

УДК 556.555.6

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2023-1-16-25>

ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД¹

И.Л. Григорьева

Институт водных проблем РАН, Ивановская НИС, г. Конаково

Исследовано влияние водности и температуры воды на гидрохимические характеристики Угличского водохранилища в летний период. Отмечено, что в июне, с наибольшим количеством осадков, наблюдаются меньшие значения минерализации и большие значения цветности. При более высокой температуре воды отмечается явное увеличение значений БПК₅ и уменьшение концентраций нитратов.

***Ключевые слова:** Угличское водохранилище, водность года, температура воды, температура воздуха, сумма осадков, главные ионы, минерализация воды, биогенные элементы, органическое вещество, микроэлементы.*

Введение и постановка проблемы

Формирование гидрохимического режима и качества воды водохранилищ происходит под влиянием физико-географических условий и антропогенных факторов. При нахождении водохранилища в каскаде, качество его воды определяется, прежде всего, химическим составом притока воды от выше расположенного водохранилища.

Для водохранилищ, как и для рек, характерна пространственно-временная изменчивость гидрохимических показателей, как межсезонная, так и межгодовая. Для водохранилищ сезонного регулирования важную роль играет величина сработки уровня воды. В летний период, при стоянии уровня воды возле НПУ, на первое место выходит температура воздуха [5].

Угличское водохранилище создано в 1939 г. Является второй ступенью Волжско-Камского каскада водохранилищ после Ивановского. Это крупный проточный водоем руслового типа и сезонного регулирования. Полный объем водохранилища при НПУ (113,0 м) составляет 1245 млн. м³, полезный объем – 809 млн. м³, площадь акватории – 249 км², длина – 146 км, средняя глубина – 5.0 м, максимальная глубина у плотины – 23 м, средняя ширина – 2,2 км, максимальная – 5 км.

© Григорьева И.Л., 2023

¹ Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН

Среднегодовое приток в водохранилище составляет около 10,06 км³, из Иваньковского водохранилища поступает примерно 71% от годового притока воды в водохранилище, 29% в водном балансе приходится на боковую приточность [9, 15].

Водоохранилище используется для выработки электроэнергии на Угличской ГЭС, судоходства, водоснабжения и водоотведения таких городов, как: Дубна, Кимры, Калязин, Углич, а также рекреации. Объем сточных вод, поступающих с хозяйственно-бытовыми стоками гг. Дубна, Кимры, Калязин и пгт Белый Городок составляет примерно 12230 тыс. м³/год [4].

Гидрохимическая характеристика Угличского водохранилища в различные годы и сезоны представлена в работах [1, 2, 6, 8, 11–15]. Подробно описан гидрохимический режим Угличского водохранилища в зимний период, когда происходит сработка уровня воды, в [4]. Изменение показателей гидрохимического режима за многолетний период проанализировано в [13].

Цель работы – изучение влияния гидрометеорологических факторов, прежде всего, водности, температуры воздуха и температуры воды на гидрохимические характеристики Угличского водохранилища в летний период.

Для анализа использованы материалы гидрохимических исследований автора на Угличском водохранилище в конце июня 2015–2017 гг. Отбор проб производился из поверхностного горизонта по ГОСТ 3161–2012 [3]. В пробах воды определялись: главные ионы, цветность (Цв), перманганатная окисляемость (ПО), минеральные соединения азота и фосфора, железо общее, марганец, нефтепродукты (НП), микроэлементы (медь, цинк, хром, свинец), минерализация воды (М). Химический анализ проб воды производился в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской НИС Института водных проблем РАН по аттестованным методикам.

Постоянные створы наблюдений Иваньковской НИС на Угличском водохранилище указаны на рис 1.

Качество воды оценивалось по отдельным показателям в сравнении с ПДК для рыбохозяйственных водоемов [10]. Результаты химического анализа представлены в табл. 1–4.

