

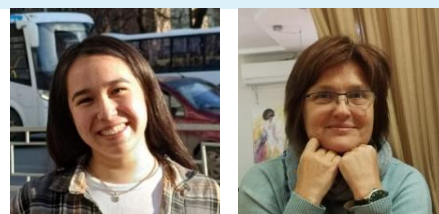
Климатическая характеристика водосборной площади озера Плещеево и тенденции изменений в условиях современного потепления

Э.З. Нурмухамедова*, Г.Д. Кузнецова^{2**}

¹ Уфимский университет науки технологий (УУНТ),
Уфа, Россия

² Московский государственный университет геодезии и
картографии (МИИГАиК), Москва, Россия

*Imira18.01.02@gmail.com, **srdc@miigaik.ru



Ключевые слова озеро Плещеево, экологический мониторинг, изменение климата, аномалия температуры, режим осадков, термический режим, опасные гидрометеорологические явления, цианобактерии, *Gloeotrichia echinulata*

Аннотация В работе представлены результаты анализа многолетних климатических характеристик водосборного бассейна озера Плещеево за период с 1960 по 2023 гг. на основе данных метеорологической станции Переславль-Залесский. Проведена оценка динамики среднегодовых и сезонных температур воздуха, количества атмосферных осадков, а также частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Установлено, что современный климатический период (2000-2023 гг.) характеризуется достоверным повышением среднегодовой температуры воздуха на 1.2°C по сравнению с базовым периодом 1960-2000 гг. Выявлена тенденция к увеличению годовой суммы осадков. Проанализированы случаи экстремальных климатических явлений. Особое внимание уделено видам-индикаторам, таким как цианобактерия *Gloeotrichia echinulata*. Установлено, что наблюдаемые климатические тренды (потепление, особенно в зимне-весенний период, увеличение интенсивности ливневых осадков) создают идеальные условия для интенсивного цветения воды, в т.ч. с доминированием *G. echinulata*. Полученные результаты согласуются с общерегиональными проявлениями глобального потепления на Европейской территории России и имеют важное прикладное значение для разработки мер адаптации и охраны экосистем особо охраняемых природных территорий.

1 Введение

Антропогенное изменение климата является одной из наиболее актуальных проблем современности, оказывающей влияние на все регионы мира, включая территорию России [1]. Проблеме изменения климата сопутствует целый комплекс междисциплинарных проблем, охватывающих экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития территории. Особый интерес представляют исследования климата в районах расположения особо охраняемых природных территорий (ООПТ), где изменения термического и гидрологического режимов могут оказывать прямое воздействие на состояние уязвимых экосистем и биоразнообразии [2]. Известно, что глобальное потепление влияет на изменение водного и климатического режима [3]. Особую значимость приобретает увеличение частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ), что представляет определенные риски как для экосистем, так и для населения и инфраструктуры¹ [4];

Водосборная площадь озера Плещеево, являющегося ключевым охраняемым объектом Национального парка «Плещеево озеро», испытывает комплексное влияние как глобальных климатических трендов, так и локальных факторов, связанных с расположенными на берегах озера городом Переславлем-Залесским и окрестными поселениями и рекреационной нагрузкой². Озера в целом являются высокочувствительными индикаторами глобальных изменений, интегрируя воздействия как климатических сдвигов, так и антропогенной нагрузки. Одним из наиболее наглядных и проблемных последствий является цветение воды, вызываемое массовым развитием цианобактерий (сине-зеленых водорослей). Среди них *Gloeotrichia echinulata* — колониальная, гетероцистная, планктонная цианобактерия, получившая в последние десятилетия широкое распространение в озерах северной умеренной зоны [5], включая водоемы Европейской части и Северо-Запада России. В озере Плещеево массовый рост этой водоросли наблюдается ежегодно с 2017 г., и вызывает ряд неблагоприятных для экосистемы озера последствий.

Развитие *G. echinulata* тесно связано с климатическими параметрами:

- Температура: оптимальный рост наблюдается при температурах воды выше 20°C.
- Стратификация: образует гетероцисты и фиксирует атмосферный азот (N₂) в условиях дефицита доступного азота в воде, что часто усиливается при стабильной стратификации водоема [6].
- Свет: требует высоких уровней освещенности.

¹ РД 52.04.563-2002. Инструкция о порядке предоставления информации об опасных гидрометеорологических явлениях. – М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2002.

² Экосистема озера Плещеево / Под ред. Н.В. Буторин, В.Л. Складенко. – Л.: Наука, 1989. – 264 с. ISBN: 5-02-026582-9

— *Жизненный цикл*: часть жизненного цикла проходит в донных осадках (в виде акинет), где перезимовывает. Прогрев мелководий напрямую влияет на скорость "прорастания" и всплытия колоний.

Таким образом, изменения климата, выражающиеся в потеплении воды, увеличении продолжительности безледоставного периода и стабильности летней стратификации, являются прямым драйвером успешности *G. echinulata*.

Целью данной работы является оценка современных климатических тенденций на водосборной площади озера Пleshчево на основе анализа многолетних метеорологических данных и их сопоставление с региональными и глобальными трендами, а также оценка корреляции между наблюдаемыми климатическими изменениями и риском перестройки его экосистемы в сторону усиления цветения цианобактерий.

