

Трансформация термического режима Куйбышевского водохранилища на фоне глобального потепления климата

К. В. Селезнева^{1,2}, А. В. Селезнева¹, В. А. Селезнев¹✉

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, Российская Федерация
(445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

²Тольяттинский государственный университет, Российская Федерация
(445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14)

Аннотация. Цель – дать количественную оценку изменений поверхностной температуры воды Куйбышевского водохранилища и смещения дат перехода температуры воды при прогреве весной и охлаждении осенью через контрольные значения (0,2; 4,0; 10,0 °С) в условиях глобального потепления климата.

Материалы и методы. Для исследования использованы архивные и современные данные синхронных наблюдений за приземной температурой воздуха и поверхностной температурой воды Куйбышевского водохранилища. Приземная температура воздуха измерялась на метеостанции города Тольятти на границе Средней и Нижней Волги. Поверхностная температура воды измерялась на стационарном гидрологическом посту Тольятти в прибрежной полосе водоема на глубине не менее 1 м по единой методике, начиная с момента создания водохранилища в 1957 году и по настоящее время.

Результаты и обсуждение. Для сравнительного анализа трансформации термического режима выбраны два периода: современный (2015-2021 годы) и исторический (1957-1980 годы). Установлено, что в современный период произошло изменение термического режима Куйбышевского водохранилища, наметилась устойчивая тенденция повышения температуры поверхностного слоя воды в прибрежной зоне водохранилища. В современный период средняя температура воды за безледоставный период (апрель-ноябрь) увеличилась на 1,6 °С по сравнению с историческим периодом. В сезонном диапазоне максимальное повышение температуры воды составило 2,0 °С и наблюдалось в июле. В современный период продолжительность теплого периода увеличилась. Количество дней между весенними и осенними переходами температуры воды через контрольные значения увеличилось: на 14 дней – для значения 0,2 °С; на 15 дней – для значения 4 °С; на 8 дней – для значения 10 °С. В современный период водохранилище быстрее нагревалось и медленнее охлаждалось. Весенний переход температуры воды через 0,2, 4,0 и 10,0 °С наступал раньше на 10, 2 и 5 дней, соответственно. А обратный осенний переход через 10,0; 4,0 и 0,2 °С осуществлялся позднее на 10, 10 и 6 дней, соответственно.

Выводы. Повышение температуры воздуха над акваторией Куйбышевского водохранилища из-за глобального потепления климата вызвало увеличение температуры воды и смещение контрольных дат перехода температуры воды через контрольные значения (0,2; 4,0; 10,0 °С).

Ключевые слова: Волга, водохранилище, глобальное потепление, температура воздуха, температура воды, трансформация сезонов, экологическое состояние.

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках государственного задания (регистрационный номер 1021060107175-5-1.6.19).

Для цитирования: Селезнева К. В., Селезнева А. В., Селезнев В. А. Трансформация термического режима Куйбышевского водохранилища на фоне глобального потепления климата // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 3, с. 57-67. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/57-67>

ВВЕДЕНИЕ

Термический режим оказывает существенное влияние на функционирование водных экосистем

и формирование качества воды крупных водохранилищ Волги, используемых для нужд рыбного хозяйства, питьевого водоснабжения и рекреации

© Селезнева К. В., Селезнева А. В., Селезнев В. А., 2023

✉ Селезнев Владимир Анатольевич, e-mail: seleznev53@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[5, 9, 12, 13, 18, 19]. Поэтому оценка трансформации термического режима в условиях глобального потепления климата [2, 20] имеет важное научное и практическое значение.

Одним из важнейших показателей глобального потепления климата является тренд повышения температуры приземного слоя атмосферы. По данным Росгидромета за последние 100 лет общее повышение температуры воздуха для территории России составило 1,0 °С, что на 0,4 °С выше, чем в среднем для Земного шара. Начиная с семидесятых годов прошлого века каждое последующее десятилетие было теплее предыдущего [14].

В последние годы (2015-2021 годы) повышение температуры воздуха происходит наиболее интенсивно. Согласно данным Всемирной метеорологической организации 2021 год стал седьмым годом подряд, когда глобальная температура воздуха была выше доиндустриального уровня (1850-1900 годы) более, чем на 1 °С.

Наблюдаемое на территории России повышение температуры воздуха приводит к изменению состояния рек, озер и водохранилищ [6]. Установлены последствия влияния потепления климата на изменение водных ресурсов в крупнейших речных бассейнах [1, 7, 16, 17]. В Волжском бассейне с 70-80-х годов прошлого века наблюдается повышение водности рек на 10-15 % за счет увеличения стока в зимнюю и летне-осеннюю межень [15].

Наряду с этим, недостаточно внимания уделяется изучению влияния глобального потепления климата на трансформацию термического режима и, как следствие, на экологическое состояние крупных равнинных водохранилищ с замедленным водным обменом. Существует ограниченное количество исследований в этом направлении.

На Верхней Волге на Рыбинском водохранилище проведены исследования изменений температуры поверхностного слоя воды, обусловленные потеплением климата. Выявлены и оценены линейные тренды. За период 1976-2008 годы установлена тенденция повышения средней температуры поверхностного слоя воды во все месяцы при максимальной скорости повышения в июле – 0,89 °С/10 лет» [10].