Результаты исследования

Суммарный приток в Угличское водохранилище в 2015 г. составил 4,9 км³, в 2016 – 9,5 км³, а в 2017 г. – 17,5 км³, т.е. 2015 г. можно считать маловодным, 2016 г. – средним по водности, а 2017 г. – многоводным. В июне 2015 г. приток в Угличское водохранилище составил 378 млн. м³, в июне 2016 г. – 473 млн. м³, а в июне многоводного 2017 г. – 949 млн. м³. За июнь 2015 г. выпало 52 мм осадков, за июнь 2016

г. – 110 мм, а за июнь 2017 г. – 85 мм. Средняя температура июня 2015 г. и июня 2016 г. по метеостанции Кашин была практически одинакова, соответственно 16,1 и 16,0⁰С, а в июне 2017 г. она была ниже – 12,9⁰С. В период наблюдений уровень воды в водохранилище во все три года составлял 112,85–112,88 м, что близко к НПУ (113,0 м).



Рис. Основные створы наблюдений Ивановской НИС ИВП РАН на Угличском водохранилище:

1 – г. Дубна, ниже городского пляжа; 2 – Кимры, яхт-клуб «Два капитана»; 3 – г. Калязин, ниже очистных сооружений, 4 – д. Прилуки, 5 – Углич, верхний бьеф Угличской ГЭС

Поскольку рассматривались три смежных года, то допускалось, что антропогенная нагрузка на водоем в целом была одинаковой в каждый год, что позволяет рассмотреть только влияние водности и температуры воздуха и температуры воды на гидрохимические характеристики.

Значения температуры воды в точках отбора в 2015 г. колебались в интервале 20,3–20,9⁰С, а ниже очистных сооружений г. Калязина она составила 22,6⁰С. В июне 2016 г. температура воды в точках отбора была немного выше, чем в 2015 г. и изменялась в интервале 21,2–22,1⁰С, а у г.

Кимры вода прогрелась до 24,1⁰С. В 2017 г. температура воды не измерялась.

Вода в водохранилище в периоды наблюдений была среднеминерализованная, гидрокарбонатно-кальциево-магниевая, что согласуется с [2,13–14]. Диапазон изменения концентраций гидрокарбонатного иона составил 122–177 мг/дм³, сульфат-аниона – 11,7–20,2 мг/дм³, хлорид-аниона – 2,0–10,7 мг/дм³, иона магния – 7,8–11,2 мг/дм³, суммы концентраций ионов калия и натрия – 4,5–14,0 мг/дм³, минерализации воды – 191–275 мг/дм³. Отмечена межгодовая изменчивость концентраций главных ионов и минерализации воды, которая, очевидно, обусловлена влиянием водности.

Анализ изменения концентраций главных ионов и величины минерализации воды показал, что, во все три года и практически для всех ионов наблюдается снижение значений от входного к замыкающему створу (табл. 1). Наименьшие значения минерализации воды во всех створах наблюдений отмечались в июне 2016 г., когда выпало большее количество осадков, чем в июне 2015 и 2017 гг.

Таблица 1

Концентрации (мг/дм³) главных ионов и величина минерализации воды (мг/дм³) в створах наблюдений Угличского водохранилища в июне 2015–2017 гг.

Показатель	Год	Створ наблюдений				ПДК _{рх}
		2	3	4	5	
HCO ₃ ⁻	2015	177	146	146	146	–
	2016	140	140	–	122	
	2017	171	159	153	146	
SO ₄ ²⁻	2015	17,3	14,8	11,7	15,8	100
	2016	15,0	19,1	–	20,2	
	2017	21,3	15,6	16,8	15,2	
Cl ⁻	2015	10,7	5,7	5,7	6,9	300
	2016	4,0	3,3	–	2,0	
	2017	7,4	5,0	5,0	5,0	
Ca ²⁺	2015	41,7	37,3	36,1	36,9	180
	2016	35,3	35,3	–	30,5	
	2017	41,7	35,3	34,5	35,3	
Mg ²⁺	2015	11,2	8,3	9,2	11,2	40
	2016	7,8	8,7	–	8,3	
	2017	10,2	9,2	9,2	8,7	
Na ⁺ +K ⁺	2015	14,0	5,0	6,3	4,5	–
	2016	7,8	7,5	–	6,8	
	2017	13,8	13,8	13,0	9,8	
M	2015	275	221	217	224	1000
	2016	211	215	–	191	
	2017	267	239	233	222	