2 Материалы и методы

В данной работе были использованы данные многолетних наблюдений (1960-2023 гг.) холодного периода (ХП) и теплого периода (ТП) на метеорологической станции Переславль-Залесский, которая расположена в г. Переславль-Залесский на приподнятом плато на юго-восточном берегу Пleshчево озера примерно в 2 км от берега (56°42'51''с.ш.38°49'30''в.д.). Станция входит в сеть Центрального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (рис. 1).

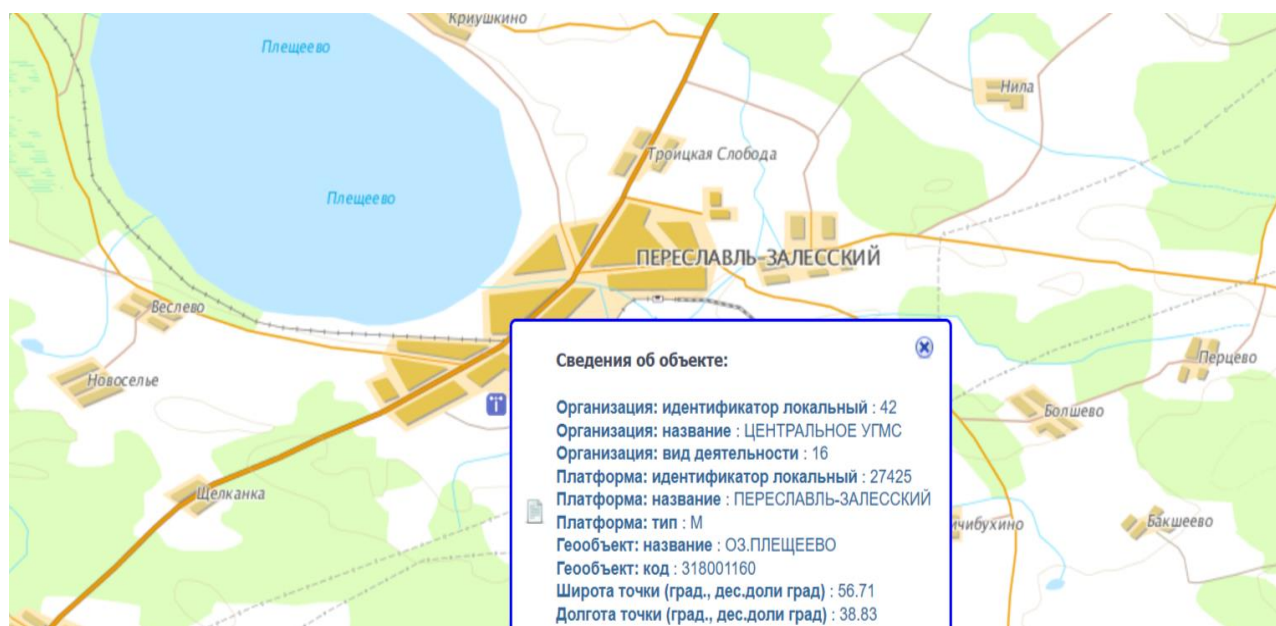


Рис. 1. Расположение метеостанции (МС) в г. Переславль-Залесский по отношению к озеру Пleshчево

Fig. 1. Location of the weather station (WS) in Pereslavl-Zalessky in relation to Lake Pleshcheyevo

3 Результаты и обсуждение

3.1 Температурный режим

Бассейн Плещеева озера находится в зоне достаточного увлажнения, в подзоне смешанных лесов³. Климат региона умеренно-континентальный с холодной зимой и умеренно теплым летом. Существенное влияние на погоду и климат района оказывает западный перенос воздушных масс, сопровождающийся обычно активной циклонической деятельностью, значительными осадками, частыми положительными аномалиями температуры воздуха зимой и отрицательными летом⁴.

По данным метеостанции среднегодовая температура воздуха в г. Переславль-Залесском составляет 4,5 °С. Наиболее холодный месяц в году – январь (-9.2 °С), самый теплый – июль (18.1 °С). Устойчивый переход температуры воздуха через 0°С приходится на первые числа апреля. Осеннее понижение температуры воздуха происходит медленнее, чем ее весеннее повышение. Устойчивый переход температуры воздуха от положительных значений к отрицательным приходится в среднем на третью декаду октября. Распределение среднемноголетней температуры по месяцам представлено в таблице 1.

Таблица 1. Среднемноголетняя температура воздуха (°С) по данным метеостанции г. Переславль-Залесский (период 1960–2023 гг.)