На водохранилищах Средней и Нижней Волги установлено, что в жаркие и маловодные годы при повышении температуры воды в период летней межени наблюдается ухудшение кислородного режима, увеличение биологической продуктивности цианобактерий, рост органического загрязне-

ния, что негативно влияет на функционирование водных экосистем и формирование качества воды [17, 18].

Существует и противоположная точка зрения на влияние климатических изменений на экологическое состояние водных объектов: «Повышенная увлажненность в последние десятилетия и потепление климата, сопровождающееся увеличением годовой температуры воды по крайней мере на 0,2-0,3 °С, несомненно способствовали лучшему самоочищению рек и водоемов» [1].

Для водных экологических исследований в бассейне Волжско-Камских водохранилищ крайне важно оценить влияние повышения температуры приземного слоя атмосферы на формирование термического режима водоемов. В качестве объекта исследований выбрано самое крупное в Волжско-Камском каскаде Куйбышевское водохранилище. Основная цель – дать количественную оценку современных изменений поверхностной температуры воды водохранилища и определить смещение дат перехода температуры воды при прогреве весной и охлаждении осенью через контрольные значения (0,2; 4,0; 10,0 °С).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Куйбышевское водохранилище расположено в центре Волжского бассейна (рис. 1). Оно создано в 1957 году в результате перекрытия реки Волга Жигулевской плотиной (замыкающий створ). Входными створами являются: на Волжской ветке – Чебоксарская; на Камской ветке – Нижнекамская плотины.

Общая длина водохранилища с учетом Волжской и Камской веток составляет 750 км, площадь акватории при нормальном подпорном уровне – 6450 км²[3], средняя глубина – 9 м [6], а максимальная – 50 м (по результатам работ экспедиции на Научно-исследовательском судне «Биолог» в октябре 2022 года).

Изучение пространственной неоднородности и временной изменчивости температуры воды на водохранилище проводится с момента его создания [11]. Систематические измерения поверхностной температурой воды на гидрологических постах, равномерно расположенных по длине водоема (рис. 1), проводятся в прибрежной зоне водохранилища два раза в сутки (8 и 20 часов). Измерения осуществляются поверхностным (родниковым) термометром в оправе Шпиндлера на глубине не менее 1 м. Цена деления термометра 0,2 °С, что позволяет определять температуру воды с точностью до 0,1 °С.



Рис. 1. Расположение гидрологических пунктов наблюдений (Δ) (плотины: Чебоксарская-1, Нижнекамская-2, Жигулевская-3) [Fig. 1. Location of dams and hydrological observation points (Δ) (dams: Cheboksarskaya-1, Nizhnekamskaya-2, Zhigulevskaya-3)]

Анализ результатов многолетних наблюдений показывает, что средняя температура воды за период с апреля по ноябрь на разных участках водохранилища составляет 11,0-12,1 °С (табл. 1). Наибольший прогрев воды наблюдается в мелководном Черемшанском заливе (город Дмитровград), где средняя температура воды составляет 12,7 °С.

По длине водохранилища температура воды с севера на юг повышается на 1,1 °С. В северной ча-

сти водохранилища по волжской ветке (село Вязовые) температура воды составляет 11,7 °С, а по камской ветке (село Соколы Горы) – 11,0 °С (табл. 1). Температура камской воды на 0,7 °С ниже температуры волжской воды. В южной части водохранилища (город Тольятти) температура воды выше, чем в северной части и составляет 12,1 °С, что превышает температуру камской воды (село Соколы Горы) на 1,1 °С и температуру волжской воды (село Вязовые) на 0,4 °С.

Таблица 1

Температура воды на гидрологических постах, °С [Table 1. Water temperature at hydrological posts, °C]

Пост / Post	Месяц / Month									Среднее / Average
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
с. Вязовые	2,2	12,0	17,0	21,0	19,7	14,4	6,5	0,9	11,7	
с. Соколы Горы	0,4	10,8	16,6	20,8	19,2	13,7	5,6	0,6	11,0	
г. Тетюши	1,2	11,0	17,4	21,1	19,9	14,8	6,9	1,0	11,7	
г. Сенгилей	1,3	10,1	17,3	20,6	20,2	15,9	8,8	2,1	12,0	
г. Тольятти	0,8	7,9	16,6	20,5	20,3	16,8	10,2	3,5	12,1	
Черемшанский залив										
г. Дмитровград	3,9	14,6	19,8	22,4	20,3	14,2	5,8	0,7	12,7	

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В сезонном разрезе значительные изменения температуры воды по длине водохранилища наблюдаются весной и осенью, а наименьшие – летом (см. табл. 1). В мае разница температур между северной и южной частями водохранилища составляет 4,1 °С, в октябре – 4,6 °С. Летом разница температур сокращается и составляет: в июне – 0,8 °С; в июле – 0,6 °С и в августе – 1,1 °С. Наибольший прогрев воды наблюдается в июле, когда средняя месячная температура составляет 20,5-21,1 °С.

Для количественной оценки влияния климатических изменений на термический режим Куйбышевского водохранилища выбран стационарный пункт наблюдений (город Тольятти), который бесперебойно функционирует 65 лет. На протяжении всего периода, наблюдения осуществляются по единой методике, что позволяет получать достоверные оценки многолетних изменений температуры воды водохранилища за безледоставный период (апрель-ноябрь).

