хлоридов в межгодовом диапазоне практически не меняются, а вот абсолютные значе-

ния концентрации зависят от гидрологических условий конкретного года. Для оценки влияния гидрологических условий на содержание хлоридов выбраны два смежных года (2005 и 2006), сходные по режиму уровня воды, но отличающиеся по расходам воды. Средний уровень воды (H) составил 51,5 м в 2005 г. и 51,1 м в 2006-м. Средний годовой расход воды в створе Жигулевского гидроузла доходил до 9,0 м³/с в 2005 г. и 6,5 м³/с в 2006-м. По среднему расходу воды 2005 г. следует характеризовать как многоводный, а 2006-й – как маловодный. Разница в расходах воды весьма существенна и составляет около 30 %. Для анализа процесса внутригодового формирования водных масс водохранилища использованы данные о сезонных изменениях расходов воды на Чебоксарском (Q_1), Нижнекамском (Q_2) и Жигулевском (Q_3) гидроузлах, а также об уровне воды (H) на Куйбышевском водохранилище (табл. 4).

Таблица 4

Сезонные изменения расхода (Q_i , тыс. м³/с) и уровня (H , м БС) воды в 2005–2006 гг.

Q и H	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Многоводный 2005 г.												
Q_1	2,1	2,2	2,2	4,2	7,3	4,4	2,6	1,9	1,9	1,8	1,8	1,6
Q_2	3,4	3,3	4,0	10,1	11,7	4,1	3,1	2,4	2,3	2,1	2,2	2,0
Q_3	7,4	7,4	8,3	13,7	26,1	10,7	6,8	6,6	6,6	5,2	5,1	5,0
H	52,4	51,7	50,9	52,0	53,1	52,7	51,9	51,6	51,1	50,5	50,3	50,2
Маловодный 2006 г.												
Q_1	1,4	1,3	1,5	4,0	4,5	4,0	2,1	2,2	1,9	2,0	2,5	2,0
Q_2	1,9	1,9	1,9	5,8	6,2	3,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,8	4,3
Q_3	5,0	5,2	4,5	5,1	14,4	8,7	6,0	5,3	5,4	5,0	5,7	7,4
H	49,8	49,1	48,4	50,5	52,7	52,5	52,4	52	51,8	51,5	51,4	51,1

Многоводный 2005 г. Зимнее срабатывание объема водохранилища осуществлялось с января по март. Уровень воды постепенно понижался с 52,4 до 50,9 м, так как суммарный приток воды через Чебоксарский и Нижнекамский гидроузлы был меньше сброса воды через Жигулевский гидроузел. Особенность этого года заключается в том, что в зимнюю межень держался высокий уровень воды. Следовательно, перед началом весеннего половодья большая часть полезного объема водохранилища была заполнена грунтовыми водами. Весеннее заполнение водохранилища началось в апреле. Уровень воды в течение месяца поднялся до отметки 52,0 м, так как суммарный приток воды через Чебоксарский и Нижнекамский гидроузлы превысил сброс воды через Жигулевский гидроузел. В мае заполнение водохранилища продолжилось, и вода поднялась до нормального подпорного уровня. В пик половодья расход воды составил 26,1 тыс. м³/с. В течение всего мая производились холостые сбросы через водосливную плотину. В июне сброс преобладал над притоком воды и уровень воды снизился до отметки 52,7 м. С июля по декабрь уровень воды постепенно понижался с 52,7 до 50,2 м, так как сброс превышал приток воды (рис. 3).

