

ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗИМНЕГО ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И.А. Григорьева

E-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

*ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук»,
Иваньковская НИС, г. Конаково, Тверская область, Россия*

АННОТАЦИЯ: Представлены результаты исследования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища – второй, после Иваньковского водохранилища, ступени Волжского-Камского каскада водохранилищ.

В зимний период основное влияние на формирование гидрохимического режима Угличского водохранилища оказывает вода, поступающая из расположенного выше Иваньковского водохранилища. Установлено, что зимой вода в Угличском водохранилище гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава, минерализация изменяется от 243 до 351 мг/дм³, концентрации кальция и магния достигают 60,9 и 17,5 мг/дм³ соответственно. Концентрации фосфора минерального составляют 0,043–0,076 мгР/дм³, общего валового фосфора в верхнем бьефе Угличской ГЭС достигают 0,138 мг/дм³, концентрации нитратов 0,14–0,84 мгN/дм³. Основные показатели гидрохимического режима Угличского водохранилища имеют пространственно-временную изменчивость. Глобальные климатические изменения пока не оказали существенного влияния на зимний гидрохимический режим водоема.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Угличское водохранилище, гидрохимический режим, ледостав, климатические изменения.

Зимний гидрохимический режим водотоков и водоемов формируется в период установления ледового покрова. Для него характерны низкая температура воды, отсутствие поверхностного стока, преобладание питания грунтовыми водами, снижение уровня воды в водоемах, изменение характера миграции химических элементов, ограниченная подача кислорода в воду, снижение активности водной биоты [1].

Сезонное регулирование водохранилищ характеризуется сработкой уровня воды в зимний период. За начало зимнего сезона обычно принимают переход от наземного к подземному питанию, за конец – обратный пере-

Исследование выполнено в рамках поддержанного РФФИ и Правительством Тверской области научного проекта № 18-45-690001

© Григорьева И.А., 2020

ход к наземному питанию. Временной интервал этого периода определяется устойчивым переходом температуры воздуха через 0 °С к отрицательной температуре осенью и к положительной весной [2]. Несмотря на ледяной покров, подо льдом происходит перемешивание воды и медленное течение [3].

Цель данной работы – исследование закономерностей и факторов формирования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища и его пространственно-временной изменчивости.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является Угличское водохранилище – вторая ступень Волжского-Камского каскада водохранилищ. Полный объем водохранилища при НПУ – 1 245 млн м³, полезный объем – 809 млн м³, площадь акватории – 249 км², длина – 146 км, средняя глубина – 5,0 м, максимальная у плотины – 23 м, средняя ширина – 2,2 км, максимальная – 5 км. Акваторию водохранилища обычно подразделяют на две части: более узкую и проточную верхнюю до устья Медведицы и расширенную нижнюю.

Водохранилище находится в пределах Угличского района Ярославской области, Кимрского, Калязинского и Кашинского районов Тверской области. По его берегам расположены города Дубна, Кимры, Калязин, Углич, пгт Белый Городок, ряд деревень и поселков.

Средняя продолжительность ледостава на Угличском водохранилище составляет 140 сут, максимальная – 164 сут; максимальная толщина льда достигает 86 см [4]. В зимний период происходит сработка уровня и значительное уменьшение объема водоема, что также существенно влияет на качество воды, поскольку увеличивается доля подземных вод в питании водохранилища и его притоков, а также усиливается роль сточных вод.

Средний за многолетний период приток воды в водохранилище составляет 10,06 км³; сток в нижний бьеф – 9,97 км³ [5]. Основными составляющими водного баланса Угличского водохранилища является поверхностный приток в водоем и сброс через Угличский гидроузел. Со стоком Волги в Угличское водохранилище поступает около 71 % от общего поступления воды, на долю боковых притоков приходится около 29 % от общего поверхностного притока воды [5]. К наиболее крупным притокам относятся р. Дубна, впадающая в водохранилище на верхнем участке справа, реки Медведица и Нерль, впадающие в водоем на среднем участке. Сток этих притоков за год составляет, соответственно, 9,7 %, 11 % и 6 % от суммарной приточности [6]. На долю малых правобережных притоков, включая Хотчу и Жабню, приходится 2,7 %, левобережных, в т. ч. и Кашинку, 3 % [6]. Суммарный объем притока воды в водохранилище изменяется по годам и колеблется в значительных пределах (табл. 1).