Table 1. Average annual air temperature (°C) according to the Pereslavl-Zalessky meteorological station (1960–2023)

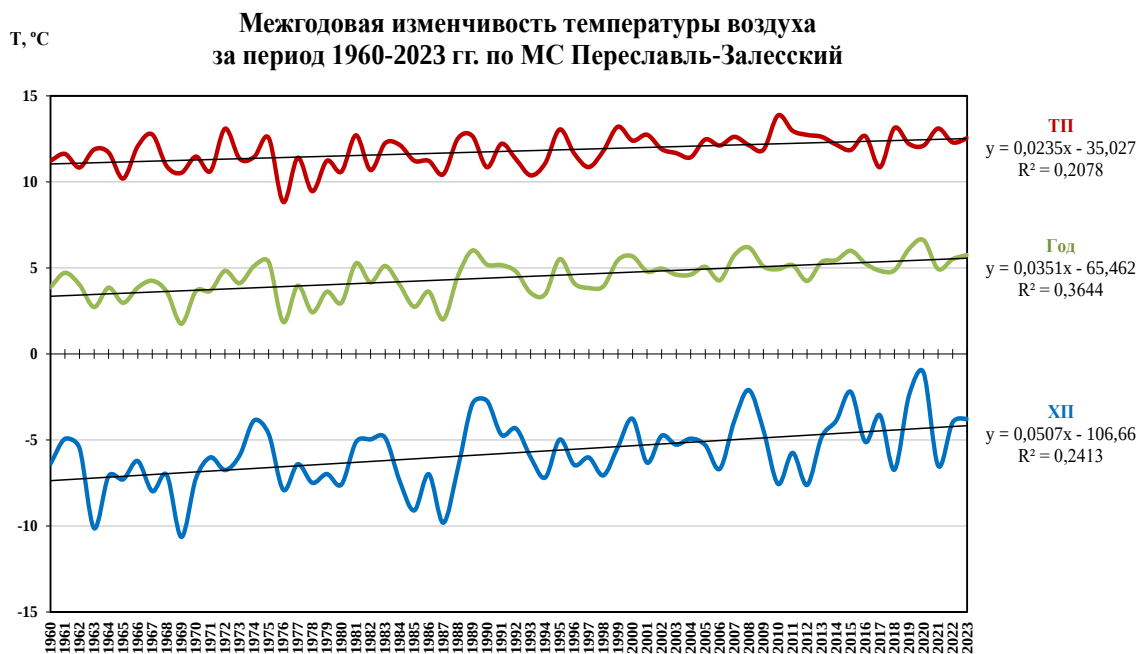
Мес.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
T, °C	-9,2	-8,2	-2,9	5,0	12,1	16,0	18,1	16,2	10,6	4,5	-2,0	-6,6	4,5

Анализ межгодовой изменчивости температуры воздуха за период 1960-2023 гг. по данным метеостанции «Переславль-Залесский» выявил четкую тенденцию к потеплению (рис. 2). Так, среднегодовая температура воздуха в период 2000-2023 гг. составила 5.2 °С, что на 1.2 °С выше, чем за предыдущий сорокалетний период (1960-2000 гг.). Повышение средних месячных температур наблюдается для всех месяцев, за исключением июня, с наибольшим ростом в зимние и весенние месяцы (на 1.0-2.2 °С). Также наблюдается тенденция увеличения числа аномальных отклонений среднегодовой температуры от среднемноголетней в положительную сторону, в особенности последние 20 лет. Значения рассеиваются относительно центра на 1,17°С (рис.3). Полученные результаты полностью согласуются с выводом Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) о том, что темпы потепления на территории суши значительно превышают

³ Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 10. Верхне-Волжский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.

⁴ Экосистема озера Плещеево / Под ред. Н.В. Буторин, В.Л. Складенко. – Л.: Наука, 1989. – 264 с. ISBN: 5-02-026582-9

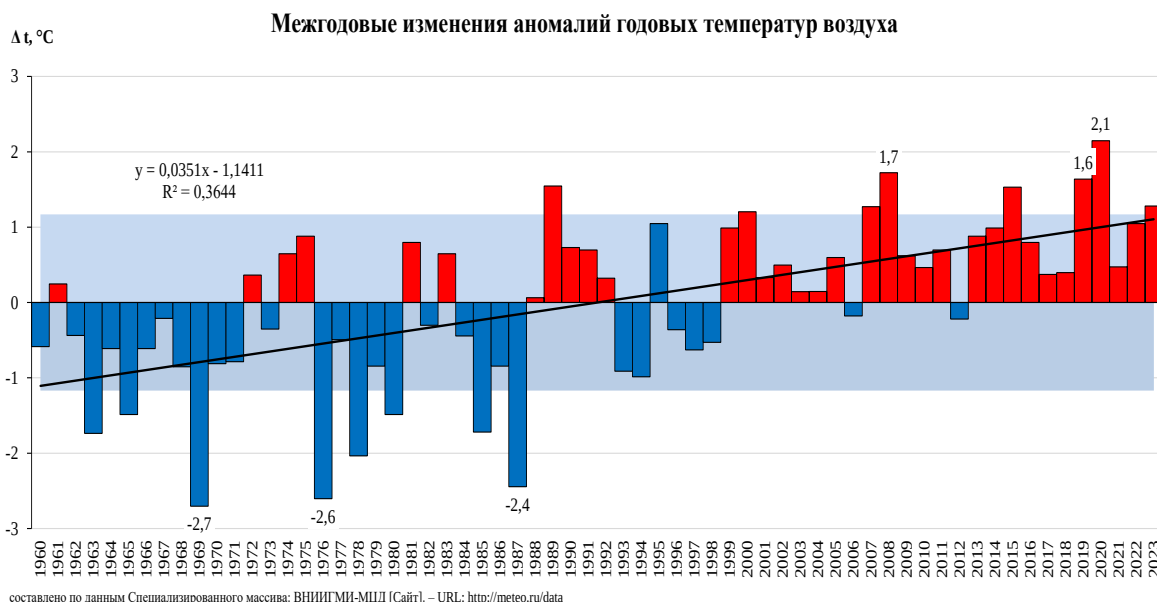
среднемировые показатели [1], а также с исследованиями, констатирующими усиление потепления в зимне-весенний сезон на Европейской территории России [2].