В жизнедеятельности водных организмов активно участвуют биогенные вещества, к которым относятся соединения азота (NH_4^+ , NO_3^{2-} , NO_2^-), фосфора (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), кремния (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}) и железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) [7].

Концентрации биогенных веществ и марганца, определенные в пробах воды, отобранных в Угличском водохранилище в июне 2015–2017 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Концентрации (мг/дм^3) биогенных веществ и марганца в створах наблюдений Угличского водохранилища в июне 2015–2017 гг.

Показатель	Год	Створ наблюдений				ПДК _{рх}
		2	3	4	5	
PO_4^{3-}	2015	0,097	0,033	0,020	0,026	0,2
	2016	0,033	0,040	0,058	0,074	
	2017	0,170	0,084	0,093	0,122	
NH_4^+	2015	0,37	2,20	0,07	0,07	0,5
	2016	0,26	0,16	0,25	0,34	
	2017	0,25	0,24	0,19	0,27	
NO_3^{2-}	2015	1,20	0,51	0,74	1,30	45
	2016	0,21	0,24	0,32	0,72	
	2017	1,70	0,90	1,40	1,90	
NO_2^-	2015	0,025	0,008	0,011	0,014	0,08
	2016	0,007	0,014	0,005	0,026	
	2017	0,021	0,021	0,016	0,006	
$\text{Fe}_{\text{общ.}}$	2015	0,14	0,10	0,08	0,16	0,1
	2016	0,06	0,08	0,07	0,06	
	2017	0,13	0,08	0,13	0,11	
Mn^{2+}	2015	0,15	0,01	0,03	0,02	0,01
	2016	0,03	0,02	0,02	0,005	
	2017	0,03	0,02	0,01	0,01	

В период наблюдений концентрации фосфат-иона изменялись от года к году и от створа к створу существенно и варьировали в интервале от 0,020 до 0,170 мг/дм^3 . Концентрации нитратного и нитритного анионов были невелики и изменялись соответственно от 0,21 до 1,90 мг/дм^3 и от 0,005 до 0,026 мг/дм^3 . Концентрации иона аммония, в основном, варьировали в диапазоне от 0,07 до 0,37 мг/дм^3 , но в местах локального загрязнения могли возрасти до 2,2 мг/дм^3 (4 ПДК_{рх}).

Режим биогенных элементов зависит от температуры воды, которая определяет интенсивность жизнедеятельности организмов и процессы образования и разложения органического вещества [7], что и было подтверждено исследованиями на Угличском водохранилище. Так наибольшие концентрации фосфат-иона и нитратного аниона зафиксированы в более прохладное лето 2017 г., когда развитие

продукционных процессов в водохранилище было менее интенсивным, чем в теплые месяцы 2015 и 2016 гг. Диапазон изменения концентраций железа общего в воде Угличского водохранилища в июне всех трех лет был небольшим: 0,06–0,16 мг/дм³. Но наименьшие концентрации наблюдались в дождливое лето 2016 г.

Зафиксированные концентрации марганца составляли, в основном, 2–3 ПДК_{рх}, но иногда достигали и 15 ПДК_{рх} (табл. 2).

Содержание органического вещества в водохранилище определялось нами по косвенным показателям: цветности, перманганатной окисляемости и БПК₅.

Цветность воды Угличского водохранилища в исследуемый период практически не изменялась по створам и варьировала в диапазоне 40–60 град. Pt-Co шкалы (табл. 3). Наибольшие значения зафиксированы в более дождливый июнь 2016 г.