Маловодный 2006 г. Зимнее сбратывание объема водохранилища осуществлялось с января по март, уровень воды понизился с 49,8 до 48,4 м. По сравнению с 2005 г. уровень воды в водохранилище в январе был на 2,5 м ниже. Весеннее наполнение водохранилища началось в первых числах апреля, но заполнение полезной емкости осуществлялось крайне медленно. Несмотря на то что суммарный приток воды через Чебоксарский и Нижнекамский гидроузлы был в два раза больше сброса воды через Жигулевский гидроузел, уровень воды в апреле был низкий и составил 50,5 м. В мае уровень воды достиг отметки нормального подпорного уровня, а величина сброса в мае составила 14,4 тыс. м³/с. В течение всего мая производились холостые сбросы через водосливную плотину гидроузла. В июне сброс составил 8,7 тыс. м³/с и продолжал преобладать над притоком. В июне уровень немного понизился и остановился на отметке всего 52,5 м, что ниже нормального подпорного уровня.

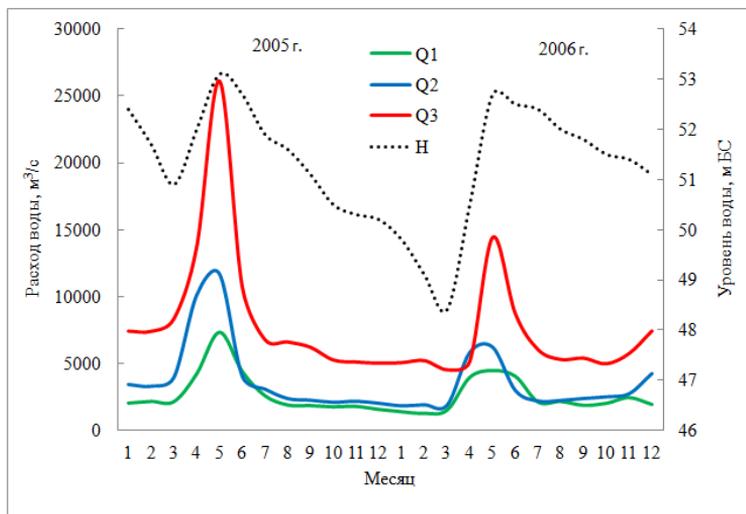


Рис. 3. Сезонные изменения уровня воды (H) водохранилища и расходов воды в створах Нижнекамского (Q₁), Чебоксарского (Q₂), Жигулевского (Q₃) гидроузлов в 2005 и 2006 гг.

Снижение среднего годового расхода воды в 2006 г. по сравнению с 2005 г. привело к увеличению концентрации хлоридов за счет увеличения присутствия грунтовых вод в меженный период и уменьшения роли почвенно-поверхностных вод в период весеннего половодья. Средняя годовая концентрация хлоридов в маловодном 2006 г. увеличилась до 28,2 мг/дм³ по сравнению с многоводным 2005 г., когда концентрация была 25,0 мг/дм³. Сезонные различия в концентрациях хлоридов в 2005 и 2006 гг. представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сезонные изменения концентрации хлоридов в 2005–2006 гг., мг/дм³

Годы	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2005	21,4	23,0	25,9	31,2	18,9	23,6	25,7	31,0	30,6	23,2	23,1	22,5
2006	21,6	24,9	27,4	41,3	27,0	24,5	26,9	30,7	33,1	29,8	24,7	26,5

В многоводном 2005 г. наибольшая средняя месячная концентрация составила 31,2 мг/дм³ и наблюдалась в апреле перед началом весеннего половодья, а наименьшая – в мае и составила 18,9 мг/дм³. Амплитуда сезонных колебаний концентрации хлоридов – 12,3 мг/дм³. Особенностью многоводного года является резкое снижение концентрации хлоридов в пик весеннего половодья за счет большого количества поверхностно-почвенных вод, поступивших в Куйбышевское водохранилище.

В маловодном 2006 г. наибольшая средняя месячная концентрация – 41,3 мг/дм³ – наблюдалась в апреле перед началом весеннего половодья, а наименьшая – в январе и составила 21,6 мг/дм³. Амплитуда сезонных колебаний концентрации хлоридов достигла 19,7 мг/дм³ за счет значительного возрастания наибольшей концентрации хлоридов перед началом весеннего половодья. В июне на спаде весеннего половодья концентрация хлоридов равнялась 24,5 мг/дм³, а затем постепенно концентрация начала увеличиваться до сентября и дошла до значения 33,1 мг/дм³. Осенью за счет увеличения атмосферных осадков наблюдалось постепенное снижение концентрации хлоридов.