составлено по данным Специализированного массива: ВНИИГМИ-МЦД [Сайт]. – URL: <http://meteo.ru/data>

Рис. 2. Межгодовая изменчивость температуры воздуха за период 1969–2023 гг. по данным МС Переславль-Залесский

Fig 2. Interannual variability of air temperature for the period 1969–2023 according to the data of the WS Pereslavl-Zalesky



составлено по данным Специализированного массива: ВНИИГМИ-МЦД [Сайт]. – URL: <http://meteo.ru/data>

Рис. 3. Межгодовые изменения аномалий годовых температур воздуха по данным МС Переславль-Залесский за период 1960–2023 гг.

Fig. 3. Interannual changes in annual air temperature anomalies according to the WS Pereslavl-Zalesky for the period 1960–2023.

3.2 Режим осадков

Среднегодовая сумма осадков за период 1991-2020 гг. составила 621 мм, при этом около 70% из них выпадает в теплый период года с ярко выраженным максимумом в июле (81 мм). Минимум осадков наблюдается в феврале-апреле (таблица 2, рис.4).

Таблица 2. Среднегодовое количество осадков (мм) по данным МС Переславль-Залесский за период 1960–2023 гг.

Table 2. Average annual precipitation (mm) according to the WS Pereslavl-Zalessky for the period 1960–2023.

Мес.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
R, мм	38	30	29	37	51	69	81	67	59	58	48	44	611

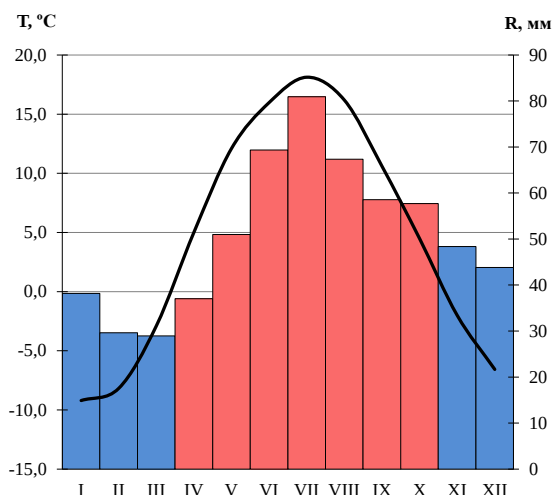


Рис. 4. Распределение по месяцам среднегодового количества осадков (мм) и температуры ($t^{\circ}\text{C}$) воздуха по данным МС г. Переславль-Залесский за период 1966 – 2023 гг.

Fig. 4. Monthly distribution of the average multiannual precipitation (mm) and air temperature according to the WS Pereslavl-Zalessky for the period 1966–2023

Анализ сумм атмосферных осадков за год, за холодный (ХП) и теплый (ТП) периоды с 1960 по 2023 гг. по данным МС Переславль-Залесский показал тенденцию к увеличению количества выпадающих осадков как в годовом разрезе, так и отдельно в холодный и теплый периоды (рис. 5).

Аналогичную тенденцию отклонения от нормы в сторону увеличения количества осадков показывают межгодовые изменения аномалий годовых атмосферных осадков (рис.6).

Это соответствует общему тренду на увеличение увлажненности в средних широтах Северного полушария в условиях потепления климата, связанному с ростом влагоемкости атмосферы [1]. Однако увеличение количества осадков не всегда компенсирует возросшее испарение из-за более высоких температур, что может приводить к увеличению контрастности условий увлажнения.