Таблица 3

Значения показателей органического вещества и концентрация нефтепродуктов в створах наблюдений Угличского водохранилища в июне 2015–2017 гг.

Показатель	Год	Створ наблюдений				ПДК _{рх}
		2	3	4	5	
Цветность, градусы Pt-Co шкалы	2015	43	45	35	40	–
	2016	60	60	60	60	
	2017	45	56	50	50	
ПО, мгО/дм ³	2015	13,2	12,4	13,1	11,1	–
	2016	13,4	12,8	12,5	13,4	
	2017	11,8	13,1	10,2	12,2	
БПК ₅ , мгО/дм ³	2015	3,0	2,1	1,1	1,4	2,1
	2016	5,5	3,1	3,1	2,2	
	2017	0,9	1,1	0,7	0,6	
НП, мг/дм ³	2015	0,01	0,06	0,06	0,05	0,05
	2016	0,07	0,06	0,07	0,06	
	2017	0,01	0,01	0,01	0,01	

Диапазон изменения перманганатной окисляемости в исследуемый период составил 10,2–13,4 мгО/дм³. Тесной зависимости от водности, как для цветности воды, не прослеживалось.

Наиболее высокие значения БПК₅ отмечались в более теплый июнь 2016 г. (табл. 3).

Зафиксированные концентрации нефтепродуктов (табл. 3) были на уровне или чуть выше ПДК_{рх}.

Из микроэлементов в воде водохранилища определялись медь, цинк, свинец и хром.

Концентрация меди в природных пресных водах колеблется от 0,002 до 0,030 мг/дм³ [7]. В воде Угличского водохранилища в период исследований концентрация меди изменялась от 0,001 до 0,011 мг/дм³ (табл. 4), что вполне соответствует значениям для незагрязненных водоемов.

В речных водах концентрация цинка обычно колеблется от 0,003 до 0,120 мг/дм³ [7]. В воде Угличского водохранилища в июне 2015–2017 гг. были зафиксированы концентрации в диапазоне от 0,014 до 0,152 мг/дм³ (табл. 4). Высокая концентрация цинка ниже г. Калязин в июне 2017 г. свидетельствует о локальном загрязнении на участке поступления сточных вод от города.

Таблица 4

Концентрации (мг/дм³) микроэлементов створах наблюдений
Угличского водохранилища в июне 2015–2017 гг.

Показатель	Год	Створ наблюдений				ПДК _{рх}
		2	3	4	5	
медь	2015	0,002	0,004	0,003	0,011	0,001
	2016	0,003	0,001	0,003	0,003	
	2017	0,004	0,010	0,003	-	
цинк	2015	0,018	0,021	0,023	0,041	0,01
	2016	0,014	0,014	0,023	0,018	
	2017	0,020	0,152	0,031	-	
свинец	2015	0,007	0,001	0,001	0,012	0,006
	2016	0,012	0,008	0,013	0,006	
	2017	0,006	0,006	0,017	-	
хром	2015	0,012	0,010	0,007	0,027	0,02
	2016	0,005	0,006	0,003	0,009	
	2017	0,002	0,002	0,001	-	

Концентрации свинца в природных незагрязненных водах незначительны (единицы микрограммов). Значительное повышение концентраций связано со сжиганием углей, применением тетраэтилсвинца в качестве антидетонатора в моторном топливе, с выносом в водные объекты со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт и т.д. [7]. В воде Угличского водохранилища отмечаются концентрации свинца, превышающие ПДК_{рх}, что является свидетельством антропогенного воздействия, возможно из-за интенсивного движения судов.

Зафиксированные концентрации хрома в воде водохранилища, в основном, были значительно ниже ПДК_{рх}.

Выводы

Проведенные исследования позволили оценить современное состояние качества воды Угличского водохранилища в летний период в годы с различными гидрометеорологическими условиями.

Анализ гидрохимических характеристик показал, что наблюдается межгодовая изменчивость минерализации воды и концентрации главных ионов. Наименьшие значения минерализации воды были зафиксированы в июне дождливого 2016 г. В этот месяц вода водохранилища была более цветной, что очевидно связано с притоком цветных вод с водосбора в период дождей.