Таблица 1. Объем притока воды в Угличское водохранилище за 2013–2018 гг., тыс. м³ по [7]

Table 1. Water input volume to the Uglich reservoir over the 2013–2018 period, thousand m³, according to [7]

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Объем	16 700	5132	4896	9512	17 480	12 290

Угличское водохранилище проточное, руслового типа, поскольку оно ограничено склонами долины Волги, которая в районе Угличской гряды имеет небольшую ширину, осуществляет сезонное регулирование стока и отличается единообразием годового хода уровней с зимней сработкой и наполнением до НПУ во время половодья. Площадь водосбора Угличского водохранилища составляет 60 020 км², из которых леса занимают 42 %, болота 11 %, озера 2 % [4].

Ежегодное уменьшение полного объема водохранилища за счет накопления донных отложений не превышает 0,03 %. Всего на дне аккумулировалось около 29 млн т осадков, из которых примерно 75 % представлены крупнозернистыми наносами [8].

Угличское водохранилище имеет комплексное назначение. Оно используется с учетом интересов энергетики, транспорта, сельского и рыбного хозяйства, водоснабжения, рекреации и т. д. Угличское водохранилище – основной источник водоснабжения городов Дубны, Кимры, Углича и сельских поселений, а также объект массового отдыха населения.

Наиболее крупными водопользователями, сбрасывающими сточные воды в Угличское водохранилище, являются: Калязинское муниципальное унитарное предприятие (КМУП) «Коммунсервис», Тверская обл., г. Калязин; ООО «Водопроводно-канализационное хозяйство» Тверская обл., г. Кимры; МУП «Кимрская теплоэнергетическая компания», Тверская обл., Кимрский р-н, пгт Белый Городок; МУП «Кимрская теплоэнергетическая компания», Тверская обл., Кимрский р-н, пос. Приволжский; АО «ПТО ГХ», Московская область, г. Дубна. Общий объем сточных вод, сбрасываемых в водохранилище этими водопользователями, составляет около 12230 тыс. м³/год.

Исследование современного зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища проведено совместно с сотрудниками ФГУ «Управление эксплуатации Угличского водохранилища» в 2017–2019 гг. в конце зимней межени при максимальной сработке уровня. Отбор проб воды осуществляли из поверхностного горизонта согласно ГОСТ 31612012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [9]. Основные створы наблюдений – пгт Белый Городок (верхний участок водохранилища) и верхний бьеф Угличской ГЭС (г. Углич) – замыкающий створ водохранилища (рисунок).

Анализ проб проводили в аккредитованной химической лаборатории Ивановской НИС ИВП РАН по аттестованным методикам. В пробах воды



определяли физико-химические показатели (рН, электропроводимость, мутность), макрокомпонентный состав (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ и K^+), биогенные элементы ($\text{Fe}_{\text{общ}}$, Si, соединения азота и фосфора), показатели содержания органических соединений (БПК₅, перманганатная окисляемость (ПО), цветность), микроэлементы (медь, цинк, свинец, хром, марганец).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зимой, как и в остальные сезоны года, основное влияние на формирование гидрохимического режима Угличского водохранилища оказывают воды, поступающие из вышерасположенного Ивановского водохранилища. Боковые притоки, несмотря на относительно высокое участие в питании водохранилища, не вносят существенного изменения в содержание и соотношение главных ионов, что, по-видимому, вызвано формированием их стока на водосборе, аналогичном по своим условиям водосбору Ивановского водохранилища [10].

Результаты исследований гидрохимического режима Угличского водохранилища в середине 1950-х годов показали, что воды водохранилища слабо минерализованные, гидрокарбонатно-кальциевые (HCO_3^- 59–170 мг/дм³; Ca^{2+} 38–90 мг/дм³), характеризующиеся малым количеством хлори-

дов (обычно 0,7–2 мг/дм³) [11]. Концентрация солей достигает максимума в зимний и предполоводный периоды и жесткость, как один из характерных показателей солевого состава, возрастает в это время до 8,7 мг-экв/дм³. В зимний период соединения железа общего и марганца увеличивались до максимальных значений: 0,8–1,9 и 0,3–0,5 мг/дм³ соответственно [11].

