

## **Физическая география и геоэкология**

УДК 550.4 + 574

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2022-1-14-21>

### **ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**О.А. Тихомиров**

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

Проведен анализ пространственной и временной изменчивости гидрохимических показателей воды Угличского водохранилища. Установлена динамика изменений гидрохимических параметров за последние пять десятилетий (с 1960–70 гг. 20 века).

**Ключевые слова:** гидрохимические показатели, динамика, Угличское водохранилище, гидрохимический режим

Антропогенное воздействие в ходе использования водных ресурсов приводит к изменению гидрохимических показателей и формированию экологических ситуаций разной степени напряженности в пределах водохранилищ. Проблема трансформации гидрохимических параметров актуальна для Угличского водохранилища, существующего уже более 80 лет. Необходимость проведения подобных исследований обусловлена требованиями проведения оценки экологического состояния водного объекта.

Эколого-гидрохимические проблемы водохранилищ рассматривались В.А. Абакумовым, В.Ф. Бреховским [1]; А.А. Былинкиной, Н.А. Трифионовой [2]; В.К. Дебольским, И.Л. Григорьевой [4, 5] А.А. Зениным [6]; Г.И. Лазаревой [7, 8]; и др. Крупные работы по изучению водохранилищ проводятся Институтом биологии внутренних вод РАН, Институтом водных проблем РАН, Институтом географии РАН, Московским, Пермским, Тверским государственными университетами.

Цель работы – оценка и установление тенденций динамики гидрохимических показателей воды Угличского водохранилища за последние пятьдесят лет. В ходе работы проводился анализ пространственной и временной изменчивости гидрохимических параметров.

Угличское водохранилище – водоём руслового типа, площадь водосбора которого составляет 60 020 км<sup>2</sup>. Водоём занимает 2-е место

© Тихомиров О.А., 2022

(после Рыбинского) по полному объему и 3-е место по полезному объему среди водохранилищ Тверской области.

Водохранилище имеет сезонное регулирование стока. В годовом ходе уровня выделяются 3 периода: весеннее наполнение, летне-осеннее стояние и зимняя сработка.

Оценка временной динамики гидрохимических показателей проведена на основе сравнения с данными наблюдений Верхне-Волжского управления гидрометеорологической службы за период с 1965–1972 гг. [10]. В ходе работы использованы данные Тверского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2014–2020 гг. [9].

Для анализа гидрохимического режима Угличского водохранилища выбраны следующие пункты: г. Дубна, г. Кимры; пос. Белый Городок; г. Калязин (0,25 км выше города); д. Селище. В ходе исследования проведен анализ основных показателей состава и свойств воды (рН, минерализация, взвешенные вещества; главные ионы:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ; биогенные компоненты:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , P; растворенные газы ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ); органическое вещество (оценивалось по величине БПК<sub>5</sub>, ХПК и цветности).

По классификации О.А. Алекина водная масса Угличского водохранилища относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. В первые годы существования водоёма вымывание органических соединений из почвы, разложение наземной растительности вызвали увеличение окисляемости, цветности воды и ухудшение кислородного режима. Летом вода отличалась высокой окисляемостью и накоплением органических соединений за счёт продукционных процессов. В осенний период содержание органических веществ снижалась, что возможно связать с притоком минерализованных грунтовых вод. Минимальные показатели окисляемости отмечались в зимнее время года [10, 11, 12].

Большое влияние на изменение гидрохимических параметров оказывают биогенная и гидрогенная трансформации, поступление речного стока с водосбора [4, 5]. Биогенное преобразование приводит к разрушению органических соединений в ходе жизнедеятельности и разложения растительных остатков.

В 60–70-е годы 20 века на верхневолжских водохранилищах проведен комплекс гидрохимических наблюдений Верхне-Волжским управлением гидрометеорологической службы [3]. Исследования Угличского водохранилища показали, что величина водородного показателя воды характеризовалась типичной для Верхней Волги близкой к нейтральной и слабощелочной реакции. В отдельные годы в весеннее время в результате таяния снега и притока болотных вод величина рН снижалась до слабокислой реакции. Летом активное поглощение  $\text{CO}_2$  в процессе фотосинтеза обеспечивало рост рН до 7,8–8,8.

Солевой состав вод Угличского водохранилища во многом схож с соевым составом воды вышерасположенного Иваньковского водохранилища. Местный сток, с прилегающих территорий не вносит существенных изменений в содержание и соотношение главных ионов, что объясняется, вероятно, формированием его на водосборе, близким по своим условиям водосбору Иваньковского водохранилища [4, 5].

