

## **Закономерности и факторы формирования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища в изменяющихся гидроклиматических условиях**

И.Л. Григорьева

*Иваньковская научно-исследовательская станция – филиал ФГБУ «Институт водных проблем Российской академии наук», г. Конаково, Россия  
Irina\_Grigorieva@list.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища – второй, после Иваньковского, ступени Волжского-Камского каскада водохранилищ, водосбор которого большей частью расположен на территории Тверской области. В зимний период основное влияние на формирование гидрохимического режима Угличского водохранилища оказывают водные массы, поступающие из расположенного выше Иваньковского водохранилища.

Установлено, что зимой вода в Угличском водохранилище гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава по О.А. Алекину, минерализация изменяется от 243 до 351 мг/дм<sup>3</sup>, концентрации кальция и магния достигают 60.9 и 17.5 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Концентрации фосфора минерального составляют 0.043–0.076 мгР/дм<sup>3</sup>, общего валового фосфора – 0.138 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов – 0.14–0.84 мгN/дм<sup>3</sup>. Основные показатели гидрохимического режима Угличского водохранилища имеют пространственно-временную изменчивость, т.е. изменяются как год от года, так и от створа к створу. Глобальные климатические изменения пока не оказали существенного влияния на зимний гидрохимический режим водоема.

**Ключевые слова:** Угличское водохранилище, зимний гидрохимический режим, ледостав.

## **Factors of formation of winter hydrochemical regime of the Uglicheskoye reservoir in climatic condition changing**

I.L. Grigoryeva

*Ivankovskaya Research Station of Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Konakovo, Russia  
Irina\_Grigorieva@list.ru*

**Abstract.** There are presented results of the study of the winter hydrochemical regime of Uglicheskoye reservoir is the second stage of the Volga-Kama cascade of reservoirs. Its basin mostly located in the Tver region. In winter period the main influence on the formation of the hydrochemical regime of the Uglicheskoye reservoir is exerted by water coming from the Ivankovskoye reservoir which located above.

It was found that water in the reservoir is hydrocarbonate, mineralization varies from 243 to 351 mg per litre, calcium and magnesium concentrations reach 60.9 and 17.5 mg per litre. Concentrations of mineral phosphorus in the reservoir are 0.043–0.076 mg per litre, total gross phosphorus in the upper relief of the Uglich HPP reach 0.138 mg per litre, nitrate concentrations are 0.14–0.84 mg per litre. The main indicators of hydrochemical regime of the Uglicheskoye 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 hydrochemical regime of the reservoir.

**Keywords:** Uglicheskoye reservoir, winter hydrochemical regime, ice cover.

### **Введение**

Зимний гидрохимический режим водотоков и водоемов формируется в период установления ледового покрова. Как указано в источнике [3] для него характерны: низкая температура воды, отсутствие поверхностного стока, преобладание питания водотоков и водоемов грунтовыми водами, уменьшение расходов воды, изменение характера миграции химических элементов в воде, дефицит кислорода в воде, снижение активности водной биоты.

Сезонное регулирование водохранилищ характеризуется сработкой уровня воды в зимний период. Как упомянуто Калининым [7] за начало зимнего сезона обычно принимают переход от наземного к подземному питанию, а за конец – обратный переход к наземному питанию. Временной интервал этого периода определяется устойчивым переходом температуры воздуха через 0°C к отрицательной температуре осенью и к положительной температуре весной.

Как указано в источнике [2], начиная с середины 1970-х гг., температура воздуха на Европейской территории России повышалась со средней скоростью 0.43/10 лет, что более чем в 2.5 раза превышает скорость глобального потепления.

Анализ региональных трендов изменения температуры воздуха в бассейне Рыбинского водохранилища авторами [6] показал, что оценки тренда, полученные для разных сезонов периода 1976–2015 гг., существенно больше, чем для всего периода существования водохранилища. По данным [6] за период потепления среднегодовая температура воздуха повышалась со скоростью 0.55°C/10 лет, зимой – скорость потепления возросла до 0.73°C/10 лет.

В бассейне Иваньковского водохранилища (метеостанция Тверь) в соответствии с [4] наблюдается повышение температуры воздуха в последние 30 лет в сравнении с периодом с 1944 по 1974 гг.: в январе на 0.6°C, в феврале на 0.67°C, в марте на 0.77°C.

Климатические изменения в бассейне верхней Волги в последние 30 лет привели к уменьшению длительности периода ледостава на водных объектах, к частым оттепелям, что возможно скажется и на гидрохимическом режиме водных объектов.

Целью исследований было изучение закономерностей и факторов формирования зимнего гидрохимического режима в изменяющихся гидроклиматических условиях одного из водохранилищ бассейна верхней Волги – Угличского.

### **Материалы и методы исследования**

Угличское водохранилище – вторая, после Иваньковского, ступень Волжского-Камского каскада водохранилищ, водосбор которого большей частью расположен на территории Тверской области. Полный объем водохранилища при НПУ – 1 245 млн м<sup>3</sup>, полезный – 809 млн м<sup>3</sup>, площадь акватории 249 км<sup>2</sup>, длина 146 км, средняя глубина 5.0 м, максимальная у плотины – 23 м, средняя ширина 2.2 км, максимальная – 5 км.