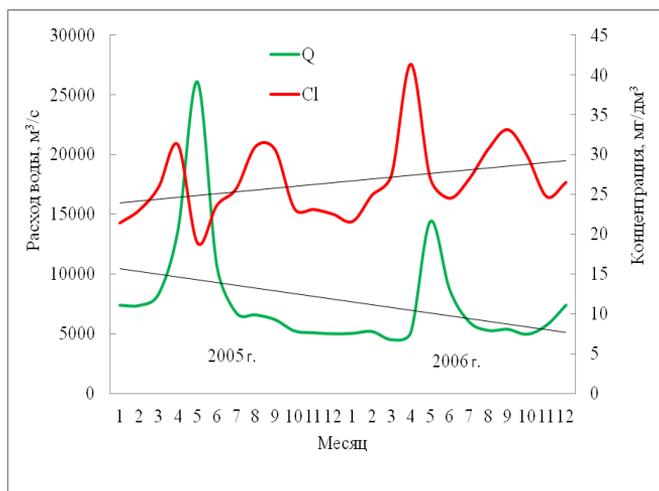


Рис. 4. Изменения концентрации Cl⁻ и расходов воды (Q) в многоводном 2005 и маловодном 2006 гг.

Результаты анализа данных 2005 и 2006 гг. показывают, что содержание хлоридов в воде главным образом зависит от расходов воды или водности года. Для количественной оценки влияния водности на значения сезонной

изменчивости концентрации хлоридов из многолетнего ряда наблюдений выбраны маловодные (2006, 2010, 2011 и 2015) и многоводные (2004, 2005, 2007 и 2013) годы. Сравнение показало, что в маловодные годы концентрация хлоридов в течение всего года увеличивалась, а в многоводные годы – уменьшалась (рис. 5). В среднем разница в концентрациях хлоридов составила $3,4 \text{ мг/дм}^3$. Наибольшие отличия в концентрации хлоридов многоводных и маловодных лет наблюдались в период наполнения водохранилища: в апреле – $11,4$ и мае – $6,9 \text{ мг/дм}^3$.

Увеличение концентрации хлоридов в маловодные годы обусловлено тем, что при формировании качества водных масс водохранилища возрастает роль почвенно-грунтовых и грунтовых вод с повышенным содержанием хлоридов. При этом закономерности сезонной изменчивости концентрации хлоридов для маловодных и многоводных лет сохраняются неизменными. В обоих случаях присутствуют два максимума и два минимума концентрации. Важно отметить: чем больше объем весеннего половодья и значимее увеличение присутствия в водохранилище поверхностно-почвенных вод, тем ниже величина наименьшего значения концентрации хлоридов в пик весеннего половодья; чем меньше объем весеннего половодья, тем выше наибольшая концентрация хлоридов в конце зимней межени.