По данным [10] сумма главных ионов в 1969–1974 гг. колебалась в интервале от 148,2–151,1 весной до 346,5–353,9 мг/дм³ зимой. В зимний период в замыкающем створе (г. Углич) соотношение главных ионов составляло 30,6 (Ca²⁺):12,5 (Mg²⁺):6,9 (Na⁺+K⁺); главных анионов 35,3 (HCO₃⁻): 10,3 (SO₄²⁻): 4,4 (Cl). Водородный показатель достигал 7,2; процент насыщения кислородом – 52–53. Сравнительная посезонная оценка показателей химического состава воды Иваньковского и Угличского водохранилища за период с 2010 по 2012 гг. представлена в [12].

Величина концентрации ионов водорода (pH) имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. От величины pH зависят развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон. Как показали исследования, в среднем значения pH воды Иваньковского водохранилища в 2010–2012 гг. изменялись от 7,1 до 7,7, а Угличского – от 7,2 до 7,6, наибольшие значения pH отмечались летом, а зимой показатели были сопоставимы со значениями в весенний период.

О минерализации воды водоемов и водотоков можно оценочно судить по значениям электропроводимости. Наибольшие значения электропроводимости воды отмечены в зимний период: для Иваньковского водохранилища – 37 мС/м, для Угличского – 40,5 мС/м, соответственно, значения минерализации воды также были более высокими в зимнюю межень, что соответствует результатам исследований [10, 11].

По содержанию сульфатов и хлоридов в воде водоемов и водотоков можно судить об их техногенном загрязнении. Наибольшие концентрации сульфат-аниона в 2010–2012 гг. отмечены в воде Угличского водохранилища в зимний период (22,3 мг/дм³), наименьшие (5,0 мг/дм³) – в воде Иваньковского водохранилища в осенний период. Средняя концентрация хлоридов зимой за период 2010–2012 гг. в замыкающем створе Угличского водохранилища была выше, чем в другие сезоны года, и в замыкающем створе Иваньковского она составила 9,7 мг/дм³, что превышает значения, наблюдаемые в середине 1950-х годов, в несколько раз [11].

Фосфор является одним из главных биогенных элементов, определяющих продуктивность водного объекта. Концентрация общего растворенного фосфора в незагрязненных природных водах обычно изменяется от 0,005 до 0,2 мг/дм³ и зависит от многих природных и антропогенных факторов [13]. Концентрации общего фосфора в замыкающем створе Ивань-

ковского водохранилища в 2010–2012 гг. изменялись от 0,051 мгР/дм³ летом до 0,087 мгР/дм³ зимой, а в замыкающем створе Угличского водохранилища – от 0,064 мгР/дм³ весной до 0,077 мгР/дм³ осенью. Зимой в верхнем бьефе Угличской ГЭС средняя концентрация общего фосфора составила 0,066 мгР/дм³, что несколько ниже, чем в Ивановском водохранилище.

Неорганические соединения азота (аммоний, нитриты и нитраты) образуются в воде в результате биохимического разложения и окисления органических остатков как природного, так и антропогенного происхождения [13]. В воде верхневолжских водохранилищ наибольшие концентрации аммонийного и нитратного азота наблюдаются в зимний период. При этом наибольшие концентрации нитратного азота (до 1,36 мгN/дм³) в 2010–2012 гг. отмечались в замыкающем створе Угличского водохранилища, наибольшие концентрации аммонийного азота (до 0,59 мгN/дм³) в замыкающем створе Ивановского.

Оценка содержания органического вещества в воде верхних бьефов Ивановской и Угличской ГЭС в 2010–2012 гг. производилась по БПК₅, цветности и перманганатной окисляемости. Как известно, определение БПК₅ в поверхностных водах используется с целью оценки содержания биохимически окисляемых органических веществ, условий обитания гидробионтов и в качестве интегрального показателя загрязненности воды. В поверхностных водах величины БПК₅ изменяются обычно в пределах 0,5–4 мг O₂/дм³ и подвержены сезонным и суточным колебаниям [13]. Значение ПДК для БПК₅ рыбохозяйственных водоемов составляет 2,0 мг O₂/дм³. Более высокие значения БПК₅ в 2010–2012 гг. во все сезоны отмечены в воде Ивановского водохранилища, поскольку органическая нагрузка на водоем высока. Зимой значения БПК₅ в воде Угличского и Ивановского водохранилищ не превышали 1,0 мг O₂/дм³.