Для оценки зимнего гидрохимического режима водохранилища использовались как литературные данные [1; 8], так и материалы собственных исследований в зимние периоды 2017–2019 гг. Отбор проб воды проводился из поверхностного горизонта согласно ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [5].

Анализ проб воды осуществлялся в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской НИС ИВП РАН по аттестованным методикам. В пробах воды определяли физико-химические показатели (рН, электропроводимость, мутность), макрокомпонентный состав (НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>, Са<sup>2+</sup>, Мг<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> и К<sup>+</sup>), биогенные

элементы ( $Fe_{\text{общ}}$ , Si, соединения азота и фосфора), показатели содержания органического вещества (БПК<sub>5</sub>, перманганатная окисляемость (ПО), цветность), микроэлементы (медь, цинк, свинец, хром, марганец).

### Результаты и выводы

Как указано в источнике [1], преобладающая часть стока Волги формируется в зоне избыточного увлажнения (лесной), что обуславливает относительно низкое содержание солей в воде реки на всем ее протяжении и, в том числе, в водохранилищах верхней Волги. Зимой, как и в остальные сезоны года, основное влияние на формирование гидрохимического режима Угличского водохранилища оказывают воды, поступающие, из выше расположенного, Ивановского водохранилища [1]. Боковые притоки, несмотря на относительно высокое участие в питании водохранилища, не вносят существенное изменение в содержание и соотношение главных ионов, что, по-видимому, вызвано формированием их стока на водосборе, аналогичном по своим условиям водосбору Ивановского водохранилища [1].

Результаты исследований гидрохимического режима Угличского водохранилища в середине 50-х годов прошлого столетия, опубликованные в [8], показали, что воды Угличского водохранилища слабо минерализованные, гидрокарбонатно-кальциевые ( $HCO_3^-$  – 59–170 мг/дм<sup>3</sup>;  $Ca^{2+}$  – 38–90 мг/дм<sup>3</sup>), характеризующиеся малым количеством хлоридов (обычно 0.7–2 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрация солей, как указано в источнике [8], достигали максимума в зимний и предпаводочный периоды, и жесткость, как один из характерных показателей солевого состава возрастала в это время до 8.7 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Зимой соединения железа общего и марганца имели свои максимальные значения и составляли соответственно 0.8–1.9 и до 0.3–0.5 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследование современного зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища проводилось автором в зимнюю межень 2017–2019 гг. Результаты химического анализа проб воды, отобранных в двух створах, представлены в Табл. 3–5. Как и в предыдущие годы наблюдений [1; 8] химический состав воды Угличского водохранилища зимой в последние годы гидрокарбонатный кальциево-магниевый, значения минерализации воды колеблются в интервале 243–351 мг/дм<sup>3</sup>. Значения минерализации воды и концентрации главных ионов в створе Белый Городок были выше, чем в верхнем бьефе Угличской ГЭС (Табл. 1)

По сравнению с данными Трифионовой [8] в воде Угличского водохранилища зимой в последние годы увеличились концентрации хлоридов, что, очевидно, связано не с потеплением климата, а с увеличением антропогенной нагрузки на водоем.

Водородный показатель практически не изменяется по годам и по створам, мутность воды невысока (Табл. 2).

Концентрации фосфора минерального составляют в последние годы 0.043–0.076 мгP/дм<sup>3</sup>, общего валового фосфора в замыкающем створе достигают 0.138 мг/дм<sup>3</sup>, а на верхнем участке – 0.126 мгP/дм<sup>3</sup>, концентрации нитратов невысоки и не превышают 0.84 мгN/дм<sup>3</sup>, максимальная концентрация аммонийного азота составила 0.58 мгN/дм<sup>3</sup> на верхнем участке водохранилища (Табл. 3).

Значения цветности и перманганатной окисляемости значительно изменялись по годам соответственно в диапазоне 25–77 градусов Pt-Co шкалы и 6.7–13.6 мгO/дм<sup>3</sup>, значения БПК<sub>5</sub> были невысоки. Более высокие концентрации марганца отмечались, в основном, на верхнем участке водохранилища и составляли 0.10–0.32 мг/дм<sup>3</sup> (10–32 ПДК<sub>рыб.</sub>) (Табл. 4).

Концентрации тяжелых металлов (Табл. 5) не превышают региональных значений.

**Табл. 1** Значения концентраций главных ионов ( $\text{мг/дм}^3$ ) и минерализации воды ( $\text{мг/дм}^3$ ) в створах Углицкого водохранилища Белый Городок (1) и верхний бьеф Углической ГЭС (2) в зимний период 2017 – 2019 гг.

Точка отбора	Год	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	М
1	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
2	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

**Табл. 2** Значения физико-химических показателей в створах Углицкого водохранилища Белый Городок (1) и верхний бьеф Углической ГЭС (2) в зимний период 2017 – 2019 гг.