Наиболее высокие концентрации фосфатов и нитратов наблюдались в более прохладный июнь 2017 г. при низком развитии продукционных процессов, чем в более теплые месяцы 2015 и 2016 гг.

В июне 2016 г., когда вода в водохранилище прогрелась до более высоких температур, были зафиксированы более высокие значения БПК₅.

Таким образом, приток воды в водохранилище и количество выпавших осадков могут по-разному влиять на гидрохимический режим водохранилища.

При стабильном уровне воды в летний период на развитие продукционных процессов в водохранилище оказывает влияние, прежде всего, температура воздуха.

Выводы, сделанные в данной статье, являются предварительными и могут быть уточнены в ходе дальнейших исследований.

Список литературы

1. Волга и ее жизнь. Л.: Наука. 1978. 348 с.
2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги/ под. ред. канд. геогр. наук З.А. Викулиной и канд. техн. наук В.А. Знаменского. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 291 с.
3. ГОСТ 3161-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартиформ. 2013. 32 с.
4. Григорьева И.Л. Закономерности и факторы формирования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища//Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 52–64.
5. Григорьева И.Л., Ковалышева Г.В. Влияние гидрометеорологических факторов на формирование качества воды Иваньковского водохранилища в летний период//Метеорология и гидрология. 1995. №6. 107–114.
6. 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.
7. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеоздат. 239 с.

8. Кудрявцев Д.Д. Сравнительная характеристика гидрохимического режима водохранилищ Верхней Волги: Ивановского, Угличского и Рыбинского//Труды биологической станции «Борок». №1. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР. 1950. С. 79–96.
9. Курдина Т.Н. Элементы гидрологического режима и водный баланс Угличского водохранилища//Труды Института биологии водохранилищ. – М.-Л.: Академии наук СССР, 1959. Вып. 2 (5). С. 231–245.
10. Нормативы качества водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения//Приложение к приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. №552. 151 с.
11. Современная гидрохимическая характеристика реки Волга и ее водохранилищ/В.К. Дебольский [и др.]//Вода: химия и экология. 2010 (29). С. 2–12.
12. Степанова И.Э. Гидрохимические показатели воды Угличского и Ивановского водохранилищ//Экологическая химия. 2018. Т. 27. №3. С. 156–165.
13. Тихомиров О.А. Динамика гидрохимических показателей воды Угличского водохранилища//Вестник Тверского государственного университета. Серия «География и геоэкология». 2022. №1(37). С. 14–21.
14. Трифонова Н.А. Гидрохимическая характеристика Угличского водохранилища по материалам 1955-1958 гг.//Труды Института биологии водохранилищ. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. №4(7). С. 321–327.
15. Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.

Об авторе:

ГРИГОРЬЕВА Ирина Леонидовна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник. Институт водных проблем Российской академии наук, Ивановская научно-исследовательская станция (171251, Тверская обл., г. Конаково, Белавинская, д. 61-А., e-mail: Irina_Grigorieva@list.ru). ORCID: 0000-0003-2538-5931, SPIN-код: 1773-4053

HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS AS THE FACTOR OF FORMATION OF HYDROCHEMICAL REGIME OF WATER OF THE UGLICH RESERVOIR IN SUMMER TIME

I.L. Grigoryeva

Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Konakovo

The influence of water content and water temperature on the hydrochemical characteristics of the Uglich reservoir in summer time was investigated. It was noted that in the month of June with the greatest amount of precipitation there was lower mineralization of water and higher chromaticity. At a higher water

temperature, there was an increase of biochemical oxygen demand and a decrease of nitrate concentrations.

Keywords: *Uglich reservoir, water content, water temperature, air temperature, precipitation amount, main ions, water mineralization, biogenic elements, organic matter, trace elements*

Рукопись поступила в редакцию 8.02.2023

Рукопись принята к печати 15.02.2023