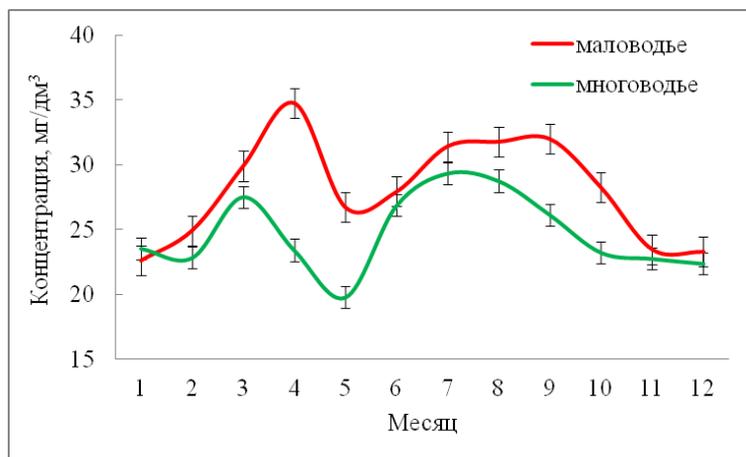


Рис. 5. Сезонная изменчивость хлоридов в многоводные и маловодные годы

Выводы

За период 2001–2019 гг. средняя концентрация хлоридов в замыкающем створе Куйбышевского водохранилища составила $27,0 \text{ мг/дм}^3$. Межгодовые изменения концентрации хлоридов – $22,5$ – $31,2 \text{ мг/дм}^3$, что соответствует 30 %. Внутригодовые изменения концентрации хлоридов более значительны, чем межгодовые. Диапазон колебаний составил $14,0$ – $41,3 \text{ мг/дм}^3$, что соответствует 300 %.

Содержание хлоридов в воде Куйбышевского водохранилища характеризуется ярко выраженной сезонной изменчивостью, включающей пооче-

редную смену максимумов и минимумов. Зимний максимум концентрации наблюдается в апреле, перед началом весеннего половодья, а летний максимум – в июле, до начала осенней межени. Весенний минимум концентрации отмечается в мае, на пике весеннего половодья, а осенний минимум – в декабре, до начала установления ледостава.

Сезонная изменчивость концентрации хлоридов включает четыре периода (I, II, III, IV), которые отличаются разнонаправленными изменениями концентрации и формируются в результате взаимодействия генетически разнородных водных масс в водохранилище. На режим смены водных масс в водохранилище оказывает влияние сезонное регулирование водного стока на Жигулевском, Чебоксарском и Нижнекамском гидроузлах.

Закономерности сезонной изменчивости хлоридов (наличие двух максимумов и двух минимумов) на Куйбышевском водохранилище оставались неизменными и наблюдались ежегодно в течение 2001–2019 гг. Однако значения концентраций хлоридов существенно зависели от гидрометеорологических условий конкретного года. В маловодные годы концентрация хлоридов увеличивалась, а в многоводные годы – уменьшалась во все гидрологические сезоны года.

Список литературы

- Алекин О. А.* Основы гидрохимии. Л. : Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
- Беспалова К. В., Селезнев В. А., Селезнева А. В.* Качество вод волжских водохранилищ в условиях глобального потепления климата // Ресурсосбережение и экологическое развитие территорий : сб. ст. Самара. 2017. С. 126–129.
- Возняк А. А., Лепихин А. П.* Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2. С. 103–115.
- Вуглинский В. С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
- Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ. Куйбышевское и Саратовское водохранилища. Л. : Гидрометеиздат. 1978. 270 с.
- Дебольский В. К., Григорьева И. Л., Комиссаров А. Б.* Изменение химического состава воды в Волге от истока к устью в летнюю межень 2009 года // Охрана окружающей среды и природопользование. 2011. № 3. С. 68–73.
- Зенин А. А.* Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Л. : Гидрометеиздат. 1965. 260 с.
- Зенин А. А., Белоусова Н. В.* Гидрохимический словарь. Л. : Гидрометеиздат. 1988. 240 с.
- Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2019. Ростов-на-Дону : Росгидромет, ГХИ, 2020. 578 с.
- Многолетние изменения качества воды участков Нижней Волги, различающихся по гидрологическому режиму / Е. А. Шашуловская, С. А. Мосияш, А. А. Орлов, Л. Н. Фокина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 5(2). С. 382–386.
- Никаноров А. М.* Гидрохимия. СПб. : Гидрометеиздат, 2001. 447 с.
- Овчинникова С. И., Широкая Т. А., Пашкина О. И.* Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000–2011 годы) // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 3. С. 544–550.
- Селезнева А. В., Беспалова К. В., Селезнев В. А.* Оценка сезонной изменчивости качества воды в поверхностном источнике питьевого водоснабжения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 2(31). С. 20–26. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.02.4>

Торгашкова О. Н., Воловик Н. С. Комплексная оценка степени загрязнения водной среды реки Волги // Известия Саратовского университета. Новая серия. Т. 12. Серия: Химия. Биология. Экология. 2012. Вып. 4. С. 96–102.