Для всех верхневолжских водохранилищ характерна высокая цветность воды. Исследования 2010–2012 гг. показали, что средние значения цветности воды обоих водохранилищ могут достигать в весенний период более 90 градусов Pt-Co шкалы цветности, а в зимний период, обычно, не превышают 40 градусов цветности.

Перманганатная окисляемость (ПО) является косвенной характеристикой содержания в воде органических и минеральных веществ. Величины ПО зависят от цветности воды, поэтому в Ивановском и Угличском водохранилищах зафиксированы повышенные значения ПО во все сезоны года. Среднее значение ПО зимой в верхнем бьефе Ивановской ГЭС равнялось 12,7, в верхнем бьефе Угличской ГЭС – 13,4 мг O/дм³. В воде замыкающих створов Ивановского и Угличского водохранилищ в зимний и весенний период 2010–2012 гг. отмечались также высокие концентрации марганца, которые в среднем составили 10–15 ПДК. Результаты, полученные в 2010–2012 гг., хорошо согласуются с [14], где отмечается

увеличение в воде исследуемых водоемов концентраций аммония и фосфатов в зимний период.

Для того чтобы оценить качество воды Угличского водохранилища в период маловодья, проведен отбор проб воды и их химический анализ в различные сезоны 2012–2014 гг. и в марте 2015 г. [15]. Качество воды Угличского водохранилища в конце зимней межени в различные по водности годы может быть охарактеризовано по данным, представленным в табл. 2. Из таблицы следует, что в маловодные годы (2014, 2015) в конце зимней межени в воде водохранилища, особенно в створе Прилуки, наблюдались более высокие значения БПК₅ и повышенные, по сравнению с многоводными (2012, 2013) годами, концентрации общего фосфора и аммонийного азота, что может быть объяснено увеличением влияния сточных вод в маловодный период.

Таблица 2. Показатели и ингредиенты химического состава воды Угличского водохранилища в период наибольшей сработки уровня в различные годы в створе Кимры: яхт-клуб «Два капитана» (числитель), Прилуки (знаменатель)

Table 2. Indicators and ingredients of the Uglich reservoir water chemical composition during the period of the most reservoir drawdown in different year in the Kimry reach: «Two Capitans» yacht-club (numerator), Priluki (denominator)

Показатели	ПДК _{рх}	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
рН, ед. рН	6,5–8,5	7,7/7,3	6,9/7,15	7,15/7,5	7,7/6,9
Общая щелочность, мг-экв/дм ³	–	3,2/3,2	3,3/3,1	2,8/3,0	3,4/1,4
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	–	3,5/3,6	3,7/3,5	3,4/3,35	4,6/1,9
Минерализация, мг/дм ³	1000	305/293	309/290	275/289	318/151
Сульфаты, мг/дм ³	100	19,2/18,7	18,2/18,2	7,9/20,9	16,3/13,9
Хлориды, мг/дм ³	300	10,3/7,3	10,5/8,9	1,3/7,9	12,8/12,2
Железо общее, мг/дм ³	0,1	0,24/0,08	0,71/0,61	0,35/0,39	0,19/0,08
Марганец, мг/дм ³	0,01	0,29/0,33	0,22/0,17	0,19/0,13	0,19/0,15
Аммонийный азот, мгN/дм ³	0,4	0,72/0,28	0,86/0,86	0,71/1,24	0,38/0,75
Нитраты, мгN/дм ³	9,1	0,93/0,81	0,81/0,81	0,70/0,72	0,79/0,18
Фосфор общий, мгP/дм ³	0,02	0,054/0,053	0,084/0,090	0,111/0,207	0,105/0,141
Цветность, град. Pt-Co шкалы	–	40/45	65/60	57/64	20/15
ПО, мгО/дм ³	10	9,0/11,8	14/14,4	13,8/14,7	6,2/9,6
БПК ₅ , мгО/дм ³	2	1,7/2,9	1,4/1,0	1,4/5,2	1,5/10,6

Установлено, что в период маловодья уменьшается объем водного стока малых притоков Угличского водохранилища, поэтому при сбросе неочищенных стоков резко ухудшается качество воды в них. Так, в пробе воды, отобранной в р. Мимошня в районе поступления неочищенных стоков, определены высокие значения органического вещества, установлено превышение ПДК_{рх} для БПК₅ в 100 раз. Концентрация общего фосфора составила 28 ПДК, аммонийного азота – около 10 ПДК. Зафиксирована очень высокая концентрация хлоридов, превышающая концентрацию в водохранилище более чем в 20 раз.