Для сравнительного анализа временных рядов выбран эмпирический метод, основанный на обработке имеющихся данных гидрометеорологических наблюдений. Сравнивались два периода: исторический и современный. Исторический период простирается от момента создания водохранилища в 1957 году до 1980 года, который характеризует начало климатических изменений гидрологических характеристик [15]. Современный период с 2015 по 2021 годы характеризуется существенным повышением глобальной температуры воздуха.

Для сравнения двух периодов использованы данные о средних месячных, наибольших и наименьших значениях температуры воды и датах перехода через контрольные значения температуры воды 0,2; 4,0; 10,0 °С.

Сравнительный анализ данных многолетних наблюдений показывает, что за последние 7 лет температуры воздуха на метеостанции Тольятти увеличилась. В современный период (2015-2021 годы) средняя температура воздуха (T_{cp}) за апрель-ноябрь составила 13,6 °С, что на 2,1 °С выше по отношению к историческому периоду (1952-1979 годы). Основной вклад в увеличение средней годовой температуры воздуха приносит летний период (рис. 2).

В современный период самым жарким оказался 2021 год, когда средняя температура воздуха с апреля по ноябрь достигла 15,0 °С и превысила значение T_{cp} исторического периода на 3,5 °С (табл. 2). В июле наблюдалась самая высокая T_{cp} , которая составила 24,6 °С и превысила июльское значение исторического периода на 4,3 °С. В течение всего июля средняя суточная температура воздуха 15 раз (половина месяца) превышала значение 25 °С, а максимальные значения температуры воздуха в суточном режиме превышали 30 °С и составляли 32-39 °С. В современный период наибольшая температура воздуха ($T_{наиб}$) за безледоставный период не изменилась и составила 16,1 °С, а наименьшая ($T_{наим}$) существенно увеличилась с 7,5 °С до 11,8 °С [8].

Повышение температуры воздуха в современный период привело к увеличению поверхностной температуры воды Куйбышевского водохранилища. Анализ данных многолетних наблюдений на гидрологическом посту город Тольятти показал, что в современный период средняя температура воды (t_{cp}) за безледоставный период составила 13,7 °С и увеличилась на 1,6 °С по отношению к историческому периоду (табл. 3).

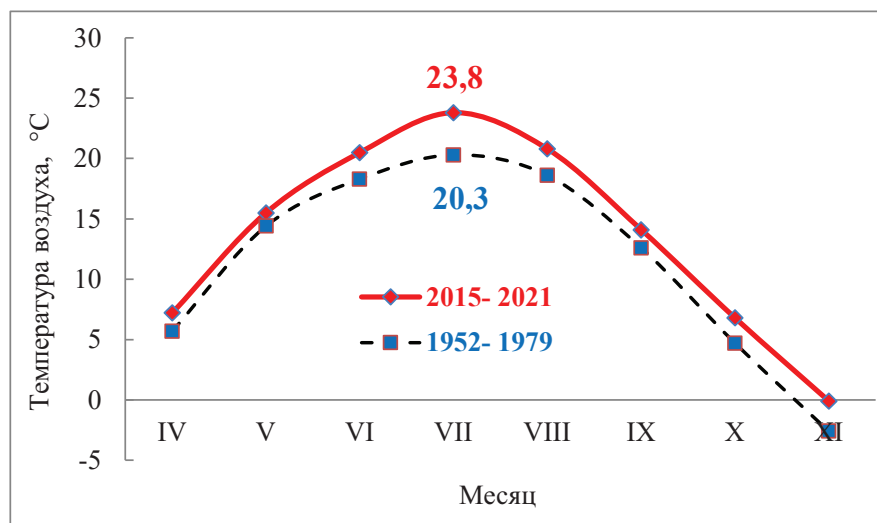


Рис. 2. Температура воздуха в современный и исторический периоды
[Fig. 2. Air temperature in the modern and historical periods]

Температура воздуха за современный и исторический периоды, °C
[Table 2. Air temperature for modern and historical periods, °C]

Температура воздуха / Air temperature	Месяц /Month								Среднее / Average
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Современный период /The modern period									
T ₂₀₁₅	6,9	13,2	20,2	23,8	15,2	14,2	2,5	-0,2	12,0
T ₂₀₁₆	8,3	14,9	20,3	23,6	24,1	14,3	5,4	-2,1	13,6
T ₂₀₁₇	6,8	13,1	18,5	22,2	22,6	14,2	6,4	2,8	13,3
T ₂₀₁₈	6,2	15,8	20,3	24,2	21,7	16,3	8,6	-1,5	14,0
T ₂₀₁₉	7,0	17,0	22,4	23,2	18,3	12,7	9,6	-0,4	13,7
T ₂₀₂₀	7,5	15,4	18,9	25,3	19,5	14,4	8,1	-0,7	13,6
T ₂₀₂₁	7,8	19,1	22,9	24,6	24,0	12,8	7,0	1,6	15,0
T _{ср}	7,2	15,5	20,5	23,8	20,8	14,1	6,8	-0,1	13,6
T _{наиб}	8,3	19,1	22,4	25,3	24,1	16,3	9,6	2,8	16,1
T _{наим}	6,2	13,1	18,5	22,2	18,3	12,7	5,4	-2,1	11,8
Исторический период /Historical period									
T _{ср}	5,7	14,4	18,3	20,3	18,6	12,6	4,7	-2,6	11,5
T _{наиб}	12,4	19,8	21,1	23,8	23,3	17,5	9,6	1,4	16,1
T _{наим}	1,5	9,9	15,6	17,2	16,6	8,6	-2,1	-7,1	7,5