Сумма главных ионов тесно связана с концентрацией  $\text{Ca}^{2+}$ . Среднегодовые показатели содержания кальция в воде верхневолжских водохранилищ составляли к началу 70-х годов для  $\text{Ca}^{2+}$  – 23–45 мг/л и для  $\text{Mg}^{2+}$  – 6,1–7,3 мг/л. Среднегодовая концентрация гидрокарбонатных ионов составляла 114 мг/л. Повышенное содержание в воде главных ионов в этот период может быть объяснено быстрым удалением весенних вод, освоенностью территории и притоком минерализованных вод Шошинского плеса Иваньковского водохранилища [3].

Среднегодовые концентрации сульфатов и хлоридов нестабильны, т.к. находятся под значительным влиянием антропогенных факторов. Среднее содержание сульфатов для верхневолжских водохранилищ в это время составляло 19,2 мг/л, при существенных колебаниях по годам и сезонам (от 7,3 до 32 мг/л). Содержание хлоридов в водах изменялось в пределах 1,4–7,8 мг/л.

Среднегодовые величины концентрации натрия и калия в водах Угличского водохранилища соответствовали или были несколько выше среднего показателя для всех верхневолжских водохранилищ (2,3–13,5 мг/л). Насыщенность воды ионами щелочных элементов (натрия и калия) падала к плотине ГЭС, что связано с общей «разбавленностью» воды в приплотинных участках водохранилища (эта закономерность прослеживается и для суммы главных ионов). Сезонные колебания концентрации этих ионов соответствуют аналогичным сезонным вариациям суммы главных ионов.

Газовый режим водохранилищ определяется рядом факторов – гидродинамической активностью, запасами органического вещества в грунтовом комплексе, биологической продуктивностью, глубинами и др. Воды проточного Угличского водохранилища в достаточной для живых организмов степени насыщены кислородом (в среднем 88 %). Этот показатель подчиняется сезонным закономерностям – снижается в зимнее время, растет в летний период. Кроме того, содержание кислорода в воде падает в нижней по течению, более застойной приплотинной части водоема.

Средние концентрации  $\text{CO}_2$  в середине 20-го столетия варьировали в районе Кимр от 6,1 до 6,2 мг/л, а у Угличской ГЭС достигали 6,9 мг/л. Минимум наблюдался в летнее время (3,6 г/л), в зимний период прослеживался резкий рост (в 2-3 раза) содержания  $\text{CO}_2$ .

Сезонные закономерности колебаний растворенного кислорода в воде Угличского водохранилища связаны не только с температурным режимом водоема, но и с биологическими процессами. Так летний максимум совпадает с усилением генерации кислорода за счет фотосинтеза. Некоторый рост содержания кислорода весной определяется деятельностью диатомовых водорослей. Резкой убыли кислорода зимой способствует процесс окисления органических веществ, а также метана, выделяемого иловыми отложениями.

Важнейшими факторами, регулирующими концентрации углекислого газа, является температурный режим, а также приток болотных и подогретых сточных вод предприятий. Среднегодовое содержание двуокси углерода в воде Угличского водохранилища составляло 7,8 мг/л и колебалось к 70 гг. 20 в. в пределах 4,8–15,7 мг/л. Для CO<sub>2</sub> характерна обратная зависимость растворимости от температуры, что приводит к снижению его содержания в прогретой воде в летнее время.

Косвенное представление о содержании органических веществ в воде дает величина перманганатной окисляемости (ХПК). Её среднегодовое значение для водохранилищ Верхней Волги составляло 11,1 мг О/л (при колебании величин от 8,8 до 13,6 мг/л). При этом в Угличском водохранилище отмечались весьма высокие показатели ХПК, варьирующие от 11,0 до 13,6 мг/л. В то же время в приплотинных водах величина перманганатной окисляемости (ПО) несколько снижалась, что позволяет объяснить подобное явление [10] частичной коагуляцией растворенного органического вещества. В настоящее время на пространственное распределение органического вещества по акватории и по сезонам года существенно влияет хозяйственная деятельность населения.

Сравнительно значительная величина ПО весной – в начале лета связана с притоком заболоченных вод с водосборного бассейна. Максимальный показатель окисляемости обычно достигается осенью, зимой снижается и к весне-лету резко возрастает. Осенний максимум обусловлен дождевыми паводками, смывающими органические соединения гумусовых горизонтов почв, и накоплением в водной массе автохтонного органического вещества, которое со временем оседает на дно. Летний спад вызывается усилением минерализации растворенных органических веществ, а также притоком минерализованных грунтовых вод.