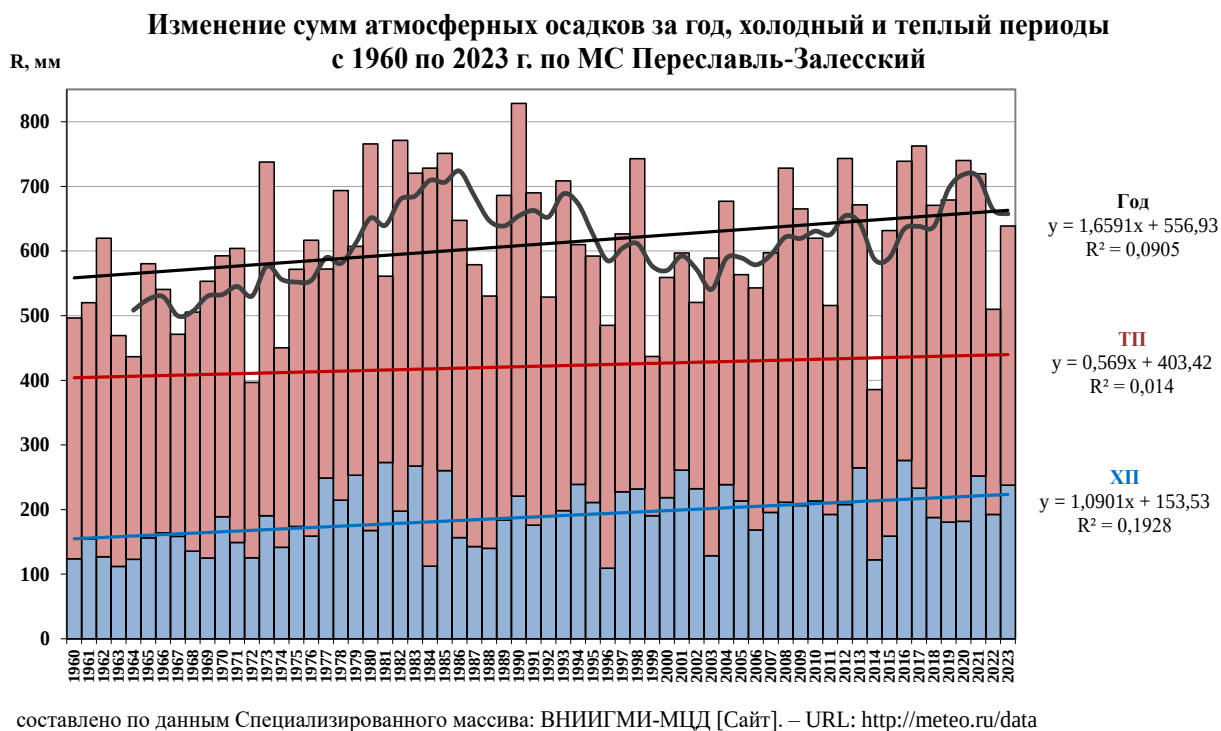


Рис. 5. Изменение сумм атмосферных осадков за год, за холодный (ХП) и за теплый (ТП) периоды с 1960 по 2023 гг. по данным МС Переславль-Залесский

Fig. 5. Change in precipitation amounts for the year, for the cold (CP) and warm (WP) periods from 1960 to 2023 according to the WS Pereslavl-Zalessky

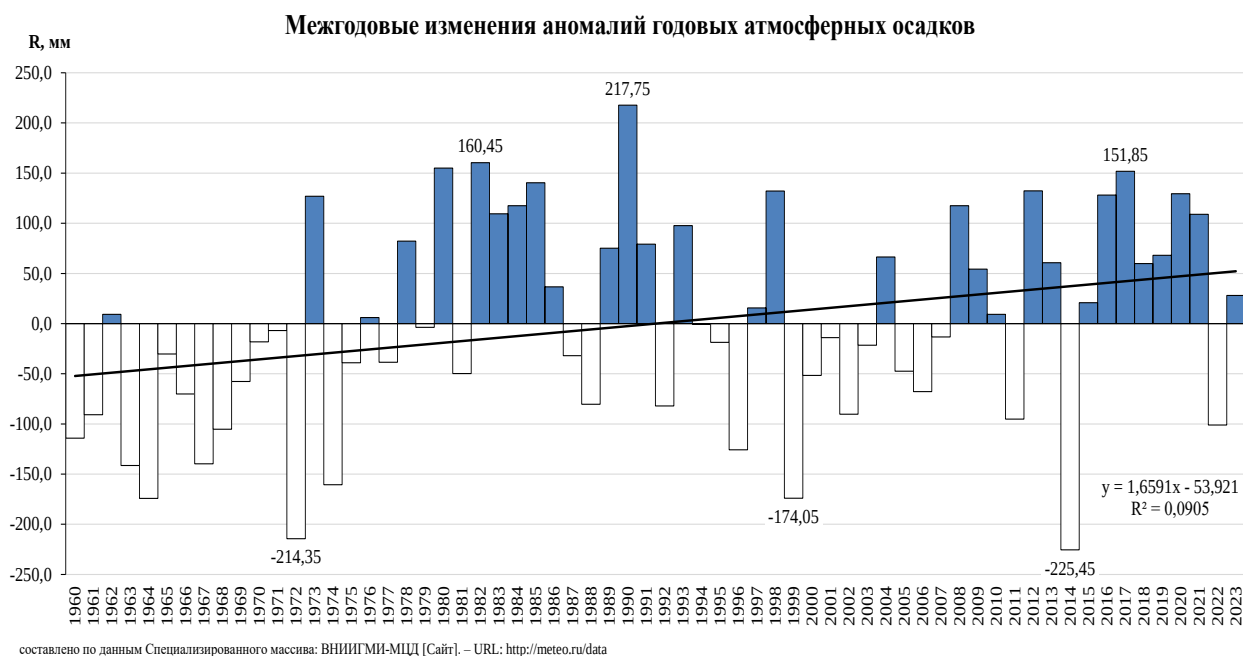


Рис.6. Межгодовые изменения аномальных годовых атмосферных осадков за период 1960–2023 гг. по данным МС Переславль-Залесский

Fig 6. Interannual changes in abnormal annual precipitation for the period 1960–2023 according to the WS Pereslavl-Zalessky

3.3 Опасные гидрометеорологические явления

На территории за период наблюдений были зафиксированы случаи опасных явлений, соответствующих критериям РД 52.04.563-2002⁵:

Очень сильный дождь - значительные жидкие или смешанные осадки (дождь, ливневый дождь, дождь со снегом, мокрый снег) с количеством выпавших осадков не менее 50 мм (в селеопасных горных районах – 30 мм.) за период времени не более 12 ч.