A fresh look at road salt: aquatic toxicity and water-quality impacts on local, regional, and national scales / S. R. Corsi, D. J. Graczyk, S. W. Geis, N. L. Booth, K. D. Richards // *Environ Sci. Technol.* 2010. Vol. 44, N 19. P. 7376–7382. <https://doi.org/10.1021/es101333u>

Chapra S. C., Dove A., Rockwell D. C. Great Lakes chloride trends: Long-term mass balance and loading analysis // *Journal of Great Lakes Research.* 2009. N 35(2). P. 272–284.

Dojlido J., Best G.A. *Chemistry of Water and Water Pollution.* New York : Ellis Horwood Limited, 1993. 364 p.

Impacts of salinization on aquatic communities: Abrupt vs. gradual exposures / K. D. Delaune, D. Nesch, J. M. Goos, R. A. Relyea // *Environ Pollut.* 2021. Vol. 285 (117636). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117636>

Investigation of road salts and biotic stressors on freshwater wetland communities / D. K. Jones [et al] // *Environ Pollut.* 2017. Vol. 221. P. 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.060>.

Nagpal N. K., Levy D. A., Macdonald D. D. *Ambient Water Quality Guidelines for Chloride. Overview Report*”. Ministry of Water, Land, and Air Protection, Victoria, British Columbia, 2003.

Novotny E. V., Murphy D., Stefan H. G. Increase of urban lake salinity by road deicing salt // *Sci. Total Environ.* 2008. Vol. 406, N 1. P. 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.037>.

Salinization triggers a trophic cascade in experimental freshwater communities with varying food-chain length / W. D. Hintz [et al.] // *Ecol Appl.* 2017. Vol. 27, N 3. P. 833–844. <https://doi.org/10.1002/eap.1487>.

Seleznev V. A., Bepalova K. V., Selezneva A. V. Seasonal Variability of Phosphate Content in the Volga Water Under Conditions of Anthropogenic Eutrophication of Reservoirs // *Journal of Water Chemistry and Technology.* 2018. Vol. 40, N 5. P. 307–311.

The effects of road salt on freshwater ecosystems and solutions for mitigating chloride pollution – A review / S. Szklarek [et al.] // *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 805(150289). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150289>.

Total Suspended Solids Effects on Freshwater Lake Biota Other than Fish / P. M. Chapman [et al.] // *Bull Environ Contam Toxicol.* 2017. Vol. 99, N 4. P. 423–427. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2154-y>.

Williams W. D. Anthropogenic salinisation of inland waters // *Hydrobiologia.* 2001. Vol. 466. P. 329–337.

References

Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of Hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970, 444 p. (in Russian)

Bepalova K.V., Seleznev V.A., Selezneva A.V. Kachestvo vod volzhskikh vodokhranilishch v usloviyakh globalnogo potepleniya klimata [Water quality of the Volga reservoirs in the context of global climate warming]. *Resursoberezheniye i ekologicheskoye razvitiye territoriy* [Resource saving and ecological development of territories]. Collection of articles. Samara, 2017, pp. 126-129. (in Russian)

Voznyak A.A., Lepikhin A.P. Razrabotka regionalnykh PDK: neobkhodimost, metodika, primer [Development of regional MPCs: necessity, methodology, example]. *Geograficheskii vestnik* [Geographic Bulletin], 2018, no. 2, pp.103-115. (in Russian)

Vuglinsky V.S. Water resources and water balance of large reservoirs in the USSR [Vodnyye resursy i vodnyy balans krupnykh vodokhranilishch SSSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1991, 223 p. (in Russian)

Gidrometeorologicheskii rezhim ozer i vodokhranilishch. Kuybyshevskoye i Saratovskoye vodokhranilishcha [Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs. Kuibyshev and Saratov reservoirs]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1978, 270 p. (in Russian)