Исследование современного зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища проведено в зимнюю межень 2017–2019 гг. Результаты химического анализа проб воды, отобранных в двух створах, представлены в табл. 3–7.

Таблица 3. Значения концентраций главных ионов и минерализации воды в створах Угличского водохранилища в зимний период 2017–2019 гг., мг/дм³
Table 3. Values of the main ions concentration and water salinity in the Uglich reservoir reaches in the winter period of 2017–2019, mg/dm³

Створ наблюдений	Год	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	М
пгт Белый Городок	2017	56,1	14,6	12,8	231,9	19,0	9,6	351
	2018	37,3	11,1	7,3	164,8	11,8	5,1	243
	2019	49,7	17,5	11,1	219,7	17,5	14,3	334
Верхний бьеф Угличской ГЭС	2017	60,9	16,5	3,8	238,0	17,0	8,9	353
	2018	39,6	12,9	9,3	170,9	18,9	6,4	265
	2019	48,1	13,1	10,1	201,4	18,5	12,7	309

Как и в предыдущие годы наблюдений, химический состав воды Угличского водохранилища в зимний период гидрокарбонатный, кальциево-магниевый, значения минерализации воды колеблются в интервале 243–351 мг/дм³. Максимальные значения минерализации воды и концентраций главных ионов отмечены в створе пгт Белый Городок (табл. 3). Водородный показатель практически не изменяется по годам и створам, мутность воды была невысокой (табл. 4).

Концентрации фосфора минерального в Угличском водохранилище зимой составляли в последние годы 0,043–0,076 мгP/дм³, общего валового фосфора в замыкающем створе достигали 0,138 мг/дм³, на верхнем участке – 0,126 мгP/дм³, концентрации нитратов были невысоки и не превышали 0,84 мгN/дм³, максимальная концентрация аммонийного азота достигала 0,58 мгN/дм³ на верхнем участке водохранилища (табл. 5).

Значения цветности и перманганатной окисляемости значительно изменялись по годам в диапазоне 25–77 градусов Pt-Co шкалы и 6,7–13,6 мгO/дм³, значения БПК₅ невысоки, как и в 2010–2012 гг. Более высокие кон-

центрации марганца отмечены, в основном, на верхнем участке водохранилища: 0,10–0,32 мг/дм³, что составляет 10–32 ПДК_{рх} (табл. 6).

Концентрации тяжелых металлов не превышали значений, характерных для верхневолжских водохранилищ (табл. 7).

Таблица 4. Значения физико-химических показателей в створах Угличского водохранилища в зимний период 2017–2019 гг.

Table 4. Values of physical/chemical indicators in the Uglich reservoir reaches in the winter period of 2017–2019

Створ наблюдений	Год	pH, ед. pH	χ, мS/m	Мутность, мг/дм ³
пгт Белый Городок	2017	7,5	38,0	5,0
	2018	7,5	27,3	1,3
	2019	7,7	38,1	0,9
Верхний бьеф Угличской ГЭС	2017	7,5	38,9	1,5
	2018	7,8	30,3	2,9
	2019	7,6	35,4	0,6

Таблица 5. Концентрации биогенных элементов в створах Угличского водохранилища в зимний период 2017–2019 гг.