Сильная жара - случаи в период с мая по август со значениями максимальной температуры воздуха не менее +35°C в течение более 5 суток. В большинстве случаев сильная жара достигает критерия опасного явления при продолжительных (более 5–7 суток) периодах антициклональной погоды. В таких ситуациях аномально высокая температура воздуха наблюдается на фоне дефицита осадков. Обычными последствиями продолжительных и интенсивных летних волн тепла являются развитие почвенной и атмосферной засухи, неконтролируемое распространение лесных пожаров, маловодье на реках.

Аномально-жаркая погода - периоды с апреля по сентябрь, в течение 5 дней и более которых значение среднесуточной температуры воздуха выше климатической нормы на 7°C и более.

Описанные явления наблюдались на территории водосборного бассейна озера Плещеево согласно данным архива ВНИИГМИ-МЦД.

Очень сильный дождь (≥ 50 мм за 12 часов) наблюдался 4 раза, последние случаи зарегистрированы в 2015 и 2016 гг., что может указывать на возрастание интенсивности ливневых осадков в последнее десятилетие.

Не только в Переславле-Залесском – во многих субъектах ЦФО России отмечают тенденции к увеличению интенсивности осадков, в частности, к возрастанию суточного количества жидких осадков. При этом, отмечают климатологи, одновременно растет и число дней без осадков в теплый период года [2].

Дата	Продолжительность, час	Показатель, мм
11.07.1984	6 ч	74,0 мм
22.06.1985	6 ч	58,8 мм
27.07.2015	3 ч	65,0 мм
18.08.2016	3 ч	55,0 мм

Таблица 3. Случаи очень сильного дождя по данным МС Переславль-Залесский за период 1980–2023 гг.
Table 3. Cases of very heavy rain according to the WS Pereslavl-Zalessky for the period 1980–2023.

⁵ РД 52.04.563-2002. Инструкция о порядке предоставления информации об опасных гидрометеорологических явлениях. – М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2002.

Случаи сильной жары (максимальная температура $\geq +35^{\circ}\text{C}$ в течение ≥ 5 суток) согласно данным ВНИИГМИ-МЦД, за период наблюдений не зарегистрированы, однако единичные дни с экстремально высокой температурой ($> +35^{\circ}\text{C}$) отмечались в 1981 и 2010.

Аномально-жаркая погода (периоды ≥ 5 дней с среднесуточной температурой выше климатической нормы на 7°C и более) анализировалась для месяцев с апреля по сентябрь. Всего выявлено 26 таких случаев.

Период	Продолжительность, дни	Диапазон температур, $t^{\circ}\text{C}$
21-25.05.1963	5	20,2-21,5
01-07.09.1963	7	17,8-20,9
01-05.09.1968	5	18,8-20,8
08-12.08.1972	5	24,4-25,8
19-24.08.1972	6	23,3-26,5
02-06.09.1977	5	18,9-20,0
24-31.05.1979	8	19,0-22,5
23-30.04.1980	8	12,5-17,0
23-28.04.1983	6	12,0-15,7
24-29.04.1986	6	12,2-18,8
18-26.04.1995	9	12,9-18,0
25-31.05.1995	7	20,6-30,5
01-06.09.1995	6	17,4-21,2
10-16.06.1998	7	22,8-26,8
17-21.04.1999	5	12,0-15,0
23-30.04.1999	8	12,5-17,3
17-27.04.2000	11	13,7-18,1
22-30.04.2001	9	11,8-18,8
26-31.05.2007	6	19,6-25,5
23-30.07.2010	8	24,7-27,5
01-12.08.2010	12	23,4-26,7
21-29.04.2012	9	12,6-17,3
25-30.06.2013	6	22,7-24,3
19-26.05.2014	8	19,7-22,3
27-31.05.2015	5	19,5-21,4
20-27.06.2021	8	22,8-27,1

Таблица 4. Случаи аномально-жаркой погоды на территории Переславля-Залесского по данным архива ВНИИГМИ-МЦД за период 1960-2023гг.

Table 4. Cases of abnormally hot weather in the territory of Pereslavl-Zalessky according to the VNIIGMI-MCD archive for the period 1960-2023.

В целом наибольшая повторяемость аномально-жарких периодов наблюдается в апреле (35% всех случаев) и мае (23%), что связано с увеличением частоты и продолжительности блокирующих антициклонов в весенний сезон [7]. Наибольшая продолжительность (11-12 суток) зафиксирована в апреле 2000 г. и августе 2010 г.