Debol'skiy V.K., Grigor'yeva I.L., Komissarov A.B. Izmeneniye khimicheskogo sostava vody v Volge ot istoka k ust'yu v letnyuyu mezhden 2009 goda [Changes in the chemical composition of water in the Volga from source to mouth during the summer low-water period of 2009]. *Okhrana*

okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniye [Environmental protection and nature management]. 2011, no. 3, pp. 68-73. (in Russian)

Zenin A.A. *Gidrokimiya Volgi i yeyo vodokhranilishch* [Hydrochemistry of the Volga and its reservoirs], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965, 260 p. (in Russian)

Zenin A.A., Belousova N.V. *Gidrokhimicheskiy slovar* [Hydrochemical Dictionary], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988, 240 p. (in Russian)

Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii. Yezhegodnik. 2019 [Surface water quality in the Russian Federation. Yearbook. 2019]. Rostov-na-Donu, GKHI Publ., 2020, 578 p. (in Russian)

Shashulovskaya Ye.A., Mosiyash S.A., Orlov A.A., Fokina L.N. *Mноголетniye izmeneniya kachestva vody uchastkov Nizhney Volgi, razlichayushchikhsya po gidrologicheskomu rezhimu* [Long-term changes in water quality in areas of the Lower Volga, differing in hydrological regime]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, vol.18, no. 5(2), pp. 382-386. (in Russian)

Nikanorov A.M. *Gidrokimiya* [Hydrochemical Dictionary], Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2001, 447 p. (in Russian)

Ovchinnikova S.I., Shirokaya T.A., Pashkina O.I. *Osnovnyye tendentsii izmeneniya gidrokhimicheskikh pokazateley vodnoy ekosistemy Kol'skogo zaliva (2000-2011 gody)* [Main trends in changes in the hydrochemical parameters of the aquatic ecosystem of the Kola Bay (2000-2011)]. *Vestnik MGTU* [Vestnik MGTU], 2012, vol. 15, no. 3, pp. 544-550. (in Russian)

Selezneva A.V., Bepalova K.V., Seleznev V. A. *Otsenka sezonnoy izmenchivosti kachestva vody v poverkhnostnom istochnike pit'yevogo vodosnabzheniya* [Assessment of seasonal variability of water quality in a surface source of drinking water supply]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2018, vol. 8, no. 2(31), pp. 20-26. (in Russian) <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.02.4> (in Russian)

Torgashkova O.N., Volovik N.S. *Kompleksnaya otsenka stepeni zagryazneniya vodnoy sredy reki Volgi*, [Comprehensive assessment of the degree of pollution of the water environment of the Volga River]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta*. [Izvestia of the Saratov University. New. ser. Ser. Chemistry. Biology. Ecology], 2012, vol. 12, vol. 4, pp. 96-102. (in Russian)

Corsi S.R., Graczyk D.J., Geis S.W., Booth N.L., Richards K.D. A fresh look at road salt: aquatic toxicity and water-quality impacts on local, regional, and national scales. *Environ Sci Technol.*, 2010, vol. 44(19), pp. 7376-7382. <https://doi.org/10.1021/es101333u>

Chapra S.C., Dove A., Rockwell D.C. Great Lakes chloride trends: Long-term mass balance and loading analysis. *Journal of Great Lakes Research*, 2009, no. 35(2), pp. 272-284.

Dojlido J, Best G.A. *Chemistry of Water and Water Pollution*. New York, Ellis Horwood Limited, 1993; 364 pp.

Kelbi D, Delaune, David Nesich, Jared M. Goos, Rick A. Relyea. Impacts of salinization on aquatic communities: Abrupt vs. gradual exposures. *Environ Pollut.*, 2021, vol. 285(117636). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117636>

Jones D.K., Mattes B.M., Hintz W.D., Schuler M.S., Stoler A.B., Lind L.A., Cooper R.O., Relyea R.A., Jones D.K., et al. Investigation of road salts and biotic stressors on freshwater wetland communities. *Environ Pollut.*, 2017, vol. 221, pp. 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.060>

Nagpal N.K., Levy D.A., Macdonald D.D. *Ambient Water Quality Guidelines for Chloride. Overview Report. Ministry of Water, Land, and Air Protection*. Victoria, British Columbia, 2003.