Table 5. Concentration of biogenic elements in the Uglich reservoir reaches in the winter period of 2017–2019

Створ наблюдений	Год	P _{мин'} , мгP/дм ³	P _{общ'} , мгP/дм ³	P _{общ', вал.',} мгP/дм ³	NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	SiO ₂ , мг/дм ³	Fe _{общ'} , мг/дм ³
пгт Белый Городок	2017	0,048	0,075	0,124	0,22	0,007	0,79	3,9	0,28
	2018	0,043	0,074	0,084	0,58	0,004	0,14	4,6	0,41
	2019	0,076	0,121	0,138	0,24	0,002	0,54	2,7	0,16
Верхний бьеф Угличской ГЭС	2017	0,047	0,070	0,082	0,12	0,008	0,84	4,2	0,26
	2018	0,055	0,093	0,126	0,14	0,004	0,68	5,2	0,37
	2019	0,055	0,090	0,091	0,06	0,002	0,63	2,6	0,06

Таблица 6. Значения показателей органического вещества и концентраций марганца в створах Угличского водохранилища в зимний период 2017–2019 гг.

Table 6. Values of the organic matter and manganese concentration indicators in the Uglich reservoir reaches in the winter period of 2017–2019

Створ наблюдений	Год	БПК ₅ , мгО/дм ³	Цветность, град. Pt-Co шкалы	ПО, мгО/дм ³	Mn, мг/дм ³
пгт Белый Городок	2017	1,1	45	12,0	0,32
	2018	0,9	77	15,4	0,23
	2019	1,5	25	7,2	0,26
Верхний бьеф Угличской ГЭС	2017	0,5	45	13,6	0,23
	2018	3,0	77	18,2	0,27
	2019	0,9	25	6,7	0,10

Таблица 7. Концентрации тяжелых металлов в створах Угличского водохранилища в зимний период 2017–2019 гг.
Table 7. Concentration of heavy metals in the Uglich reservoir reaches in the winter period of 2017–2019

Створ наблюдений	Год	Цинк, мг/дм ³	Свинец, мг/дм ³	Медь, мг/дм ³	Хром, мг/дм ³
пгт Белый Городок	2017	0,0237	0,0141	0,0058	0,0070
	2018	0,0131	0,0073	0,0056	0,0014
	2019	0,0088	0,0066	0,0039	0,0012
Верхний бьеф Угличской ГЭС	2017	0,0140	0,0125	0,0038	0,0028
	2018	0,0343	0,0088	0,0088	0,0028
	2019	0,0141	0,0024	0,0037	0,0023

ВЫВОДЫ

Формирование зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища происходит в период установления ледостава, продолжительность которого в среднем составляет 140 сут. Воды, поступающие зимой из Ивановковского водохранилища, в основном определяют особенности гидрохимического режима Угличского водохранилища в этот период.

Значительная сработка уровня водохранилища в феврале-марте приводит к усилению роли подземного питания и увеличению влияния сточных вод на формирование гидрохимического режима водохранилища. Так, в зимний период отмечаются максимальные значения щелочности, жесткости, минерализации воды, концентрации главных ионов, общего фосфора и аммонийного азота.

За многолетний период химический состав воды Угличского водохранилища изменился незначительно и по-прежнему остается гидрокарбонатным кальциево-магниевым. Минерализация воды достигает 350 мг/дм³. Следует отметить существенное увеличение концентрации хлоридов по сравнению с 1950-ми годами.

Значения основных показателей зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища изменяются по годам, сезонам и створам. Наиболее высокие концентрации марганца, железа общего и аммонийного азота отмечаются на верхнем участке водохранилища, более высокие концентрации общего валового фосфора и нитратов – в его замыкающем створе. Значения цветности и перманганатной окисляемости, зафиксированные в воде верхнего и нижнего участка водохранилища, в последние годы практически одинаковы. Значения БПК₅ зимой невысоки и обычно не превышают 3 мгО/дм³. Концентрации тяжелых металлов невысоки и не превышают региональных значений.

Изменение климатических условий в бассейне Угличского водохранилища и наблюдаемые зимой оттепели могут привести к поступлению бо-

лотных вод с водосбора и к повышению в дальнейшем значений цветности и ПО в воде водоема, соответственно, и к увеличению затрат на осветление водопроводной воды.