Точка отбора	Год	pH, ед. pH	$\chi$ , мS/m	Мутность, $\text{мг/дм}^3$
1	2017	7.5	38.0	5.0
	2018	7.5	27.3	1.3
	2019	7.7	38.1	0.9
2	2017	7.5	38.9	1.5
	2018	7.8	30.3	2.9
	2019	7.6	35.4	0.6

**Табл. 3** Концентрации биогенных элементов в створах Углицкого водохранилища Белый Городок (1) и верхний бьеф Углической ГЭС (2) в зимний период 2017 – 2019 гг.

Точка отбора	Год	$\text{P}_{\text{мин.}}$ , $\text{мгP/дм}^3$	$\text{P}_{\text{общ.}}$ , $\text{мгP/дм}^3$	$\text{P}_{\text{общ. вал.}}$ , $\text{мгP/дм}^3$	$\text{NH}_4^+$ , $\text{мгN/дм}^3$	$\text{NO}_2^-$ , $\text{мгN/дм}^3$	$\text{NO}_3^-$ , $\text{мгN/дм}^3$	$\text{SiO}_2$ , $\text{мг/дм}^3$	$\text{Fe}_{\text{общ.}}$ , $\text{мг/дм}^3$
1	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
2	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

Наши исследования показали, что зимой, как и в остальные сезоны года, по-прежнему основное влияние на формирование гидрохимического режима Углицкого водохранилища оказывают воды, поступающие из выше расположенного, Иваньковского водохранилища.

Зимой вода в Углицком водохранилище гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава по О.А. Алекину, минерализация изменяется от 243 до 351  $\text{мг/дм}^3$ , концентрации кальция и магния достигают 60.9 и 17.5  $\text{мг/дм}^3$  соответственно.

Концентрации фосфора минерального в водохранилище составляют 0.043–0.076

мгР/дм<sup>3</sup>, общего валового фосфора в верхнем бьефе Угличской ГЭС достигают 0.138 мг/дм<sup>3</sup>, концентрации нитратов изменяются в диапазоне от 0.14 до 0.84 мгN/дм<sup>3</sup>.

**Табл. 4 Значения показателей органического вещества и концентраций марганца в створах Угличского водохранилища Белый Городок (1) и верхний бьеф Угличской ГЭС (2) в зимний период 2017–2019 гг.**

Точка отбора	Год	БПК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	Цветность, град. Pt-Co шкалы	ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	Мп, мг/дм <sup>3</sup>
1	2017	1.1	45	12.0	0.32
	2018	0.9	77	15.4	0.23
	2019	1.5	25	7.2	0.26
2	2017	0.5	45	13.6	0.23
	2018	3.0	77	18.2	0.27
	2019	0.9	25	6.7	0.10

**Табл. 5 Концентрации тяжелых металлов (мг/дм<sup>3</sup>) в створах Угличского водохранилища Белый Городок (1) и верхний бьеф Угличской ГЭС (2) в зимний период 2017 – 2019 гг.**

Точка отбора	Год	Цинк	Свинец	Медь	Хром
1	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
2	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

Концентрации железа общего и марганца не превышают значений указанных в источниках [1; 8].

Основные показатели гидрохимического режима Угличского водохранилища имеют пространственно-временную изменчивость, т.е. изменяются как год от года, т.к. и от створа к створу.

Сравнительный анализ значений показателей зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища, полученных автором в последние годы и приведенных в источниках [1; 8], показал, что глобальные климатические изменения пока существенно не повлияли на него.

#### **Благодарности**

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

#### **Acknowledgments**

The research has been conducted in the framework of regional grant of RFBR–Tver oblast no. №18-45-690001. This study was supported by Government of Tver region, project no. 18-45-690001.

## Список литературы

1. Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. 2014. 1008 с.
3. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Лапина Е.Е., Чекмарева Е.А. Особенности зимнего гидрохимического режима водохранилищ бассейна верхней Волги // Труды VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. 2: Качество воды. Геоэкология. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С. 50-55.
4. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Лапина Е.Е., Лапина Л.Э., Чекмарева Е.А. Предварительные результаты исследования закономерностей и факторов формирования зимнего гидрохимического режима поверхностных и подземных вод Тверской области // Сборник Трудов региональных научных проектов Тверской области 2018 г. в сфере фундаментальных исследований под. ред. В.М. Самсонова и С.В. Жукова. Тверь: Издательство ТГУ, 2018. С. 10–16.
5. ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб», М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
6. Законнова А.В., Литвинов А.С. Многолетние изменения гидроклиматического режима Рыбинского водохранилища //Труды ИБВВ РАН. 2016. Вып. 75(78). С. 16–22.
7. Калинин В. Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосброса в зимний сезон. Пермь : Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2014. 183 с.
8. Трифонова Н.А. Гидрохимическая характеристика Угличского водохранилища по материалам 1955-1958 гг.//Труды Института биологии водохранилищ АН СССР. Вып. 4(7). С. 321–327.