Novotny E.V., Murphy D., Stefan H.G. Increase of urban lake salinity by road deicing salt. *Sci Total Environ.*, 2008, vol. 406(1), pp. 131-144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.037>

Hintz W.D., Mattes B.M., Schuler MS, Jones DK, Stoler AB, Lind L, Relyea RA. Hintz WD, et al. Salinization triggers a trophic cascade in experimental freshwater communities with varying food-chain length. *Ecol Appl.*, 2017, vol. 27(3), pp. 833-844. <https://doi.org/10.1002/eap.1487>

Seleznev V.A., Bepalova K.V., Selezneva A.V. Seasonal Variability of Phosphate Content in the Volga Water Under Conditions of Anthropogenic Eutrophication of Reservoirs. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 2018, vol. 40, no. 5, pp. 307-311.

Szklarek S., Górecka A., Wojtal-Frankiewicz A., Szklarek S. et al. The effects of road salt on freshwater ecosystems and solutions for mitigating chloride pollution – A review. *Sci Total Environ.*, 2021, vol. 805 (150289). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150289>

Chapman P.M., Hayward A., Faithful J., Chapman P. M. et al. Total Suspended Solids Effects on Freshwater Lake Biota Other than Fish. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2017, vol. 99(4), pp. 423-427. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2154-y>.

Williams W.D. Anthropogenic salinisation of inland waters. *Hydrobiologia*, 2001, vol. 466, pp. 329–337.

Сведения об авторах

Селезнева Ксения Владимировна

кандидат химических наук, научный сотрудник, лаборатория мониторинга водных объектов
Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10, стр. 1
заместитель директора по научной и методической работе
Институт химии и энергетики
Тольяттинский государственный университет
Россия, 445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
e-mail: kvbespalova@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-9212-7708

Селезнева Александра Васильевна

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория мониторинга водных объектов
Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10, стр. 1
e-mail: alek.selezneva@mail.ru.

Селезнев Владимир Анатольевич

доктор технических наук, кандидат географических наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория мониторинга водных объектов
Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10, стр. 1
e-mail: seleznev53@mail.ru

Information about the authors

Selezneva Ksenia Vladimirovna

Candidate of Sciences (Chemistry), Research Scientist, Laboratory for Monitoring Water Bodies
Institute of Ecology of the Volga Basin RAS – Branch of the Samara Federal Research Center RAS
1-10, Komzin st., Togliatti, 445003, Russian Federation
Deputy Director for Scientific and Methodological Work, Institute of Chemistry and Energy
Togliatti State University
14, Belorusskaya st., Togliatti, 445020, Russian Federation
e-mail: kvbespalova@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-9212-7708

Selezneva Alexandra Vasilievna

Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory for Monitoring of Water Objects
Institute of Ecology of the Volga Basin RAS – Branch of the Samara Federal Research Center RAS
1-10, Komzin st., Togliatti, 445003, Russian Federation
e-mail: alek.selezneva@mail.ru.

Seleznev Vladimir Anatolievich

Doctor of Sciences (Technical), Candidate of Sciences (Geography), Professor, Chief Researcher, Laboratory for Monitoring Water Objects
Samara Federal Research Center RAS, Institute of Ecology of the Volga Basin RAS
1-10, Komzin st., Togliatti, 445003, Russian Federation
e-mail: seleznev53@mail.ru

Код научной специальности: 1.6.16

Статья поступила в редакцию 19.01.2022; одобрена после рецензирования 30.05.2022; принята к публикации 07.06.2022
The article was submitted **January, 19, 2022**; approved after reviewing **May, 20, 2022**; accepted for publication **June, 7, 2022**