Результаты, полученные в данном исследовании, могут быть использованы при прогнозных оценках качества воды Угличского водохранилища, являющегося источником питьевого водоснабжения расположенных по его берегам городов и поселков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьева И.А., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Лапина Е.Е., Чекмарева Е.А. // Труды VII Всерос. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Качество воды. Геоэкология. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Т. 2. С. 50–55.
2. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2014. 183 с.
3. Bengtsson L. Ice Covered Lakes Encyclopedia of lake and reservoirs Springer Dordrecht (Heidelberg, New York, London). 2012. P. 357–360.
4. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водоохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 291 с.
5. Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.
6. Курдина Т.Н. Элементы гидрологического режима и водный баланс Угличского водохранилища // Труды Института биологии водохранилищ. М.-Л.: Академия наук СССР, 1959. Вып. 2 (5). С. 231–245.
7. Лупанова И.А., Крутенко С.А., Григорьева И.А., Федорова Л.П. Комплексный мониторинг Угличского водохранилища // сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. «Водоохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление». Новочеркасск: Лик, 2019. С. 259–266.
8. Законнов В.В., Гершевский П., Законнова А.В., Кашубский М. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 3. Оценка изменения морфометрических характеристик в результате накопления донных отложений в Угличском водохранилище // Водное хозяйство России. 2016. № 6. С. 61–72.
9. ГОСТ 3161-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
10. Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.
11. Трифонова Н.А. Гидрохимическая характеристика Угличского водохранилища по материалам 1955–1958 гг. // Труды Института биологии водохранилищ АН СССР. Вып. 4 (7). С. 321–327.
12. Григорьева И.А. Современная гидрохимическая оценка Ивановского и Угличского водохранилищ // Труды IV Всерос. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Качество воды. Геоэкология. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2013. Т. 2. С. 48–53.
13. Григорьева И.А., Лупанова И.А. Характеристика качества воды и донных отложений Угличского водохранилища в период маловодья // Труды конгресса

- 17-го межд. науч.-пром. форума. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. архитектурно-строит. ун-т, 2015. С. 106–108.
14. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 240 с.
15. Cavaliere E. Biogeochemistry under ice // A Thesis Submitted to the College of Graduate and Postdoctoral Studies (University of Saskatchewan). 2018. 189 p.

Для цитирования: Григорьева И.А. Закономерности и факторы формирования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища // *Водное хозяйство России*. 2020. № 2. С. 52–64.

Сведения об авторе:

Григорьева Ирина Леонидовна, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, филиал ИВНИС, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН), Россия, 171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, д. 61-А; e-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

**REGULARITIES AND FACTORS OF FORMATION OF WINTER
HYDRO/CHEMICAL REGIME OF THE UGLICH RESERVOIR**

Irina L. Grigoryeva

E-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

Ivankovskaya Research Station of Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Konakovo, Russia

Abstract: The article presents the results of the study of the winter hydro/chemical regime of the Uglich reservoir which is the second stage of the Volga-Kama cascade of reservoirs.

In winter period the main influence on the formation of the hydrochemical regime of the Uglich reservoir is exerted by water coming from the Ivankovsk reservoir which located upstream. It was found that water in the reservoir is hydrocarbonate, mineralization varies from 243 to 351 mg per liter, calcium and magnesium concentrations reach 60.9 and 17.5 mg per liter. Concentrations of mineral phosphorus in the reservoir are 0.043–0.076 mg per liter, total gross phosphorus in the upper relief of the Uglich HPP reach 0.138 mg per liter, nitrate concentrations are 0.14–0.84 mg per liter.

The main indicators of hydro/chemical regime of the Uglich reservoir have spatio-temporal variability. Its change from year to year, as well as from target to target. Global climate changes have not yet had a significant impact on the winter hydro/chemical regime of the reservoir.

Key words: Uglich reservoir, winter hydro/chemical regime, freezing, climate changing

About the authors:

Irina L. Grigoryeva, Candidate of Geographic Sciences, Leading Researcher, Ivankovskaya Research Station of Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Belavinskay st, Konakovo, 171251, Russia; e-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

For citation: Grigoryeva I.L. Regularities and Factors of Formation of Winter Hydro/chemical Regime of the Uglich Reservoir// *Water Sector of Russia*. 2020. No.2. P. 52–64.