Кроме представленных выше ОЯ, в последнее тридцатилетие на территории ЦФО наиболее часто наносили ущерб опасные гидрометеорологические явления, связанные с высокими скоростями ветра, а также с высокой степенью пожароопасности, в том числе – на территории осушенных водно-болотных угодий) [2]. Как указывается во Втором оценочном докладе Росгидромета [8] и других источниках, аридизация климата и рост повторяемости экстремальных погодных явлений представляют сегодня основные направления климатических изменений на территории ЦФО России.

Собрав представленные выше данные по ОЯ на один график, можно видеть, что за период с 1991 по 2023 гг. участились случаи аномально жаркой погоды. Общая продолжительность (в днях) аномально-жаркой погоды за период 1960-1990 гг. составила 47 дней, в то время как общая продолжительность за период 1991-2021 гг. составила уже 126 дней, что превышает показатель предшествующего тридцатилетия почти в 3 раза. Что касается 2017 года, который характеризуется первым массовым появлением в озере Плещеево *G. echinulata*, то в 2017 году не было зафиксировано каких-то аномальных климатических явлений, однако в течение нескольких предшествующих лет наблюдались периоды аномально-жаркой погоды (2010, 2012, 2013, 2014, 2015). После этого в 2015 и 2016 годах - выпадение аномально больших осадков в виде дождей в течение 3 часов, что составило примерно 14-15% от количества осадков в ТП в эти годы.

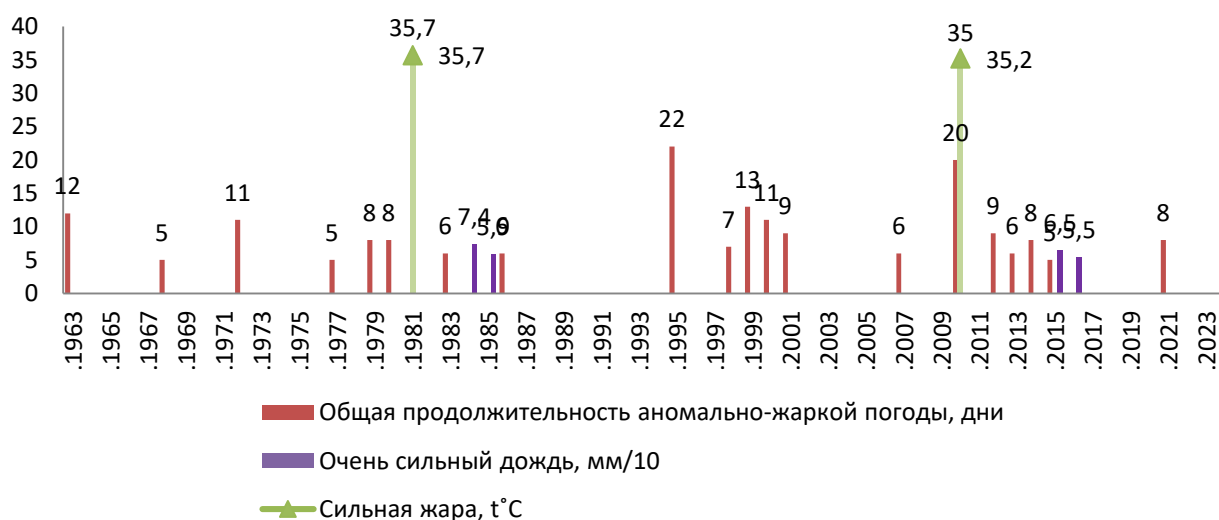


Рис. 7. Опасные гидрометеорологические явления на территории водосборного бассейна озера Плещеево («аномально-жаркая погода», «очень сильный дождь», «сильная жара») по архивным данным за период 1960-2023 гг.

Fig. 7. Dangerous hydrometeorological phenomena in the drainage basin of Lake Pleshcheyevo ("abnormally hot weather", "very heavy rain", "intense heat") according to archival data for the period 1960-2023.

В целом на основе данных по МС Переславль-Залесский Залесский можно выделить ключевые для озера тренды:

1) Прямое влияние климатических трендов на условия в озере:

- Увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1.2°C, возможно, будет приводить к более раннему сходу льда.