Таблица 3

Температура воды по данным гидрологического поста Тольятти, °C
[Table 3. Water temperature according to the hydrological post of Tolyatti, °C]

Температура воды / Water temperature	Месяц / Month								Год /Year
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Современный период / The modern period									
t ₂₀₁₅	1,0	8,3	19,0	22,5	20,1	18,4	11,0	4,7	13,0
t ₂₀₁₆	2,3	11,5	19,5	22,6	24,1	18,2	12,2	3,7	14,3
t ₂₀₁₇	1,1	8,6	15,2	20,0	22,3	19,2	11,7	5,7	13,0
t ₂₀₁₈	0,1	7,8	16,2	23,4	22,8	19,7	13,0	5,3	13,5
t ₂₀₁₉	1,7	10,1	20,3	21,6	19,7	16,7	12,9	7,2	13,8
t ₂₀₂₀	3,1	10,4	17,9	23,0	21,2	17,9	12,8	5,9	14,0
t ₂₀₂₁	1,1	9,8	20,7	24,3	24,2	18,2	11,7	5,0	14,4
t _{ср}	1,5	9,5	18,4	22,5	22,1	18,3	12,2	5,4	13,7
t _{наиб}	3,1	11,5	20,7	24,3	24,2	19,7	13,0	7,2	15,5
t _{наим}	0,1	7,8	15,2	20,0	19,7	16,7	11,0	3,7	11,8
Исторический период /Historical period									
t _{ср}	0,8	7,9	16,6	20,5	20,3	16,8	10,2	3,5	12,1
t _{наиб}	2,3	12,5	19,3	24,4	22,6	19,8	14,2	7,1	15,3
t _{наим}	0,1	3,5	13,6	17,5	18,5	14,2	7,7	0,8	9,5

В современный период наибольшая температура воды ($t_{\text{наиб}}$) составила 15,5 °C, незначительно отличалась от значения $t_{\text{наиб}}$ в исторический период и составила 15,3 °C. А вот наименьшая температура воды ($t_{\text{наим}}$) наоборот существенно увеличилась в современный период с 9,5 °C до 11,8 °C. Следова-

тельно, увеличение средней температуры воды (t_{cp}) в современный период произошло за счет повышения наименьших температур воды ($t_{наим}$).

В сезонном разрезе максимальное увеличение температуры воды (t_{cp}) в современный период приходится на июль (рис. 3), когда средняя месячная температура воды составляет 22,5 °С и на 2,0 °С превышает подобное значение для исторического периода. Минимальное увеличение температуры воды приходится на апрель и составило 0,7 °С.

За современный период наиболее существенно температура воды повысилась в 2021 году. Средняя температура воды (t_{cp}) за безледоставный период составила 14,4 °С и превысила среднюю

температуру воды исторического периода на 2,3 °С. В июле средняя месячная температура воды достигла 24,3 °С, что на 3,8 °С превысило подобное значение исторического периода.

В течение всего июля 2021 года средняя суточная температура воздуха превышала 22 °С и изменялась в пределах 22,1-26,5 °С. В период с 18 по 22 июля вода прогрелась до 25,3-26,5 °С, превысив предыдущие рекордные показатели на 0,1-1,3 °С.

Совместный анализ сезонного хода температуры воздуха и воды в самом жарком 2021 году показывает, что выделяются три периода (рис. 4): а) период весеннего (апрель-май) нагревания воды, когда температура воздуха выше температуры воды и при отсутствии ветра создаются благоприятные

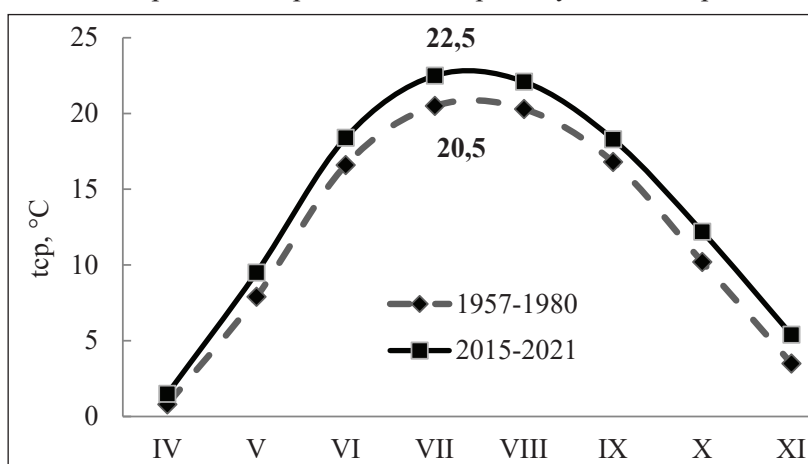


Рис. 3. Температура воды в современный и исторический периоды
[Fig. 3. Water temperature in the modern and historical periods]