Среднегодовые концентрации нитратов варьировали в 60–70-е годы сравнительно мало (0,36–0,92 мг/л), при среднем значении 0,58 мг/л. Минимум прослеживался в летнее время, максимум – весной и зимой. Весной нитраты активно поступают с водосбора при их выщелачивании из почв и удобрений. В период ледостава накопление

нитратов в воде обеспечивается за счет их перехода из донных отложений. Это фиксируется полевыми исследованиями, показывающими резкое увеличение их концентрации у дна. При этом содержание нитратов ясно коррелирует с показателями перманганатной окисляемости и накоплением гумусовых веществ в водном растворе [3].

Наблюдения показали, что концентрация нитрит-ионов в воде варьировала от 0,002 до 0,02 мг/л, при среднем значении 0,011 мг/л. Максимальные показатели отмечались в теплое время года. Среднегодовые значения практически были близки к содержанию нитритов в воде Иваньковского водохранилища.

Минеральный фосфор поступает, прежде всего, с водосборной территории. Обычно его рассматривают как важный индикатор антропогенной нагрузки на водоем. Источники фосфора: сточные воды промышленных предприятий, бытовые стоки городов, смыв удобрений с сельскохозяйственных полей и др. Среднегодовые концентрации минерального фосфора в воде верхневолжских водохранилищ в 60–70 гг. 20в составляли 0,008–0,042 мг/л., при средней величине 0,018 мг/л. В Угличском водохранилище его концентрация изменялась как в пространстве, так и во времени в полном соответствии с изменением антропогенной нагрузки на водоем.

В ходе анализа проведено сравнение гидрохимических показателей 2016–2020 гг. с данными, полученными в 1962–1972 гг. [9].

Сравнительный анализ позволил получить следующие результаты. Данные по величине водородного показателя свидетельствуют о том, что воды Угличского водохранилища сохранили слабощелочную реакцию. Среднегодовые колебания рН за период наблюдений в 2016–2020 гг. составили от 7,64 до 7,92 единицы рН. В весеннее время показатель рН в результате таяния снега и притока болотных вод снижается до слабокислой реакции. Летом активное поглощение CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза обеспечивает рост рН до 7,8–8,8.

Наибольшее содержание взвешенных веществ за 2016–2020 гг. наблюдалось в 2018 г. (6,47 мг/л). Минимальное значение этого показателя зарегистрировано в 2017 г. (4,31 мг/л).

К 2020 г. уровень минерализации вод Угличского водохранилища формируется преимущественно под влиянием Иваньковского водохранилища и достигает 201–220 мг/л. Вода в течение всего периода наблюдений остается мягкой. Содержание гидрокарбонатов, кальция и магния достаточно стабильно.

Сравнение с современными данными свидетельствуют о некотором слабом повышении среднегодовых концентрации этих ионов в воде Угличского водохранилища (от 142,0 мг/л в 2017 г. до 158 мг/л в

2019 г.). Наиболее высокое содержание иона  $\text{Ca}^{2+}$  отмечено в 2019 г. (41,4 мг/л), наиболее низкое – в 2020 г. (35,2 мг/л).

Содержание магния с 6,1–7,3 мг несколько выросло до 8,37–10,0 мг/л (2019–2020 гг.). Межгодовая динамика характеризуется колебаниями величины этого параметра.

Концентрация сульфатов не стабильна. По сравнению с 70-ми годами она понизилась почти в 2 раза и составила 8,73 мг/л в 2020 г. и 13,2 мг/л – в 2019 г. Содержание хлоридов изменяется аналогично сульфатам. Больше всего хлоридов в воде содержалось в 2019 г. – 7,06 мг/л, менее всего в 2016 г. – 5,18 мг/л [9].

Поведение натрия и калия более стабильно, их показатели практически не изменились на фоне данных 60–70 гг. В водах Углицкого водохранилища содержание этих элементов увеличилось в 2016–2019 гг., к 2020 г. – несколько уменьшилось. Максимальное значение натрия отмечено в 2019 г. (6,1 мг/л), минимальное – в 2016 г. Содержание калия в водоёме изменилось незначительно. Максимальное значение зафиксировано в 2017 г. (2,03 мг/л), минимальное – в 2016 г.

Воды Углицкого водохранилища в настоящее время насыщены кислородом. Его содержание за 2016–2020 гг. изменялось в пределах 9,51–10,5 мг/л. Максимальное значение за весь период наблюдалось в 2018 г., минимальное – в 2016 г. Насыщенность вод кислородом в течение всего времени наблюдений превышала 80 %.

Содержание двуокиси углерода в воде Углицкого водохранилища, как и в воде Иваньковского водохранилища, изменялось по годам в течение рассматриваемого периода. Больше всего  $\text{CO}_2$  содержалось в воде в 2019 г. (7,5 мг/л), меньше всего – в 2020 г. (3,68 мг/л).