REFERENCES

1. Grigor'eva I.L., Komissarov A.B., Kuzovlev V.V., Lapina E.E., Chekmareva E.A. // Trudy VII Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchast. «Sovremennye problemy vodohranilishh i ih vodosborov. T. 2: Kachestvo vody. Geoekologiya [Modern problems of

- water reservoirs and their catchments. V.2 Water quality. Geo/ecology] Perm. gos. nac. issled. unt. Perm', 2019. P. 50-55.
2. *Kalinin V.G.* Vodniy rezhim kamskih vodohranilishch i rek ikh vodosbrosa v zimniy sezon [Water regime of the Kama reservoirs and their catchment rivers during the winter period]. Perm: Permskiy gos. nac. issled. un-t, 2014. 183 p.
 3. *Bengtsson L.* Ice Covered Lakes Encyclopedia of lake and reservoirs Springer Dordrecht (Heidelberg, New York, London). 2012. P. 357-360.
 4. Gidrometeorologicheskij rezhim ozer i vodohranilishh SSSR. Vodokhranilishcha Verkhney Volgi [Hydro/meteorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Reservoirs of the Upper Volga]. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 291 p.
 5. Ekologicheskie problemy Verhney Volgi [Ecological problems of the Upper Volga]. Jaroslavl': Izd-vo JaGTU, 2001. 427 s.
 6. *Kurdina T.N.* Elementy gidrologicheskogo rezhima i vodniy balans Uglichskogo vodokhranilishcha [Elements of hydrological regime and water balance of the Uglich reservoir] //Trudy Instituta biologiyi vodokhranilishch. M.-L.: Akademiyi nauk SSSR, 1959. Vyp. 2 (5). P. 231-245.
 7. *Lupanova I.A., Krutenko S.A., Grigor'eva I. L., Fedorova L.P.* Kompleksniy monitoring Uglichskogo vodokhranilishcha [Complex monitoring of the Uglich reservoir] //Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsiyi «Vodokhranilishcha Rossiyskoy Federatsiyi: sovremennyye ekologicheskie problemy, sostoyanie, upravlenie». Novocherkassk: Lik, 2019. P. 259-266.
 8. *Zakonov V.V., Gershevskiy P., Zakonnova A.V., Kashubskiy M.* Prostranstvenno-vremennaya transformatsiya gruntovogo kompleksa vodokhranilishch Volgi. Soobshchenie 3. Otsenka izmeneniya morfometricheskikh kharakteristik v rezultate nakopleniya donnykh otlozheniy v Uglichskom vodokhranilishche [Spatial/temporal transformation of the soil complex of the Volga reservoirs. Communication 3. Assessment of the changes of morphometric characteristics resulted from accumulation of bottom sediments] // Water Sector of Russia. 2016. No. 6. P. 61-72.
 9. GOST 3161-2012 «Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob» [Voda. General requirements to sampling]. M.: Standartinform, 2013. 32 p.
 10. Volga i yeyo zhizn [Water and its life]. L.: Nauka, 1978. 350 p.
 11. *Trifonova N.A.* Gidrokhimicheskaya kharakteristika Uglichskogo vodokhranilishcha po materialam 1955-1958 gg [Hydrochemical characteristics of the Uglich reservoir according to the data of 1955-1958] // Trudy Instituta biologii vodokhranilishh AN SSSR. Vyp. 4 (7). P. 321-327.
 12. *Grigor'eva I.L.* Sovremennaya gidrokhimicheskaya otsenka Ivan'kovskogo i Uglichskogo vodokhranilishch [Contemporary hydro/chemical estimation of the Ivankovsk and Uglich reservoirs] // Trudy IY Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchast. «Sovremennyye problemy vodokhranilishh i ih vodosborov. T. 2: Kachestvo vody. Geojekologiya. Perm. gos. nac. issled. unt. Perm', 2013. Pp. 48-53.
 13. *Grigor'eva I.L., Lupanova I.A.* Kharakteristika kachestva vody i donnykh otlozheniy Uglichskogo vodokhranilishcha v period malovodya [Characteristics of the Uglich reservoir water quality and bottom sediments during the low water periods] //Trudy kongressa 17-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvenniy arkhitekturno-stroitel'niy universitet, 2015. P. 106-108.
 14. *Zenin A.A., Belousova N.V.* Gidrohimicheskij slovar [Hydro/chemical vocabulary]. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 240 p.
 15. *Cavaliere E.* Biogeochemistry under ice// A Thesis Submitted to the College of Graduate and Postdoctoral Studies (University of Saskatchewan), 2018. 189 p.