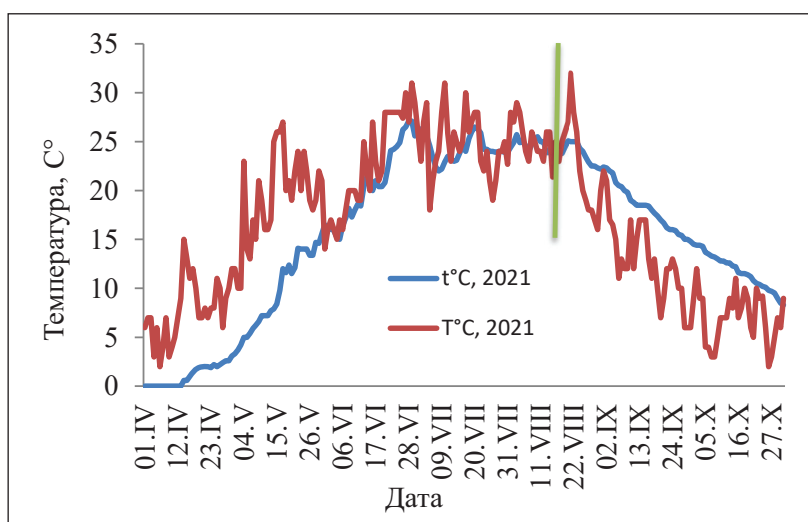


Рис. 4. Сезонный ход температура воздуха и воды, °С
[Fig. 4. Seasonal change air and water temperature, °C]

условия для формирования термоклина, в котором температура воды понижается с глубиной более резко, чем в нижележащих слоях; б) период летней(июнь-август) квазистационарности, когда тем-

пература воды практически не меняется и хорошо согласуется с температурой воздуха, это период наибольших температур воды; в) период осеннего (сентябрь-ноябрь) охлаждения, когда температура воз-

духа ниже температуры воды, и создаются условия для конвективного перемешивания водных масс.

Лето является самым неблагоприятным периодом для формирования кислородного режима из-за воздействия высоких температур и массового развития цианобактерий. Например, летом 2021 года средняя месячная температура воздуха в июле и августе составила 24,6 °С и 24,0 °С, а температура воды – 24,3 °С и 24,2 °С, соответственно. При этом средняя суточная температура воздуха несколько раз превышала 30 °С, а температура воды – 27 °С (см. рис. 4). При воздействии высоких температур равновесная концентрация растворенного кислорода в воде снижается и составляет всего 7,7-7,9 мгО/дм³. Как правило, фактическая концентрация кислорода на 2,0-2,5 мгО/дм³ меньше равновесной из-за потребления кислорода на минерализацию органических веществ [18].

Дальнейшее снижение концентрации растворенного кислорода в водной массе водохранилища обусловлено процессом массового развития цианобактерий. Во время шторма на поверхности воды из-за фотосинтезирующей аэрации цианобактерий образуется тонкая перенасыщенная кислородом пленка, которая препятствует абсорбции кислорода из атмосферы. В результате сокращается поступление

растворенного кислорода с поверхности водоема в нижележащие слои воды. Поэтому в безветренную погоду концентрация растворенного кислорода становится меньше допустимой нормы (6,0 мгО/дм³), а в придонных слоях формируются гипоксидные зоны и создаются условия для замора рыбы.

В современный период, наряду с ростом температуры воды, наблюдалось смещение дат устойчивого перехода температуры воды весной и осенью через контрольные значения (0,2; 4,0; 10,0 °С) (табл. 4). По сравнению с историческим периодом увеличилась продолжительность теплого периода. Возросло количество дней с 231 до 245, для которых температура воды превышала 0,2 °С; с 192 до 207, для которых t_{cp} превышала 4,0 °С; с 163 до 169, для которых t_{cp} превышала 10,0 °С.

Средние даты весеннего перехода температуры воды через контрольные значения в современный период сдвинулись по отношению к историческому периоду на более ранние сроки. В весенний период даты перехода температуры воды через контрольные значения стали наступать раньше: для значения 0,2 °С – на 11 дней с 17 на 06 апреля; для 4,0 °С – на 2 дня с 6 на 4 мая; для 10,0 °С – на 5 дней с 23 на 18 мая. В осенний период наоборот даты перехода стали наступать позднее:

Таблица 4

Даты устойчивого перехода температуры воды через контрольные значения (0,2 °С, 4,0 °С, 10,0 °С) весной и осенью

[Table 4. Dates of stable transition of water temperature through control values (0.2 °С, 4.0 °С, 10.0 °С) in spring and autumn]

Температура воды / Water temperature	Весна /Spring			Осень /Autumn		
	0,2°С	4,0°С	10,0°С	10,0°С	4,0°С	0,2°С
Современный период/The modern period						
t_{2015}	04.04	29.04	23.05	20.10	19.11	19.12
t_{2016}	02.04	25.04	10.05	26.10	17.11	04.12
t_{2017}	02.04	01.05	26.05	25.10	01.12	18.12
t_{2018}	21.04	07.05	18.05	31.10	22.11	28.11
t_{2019}	11.04	24.05	14.05	03.11	27.11	14.12
t_{2020}	19.03	23.04	18.05	29.10	21.11	03.12
t_{2021}	14.04	03.05	17.05	26.10	21.11	15.12
t_{cp}	06.04	04.05	18.05	27.10	23.11	10.12
$t_{ранняя}$	19.03.20	23.04.20	10.05.16	25.10.17	17.11.16	28.11.18
$t_{поздняя}$	21.04.18	07.05.18	26.05.17	03.11.19	01.12.17	18.12.17
Исторический период /Historical period						
t_{cp}	17.04	06.05	23.05	17.10	13.11	04.12
$t_{ранняя}$	03.04.66	25.04.75	11.05.75	04.10.58	29.10.76	18.11.76
$t_{поздняя}$	12.05.69	17.05.69	05.06.69	06.11.74	29.11.74	16.12.71,74

для значения 10,0 °С – на 10 дней с 17 на 27 октября; для 4,0 °С – на 10 дней 13 на 23 ноября; для значения 0,2 °С на 6 дней с 4 на 10 декабря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ данных многолетних наблюдений показал, что глобальное потепление климата трансформирует термический режим Куйбышевского водохранилища. В современный период средняя температура воздуха (T_{cp}) за апрель-ноябрь по данным метеостанции Тольятти увеличилась с 11,5 до 13,6 °С по сравнению с историческим периодом.