Таким образом, гидрохимический режим Углицкого водохранилища во многом определяется природными факторами. Низкое содержание солей, высокие показатели цветности обусловлены значительной заболоченностью водосборного бассейна. В зимнее время сработка уровня водоема в феврале-марте приводит к усилению роли подземного питания и влияния сточных вод на формирование гидрохимического режима водохранилища (отмечаются максимальные значения щелочности, жесткости, минерализации воды, концентрации главных ионов, общего фосфора и аммонийного азота).

Сравнительный анализ гидрохимических показателей Углицкого водохранилища за последние 50 лет позволил получить следующие результаты. За этот период химический состав воды изменился незначительно и, по-прежнему, остается гидрокарбонатным кальциево-магниевым. Минерализация воды достигает 350 мг/л. Среднегодовое содержание магния несколько выросло (с 6,1–7,3 мг до 8,37–10,0 мг/л (2019–2020 гг.)). Концентрация натрия и калия достаточно

стабильна и практически не изменилась на фоне данных 60–70 гг. прошлого века

Анализ показал, что за последние десятилетия содержание сульфатов понизилось почти в 2 раза и составило к настоящему времени 8,73–13,2 мг/л. Концентрации хлоридов подвержены существенным колебаниям в водах исследуемого объекта, что связано как с сезонными изменениями характеристик поверхностного стока с водосбора, так и с антропогенным воздействием. Больше всего хлоридов в воде содержалось в 2019 г. – 7,06 мг/л, что свидетельствует о тенденции увеличения концентрации хлоридов по сравнению с прошлым веком.

Газовый режим Угличского водохранилища благоприятен для развития гидробионтов. Насыщенность вод кислородом в течение всего времени наблюдений превышала 80–85%.

Значения цветности и перманганатной окисляемости, зафиксированные в воде верхнего и нижнего участка водохранилища, в последние годы практически одинаковы.

#### Список литературы

1. Абакумов В.А., Бреховских В.Ф. Анализ гидробиологических и гидрохимических показателей качества воды Угличского водохранилища. Водные ресурсы. – №6. – 1999. – С. 726–731.
2. Былинкина А.А., Трифонова Н.А. Гидрохимический режим Угличского водохранилища и факторы его формирования. Фауна и биология пресноводных организмов. – Л., Наука, 1987. – С. 250.
3. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водоохранилища Верхней Волги [Текст] / Под ред. канд. геогр. наук З.А. Викулиной и канд. техн. наук В. А. Знаменского. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 291 с.
4. Дебольский В.К., Григорьева И.Л. и др. Современная гидрохимическая характеристика реки Волга и её водохранилищ // ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ. – №11, ноябрь 2010 г. С. 2–12.
5. 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.
6. Зенин А.А. Гидрохимия Волги и её водохранилищ. – Л., Гидрометеиздат, 1965.
7. Лазарева Г.И. Оценка качества вод Угличского водохранилища // Вестник МГОУ. Сер. Естественные науки. – 2016. – №2. – С. 158–164.
8. Лазарева Г.И., Кленова А.В. Оценка качества поверхностных вод по интегральным показателям (на примере Верхневолжского водохранилища) // Современные проблемы науки и образования (электронный научный журнал). – 2015. – № 6.

9. Обзор состояния окружающей среды в Тверской области по данным наблюдательной сети Росгидромета в 2020 г. – Тверь: Тверской ЦГМС, 2020. – 27 с.
10. Тихомиров О.А. Географические проблемы водохранилищ: Учебное пособие / КГУ. – Калинин, 1986. – 58 с.
11. Тихомиров О.А. // Проблемы региональной экологии. – 2005. – № 2. С. 28-38.
12. Тихомиров О.А. Динамика аквальных комплексов равнинных водохранилищ. Монография. – Тверь, 2008. – 308с.
13. Трифонова Н.А. Гидрохимическая характеристика Угличского водохранилища по материалам 1955–1958гг. Тр. ИБВВ, 1960. – № 4.

*Об авторе:*

ТИХОМИРОВ Олег Алексеевич – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и экологии Тверского государственного университета, (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп. 2), e-mail: tikhomirovoa@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6564-2077, SPIN-код: 2586-8054.

## **DYNAMICS OF HYDROCHEMICAL INDICATORS OF WATER IN THE UGLICH RESERVOIR**

**O.A. Tikhomirov**

Tver State University, Tver

The analysis of the spatial and temporal variability of the hydrochemical parameters of the water of the Uglich reservoir was carried out. The dynamics of changes in the parameters of hydrochemical indicators over the past five decades (from the 60s-70s of the 20th century) has been established.

**Keywords:** *hydrochemical indicators, dynamics, Uglich reservoir, hydrochemical regime*