Повышение средней температуры воздуха на 2,1 °С в современный период обусловило рост поверхностной температуры воды (t_{cp}) Куйбышевского водохранилища (пост Тольятти) с 12,1 до 13,7 °С на 1,6 °С по сравнению с историческим периодом. В современный период продолжительность теплого периода увеличилась. Количество дней между весенними и осенними переходами температуры воды через контрольные значения увеличилось: на 14 дней – для 0,2 °С; на 15 дней – для 4 °С; на 8 дней – для 10 °С.

Водохранилище быстрее нагревается и медленнее охлаждается в современный период. Весенний переход температуры воды через 0,2, 4,0 и 10,0 °С наступает раньше на 10, 2 и 5 дней, соответственно. А обратный осенний переход через 10,0; 4,0 и 0,2 °С осуществляется позднее на 10, 10 и 6 дней, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия* / отв. ред. Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева. Москва: Наука, 2003. 367 с.
2. Будыко М. И., Ефимова Н. А., Лугина К. М. Современное потепление // *Метеорология и гидрология*, 1993, № 7, с. 29-34.
3. Вуглинский В. С. *Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
4. *Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР: Куйбышевское и Саратовское водохранилища* / под ред. В. А. Знаменского, В. М. Гейтенко. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 269 с.
5. Даценко Ю. С., Эдельштейн К. К. Влияние температуры воды на развитие фитопланктона в водохранилищах // *Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции, посвященной 65-летию ИБВВ имени И. Д. Папанина РАН «Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции»*, 2021, с. 57.
6. Дмитриева В. А., Нефедова Е. Г. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона // *Вопросы географии*, 2018, № 145, с. 285-297.
7. *Изменение климата и водные ресурсы. Технический документ Межправительственной группы экспертов по изменению климата* / Б. К. Бэйтс, З. В. Кундцевич, С. У. Ж. П. Палютикоф (ред.). Женева: Секретариат МГЭИК, 2008. 228 с.
8. *Климат Тольятти. Справочник специалиста* / под ред. Ц. А. Швер, Т. И. Боровкова, Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 208 с.
9. Копылов А. И., Масленникова Т. С., Косолапов Д. Б. Сезонные и межгодовые колебания первичной продукции фитопланктона в Рыбинском водохранилище: влияние погодных и климатических изменений // *Водные ресурсы*, 2019, № 46 (3), с. 270-277.
10. Литвинов А. С., Законнова А. В. Термический режим Рыбинского водохранилища при глобальном потеплении // *Метеорология и гидрология*, 2012, № 9, с. 91-96.
11. *Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. РСФСР. Выпуск 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 520 с.
12. Многолетняя динамика и распределение фитопланктона крупных равнинных водохранилищ Европейской части РФ / Л. Г. Корнева, В. В. Соловьева, И. В. Митропольская и др. // *Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции, посвященной 65-летию ИБВВ имени И. Д. Папанина РАН «Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции»*, 2021, с. 102.
13. Многолетняя динамика стока железа и фосфора в Онежское озеро с водами р. Шуя в условиях климатических изменений / Н. М. Калинкина, Н. Н. Филатов, Е. В. Теканова, А. Ф. Балаганский // *Региональная экология*, 2018, № 2, с. 65-73.
14. *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007*. Москва: Росгидромет, 2008. 164 с.
15. *Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленные влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчету*. Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГИ», 2017. 42 с.
16. Селезнева А. В., Беспалова К. В., Селезнев В. А. Изменение водности реки Волги в районе заповедного острова // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, 2020, № 1, с. 31-49.
17. Селезнева А. В., Селезнев В. А., Беспалова К. В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // *Поволжский экологический журнал*, 2014, № 1, с. 88-96.
18. Селезнева К. В., Селезнева А. В., Селезнев В. А. Содержание растворенного кислорода в воде Куйбышевского водохранилища в условиях массового развития водорослей // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 3, с. 97-108.
19. Слынько Ю. В., Терещенко В. Г. *Рыбы пресных вод Понто-Каспийского бассейна (Разнообразие, фауногенез, динамика популяций, механизмы адаптаций)*. Москва: Полиграф-плюс, 2014. 328 с.

20. IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)], 2013, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 17.02.2023

Принята к публикации 04.09.2023

UDC 574.5

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/57-67>

Transformation of the Thermal Regime of the Kuibyshev Reservoir Against the Background of Global Climate Warming

K. V. Selezneva^{1,2}, A. V. Selezneva¹, V. A. Seleznev¹✉

¹*Institute of Ecology of the Volga Basin RAS – branch of the Samara Federal Research Centre RAS, Russian Federation (10, Komzin Str., Tolyatti, 445003)*

²*Togliatti State University, Russian Federation (14, Belorusskaya Str., Tolyatti, 445020)*

Abstract. The purpose is to quantify the changes in the surface water temperature of the Kuibyshev reservoir and the shift in the dates of the transition of the water temperature during warming in spring and cooling in autumn through control values (0.2; 4.0; 10.0°C) in the context of global warming.

Materials and methods. For the study, archival and modern data of synchronous observations of surface air temperature and surface water temperature of the Kuibyshev reservoir were used. Surface air temperature was measured at the meteorological station in Tolyatti on the border of the Middle and Lower Volga. The surface water temperature was measured at the stationary hydrological station of Togliatti in the coastal strip of the reservoir at a depth of at least 1 m according to a single method, from the moment the reservoir was created in 1957 to the present.

Results and discussion. For a comparative analysis of the transformation of the thermal regime, two periods were selected: modern (2015-2021) and historical (1957-1980). It has been established that in the modern period there has been a change in the thermal regime of the Kuibyshev reservoir, there has been a steady upward trend in the temperature of the surface water layer in the coastal zone of the reservoir. In the modern period, the average water temperature for the ice-free period (April-November) increased by 1.6°C compared to the historical period. In the seasonal range, the maximum increase in water temperature was 2.0°C and was observed in July. In the modern period, the duration of the warm period has increased. The number of days between spring and autumn transitions of water temperature through the control values increased: by 14 days – for the value of 0.2°C; for 15 days – for a value of 4°C; for 8 days – for a value of 10°C. In the modern period, the reservoir warmed up faster and cooled more slowly. The spring transition of water temperature through 0.2, 4.0 and 10.0°C occurred earlier by 10, 2 and 5 days, respectively. And the reverse autumn transition through 10.0; 4.0 and 0.2°C was carried out later by 10, 10 and 6 days, respectively.

Conclusions. An increase in air temperature over the water area of the Kuibyshev reservoir due to global climate warming caused an increase in water temperature and a shift in the control dates for the transition of water temperature through control values (0.2; 4.0; 10.0°C).

Key words: Kuibyshev reservoir, climate change, global warming, air temperature, water temperature, transformation of seasons, ecological state.

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment (registration number 1021060107175-5-1.6.19).

© Selezneva K. V., Selezneva A. V., Seleznev V. A., 2023

✉ Vladimir A. Seleznev, e-mail: seleznev53@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

For citation: Selezneva K. V., Selezneva A. V., Seleznev V. A. Transformation of the Thermal Regime of the Kuibyshev Reservoir Against the Background of Global Climate Warming. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 3, pp. 57-67. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/57-67>

REFERENCES

1. *Antropogennyye vozdeystviya na vodnye resursy Rossii i sopedel'nykh gosudarstvakh v kontse XX stoletiya* [Anthropogenic impacts on water resources of Russia and neighboring countries at the end of the XX century] / otv. red. N.I. Koronkevich, I.S. Zaytseva. Moscow: Nauka, 2003. 367 p. (In Russ.)
2. Budyko M.I., Efimova N.A., Lugina K.M. Sovremennoe poteplenie [Modern warming]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1993, no. 7, pp. 29-34. (In Russ.)
3. Vuglinskiy V.S. Vodnye resursy i vodnyy balans krupnykh vodokhranilishch SSSR [Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 223 p. (In Russ.)
4. *Gidrometeorologicheskyy rezhim ozer i vodokhranilishch SSSR: Kuybyshevskoe i Saratovskoe vodokhranilishcha* [Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR: Kuibyshev and Saratov reservoirs] / pod red. V.A. Znamenskogo, V.M. Geytenko. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 269 p. (In Russ.)
5. Datsenko, Yu.S., Edel'shteyn, K.K. Vliyaniye temperatury vody na razvitiye fitoplanktona v vodokhranilishchakh [The influence of water temperature on the development of phytoplankton in reservoirs]. *Sbornik tezisev konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu IBVV imeni I.D. Papanina RAN «Biologiya vodnykh ekosistem v XXI veke: fakty, gipotezy, tendentsii»*, 2021, p. 57. (In Russ.)
6. Dmitrieva V.A., Nefedova E.G. Gidrologicheskaya reaktsiya na menyayushchiesya klimaticheskie usloviya i antropogennuyu deyatelnost' v bassejne Verkhnego Dona [Hydrological response to changing climatic conditions and anthropogenic activity in the Upper Don basin]. *Voprosy geografii*, 2018, no. 145, pp. 285-297. (In Russ.)
7. *Izmeneniye klimata i vodnye resursy. Tekhnicheskyy dokument Mezhpriavitel'stvennoy gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata* [Climate change and water resources. Technical document of the Intergovernmental Panel on Climate Change] / B.K. Beyts, Z.V. Kundtsevich, S.U, Zh.P. Palyutikof (red.). Zheneva: Sekretariat MGEIK, 2008. 228 p. (In Russ.)
8. *Klimat Tol'yatti. Spravochnik spetsialista* [Climate of Togliatti. Specialist's Guide] / pod red. Ts.A. Shver, T.I. Borovkova. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 208 p. (In Russ.)
9. Kopylov A.I., Maslennikova T.S., Kosolapov D.B. Sezonnnyye i mezhgodovyye kolebaniya pervichnoy produktsii fitoplanktona v Rybinskom vodokhranilishche: vliyaniye pogodnykh i klimaticheskikh izmeneniy [Seasonal and interannual fluctuations of primary phytoplankton production in the Rybinsk reservoir: the impact of weather and climate changes]. *Vodnye resursy*, 2019, no. 46 (3), pp. 270-277. (In Russ.)
10. Litvinov A.S., Zakonnova A.V. Termicheskyy rezhim Rybinskogo vodokhranilishcha pri global'nom potepnenii [Thermal regime of the Rybinsk reservoir under global warming]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 9, pp. 91-96. (In Russ.)
11. *Mnogoletnie dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy. Tom 1. RSFSR. Vypusk 24. Basseyny rek Volgi (srednee i nizhnee techeniye) i Urala* [Long-term data on the regime and resources of land surface waters. Volume 1. RSFSR. Issue 24. Volga river basins (middle and lower reaches) and the Urals]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 520 p. (In Russ.)
12. *Mnogoletnyaya dinamika i raspredeleniye fitoplanktona krupnykh ravninnykh vodokhranilishch Evropeyskoy chasti RF* [Long-term dynamics and distribution of phytoplankton of large plain reservoirs of the European part of the Russian Federation] / L.G. Korneva, V.V. Solov'eva, I.V. Mitropol'skaya i dr. *Sbornik tezisev dokladov Vserossiyskoy konferentsii, posvyashchennoy 65-letiyu IBVV imeni I.D. Papanina RAN «Biologiya vodnykh ekosistem v XXI veke: fakty, gipotezy, tendentsii»*, 2021, pp. 102. (In Russ.)
13. *Mnogoletnyaya dinamika stoka zheleza i fosfora v Onezhskoe ozero s vodami r. Shuya v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy* [Long-term dynamics of iron and phosphorus runoff into Lake Onega with the waters of the Shuya River under climatic changes] / N.M. Kalinkina, N.N. Filatov, E.V. Tekanova, A.F. Balaganskiy. *Regional'naya ekologiya*, 2018, no. 2, pp. 65-73. (In Russ.)
14. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsii za 2007* [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2007]. Moscow: Rosgidromet, 2008. 164 p. (In Russ.)
15. *Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki pri nestatsionarnosti vremennykh ryadov, obuslovlennyye vliyaniem klimaticheskikh faktorov. Rekomendatsii po raschetu* [The main hydrological characteristics with non-stationary time series due to the influence of climatic factors. Calculation recommendations]. Saint-Petersburg: FGBU «GGI», 2017. 42 p. (In Russ.)
16. Selezneva A.V., Bupalova K.V., Seleznev V.A. *Izmeneniye vodnosti reki Volgi v rayone zapovednogo ostrova* [Changes in the water content of the Volga River in the area of the protected island]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, 2020, no. 1, pp. 31-49. (In Russ.)
17. Selezneva A.V., Seleznev V.A., Bupalova K.V. *Massovoye razvitiye vodorosley na vodokhranilishchakh r. Volgi v usloviyakh malovod'ya* [Mass development of al-

gae in the reservoirs of the Volga river in conditions of low water]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2014, no. 1, pp. 88-96. (In Russ.)

18. Selezneva K.V., Selezneva A.V., Seleznev V.A. Soderzhanie rastvorenogo kisloroda v vode Kuybyshevskogo vodokhranilishcha v usloviyakh massovogo razvitiya vodorosley [The content of dissolved oxygen in the water of the Kuibyshev reservoir under conditions of mass development of algae]. *Vestnik VGU. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2022, no. 3, pp. 97-108. (In Russ.)

19. Slyn'ko Yu.V., Tereshchenko V.G. *Ryby presnykh vod Ponto-Kaspiyskogo basseyna (Raznoobrazie, faunogenez, dinamika populyatsiy, mekhanizmy adaptatsiy)* [Freshwater fish of the Ponto-Caspian basin (Diversity, faunogenesis, population dynamics, adaptation mechanisms)]. Moscow: Poligraf-plyus, 2014. 328 p. (In Russ.)

Ксения Владимировна Селезнева

кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук; заместитель директора по научной и методической работе Института химии и энергетики Тольяттинского государственного университета, г. Тольятти, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9212-7708, e-mail: kvbespalova@yandex.ru

Селезнева Александра Васильевна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук, г. Тольятти, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9386-999X, e-mail: alek.selezneva@mail.ru

Селезнев Владимир Анатольевич

профессор, доктор технических наук, кандидат географических наук, главный научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук, г. Тольятти, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0321-7614, e-mail: seleznev53@mail.ru

20. IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)], 2013, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 17.02.2023

Accepted: 04.09.2023

Ksenia V. Selezneva

Candidate of Chemical Sciences, Researcher at the Laboratory for Monitoring Water Bodies of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Samara Region, Togliatti, Russian Federation; Deputy Director for Scientific and Methodological Work of the Institute of Chemistry and Energy, Togliatti State University, ORCID: 0000-0002-9212-7708, e-mail: kvbespalova@yandex.ru

Alexandra V. Selezneva

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory for Monitoring Water Bodies of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Samara Region, Togliatti, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-9386-999X, e-mail: alek.selezneva@mail.ru

Vladimir A. Seleznev

Professor, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Geographical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory for Monitoring Water Bodies of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Samara Region, Togliatti, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0321-7614, e-mail: seleznev53@mail.ru