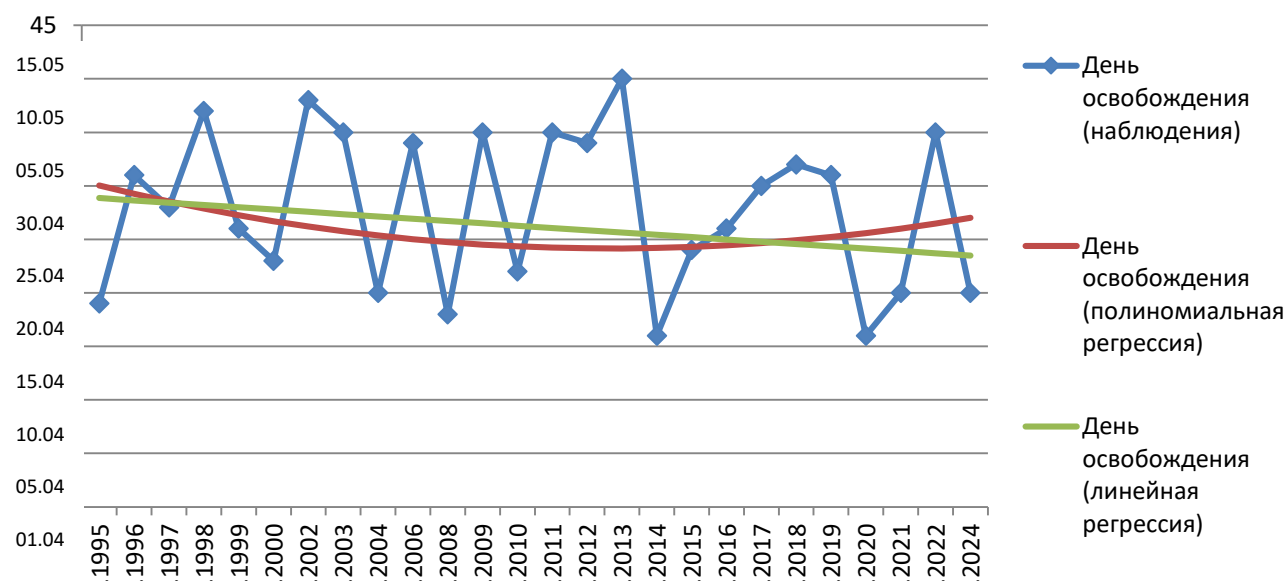


Рис. 8. Полное освобождение озера от льда. По оси X – год, по оси Y – день полного освобождения озера от льда (дд.мм).

Fig. 8. Complete liberation of the lake from ice. On the X-axis is the year and on the Y-axis is the date when the lake was completely clear of ice (dd.mm).

На рисунке 8 можно видеть, что за период наблюдений с 1995 по 2024 год (за исключением 2001, 2005, 2007 и 2023 гг) самое позднее освобождение от льда от озера наблюдалось в 2013 году (10 мая), а самое раннее – в 2014 и 2020 гг. (16 апреля). Следует отметить, что в 2015 и 2016 гг. наблюдалось также раннее освобождение озера от льда, однако это нельзя назвать устойчивым трендом, поскольку линейная регрессия ($Y = 29.07 - 0.214 \times X$) показывает скорость изменения -0.214 дня/год, но коэффициент детерминации $R^2 = 0.037$ указывает на слабую линейную зависимость, а высокий p -value ($0.341 > 0.05$) свидетельствует о статистической незначимости тренда. Полиномиальная регрессия ($Y = 30.874 - 0.847X + 0.019X^2$; $R^2 = 0.142$) позволила получить более точный тренд с минимумом в период 2013-2016 гг. и последующим смещением к более поздним датам. Следует отметить, что наблюдаемый минимум коррелирует с аномально-жаркой погодой в мае 2014 и 2015 гг.. Однако для более надежного выявления климатического тренда необходимы непрерывные ряды данных за более длительный период и учет дополнительных климатических факторов.

— Увеличение количества осадков, особенно в виде интенсивных ливней (учащение случаев "очень сильного дождя"), приводит к усилению эрозии почв и выносу биогенных элементов (фосфора и азота) с водосборной площади.

Фосфор (P) является лимитирующим элементом для первичной продукции в большинстве пресных озер. Его дополнительная нагрузка напрямую стимулирует эвтрофикацию. Климатические изменения не просто суммируются, а действуют синергически: более

теплые весны и лета способствуют формированию более ранней, стабильной и продолжительной стратификации. Это создает условия для дефицита кислорода в гипolimнионе и, как следствие, мобилизации фосфора из донных отложений. Высвобожденный фосфор поступает в эпилимнион при осеннем перемешивании, подпитывая рост водорослей на следующий сезон.

2) Корреляция с развитием *Gloeotrichia echinulata*

G. echinulata является видом-индикатором, чья «успешность» напрямую коррелирует с выявленными трендами:

- Раннее освобождение от льда и прогревание мелководных заливов стимулирует быстрое "прорастание" акинет из донных отложений и массовое всплытие колоний в пелагиальную зону.
- Увеличение периода с благоприятными температурами позволяет *G. echinulata* завершить несколько циклов развития, нарастив высокую биомассу.
- Увеличение внешней (со стоками) и внутренней (со дна) фосфорной нагрузки обеспечивает необходимый ресурс для роста.
- Стабильная стратификация благоприятствует поддержанию популяции в хорошо прогретом эпилимнионе и стимулирует процесс азотфиксации.

Согласно прогнозам, изменение климата окажет в целом благоприятное воздействие на цианобактерии по сравнению с другим фитопланктоном в пресноводных экосистемах, поскольку физиология цианобактерий может обеспечить конкурентное преимущество [9].

Полученные для озера Плещеево данные о потеплении и увеличении числа экстремальных осадков полностью соответствуют сценарию, благоприятствующему такому биологическому вторжению.

3.4 Ожидаемые изменения климата и направления адаптации

К середине XXI века по отношению к концу XX века на всей территории ЦФО возможно повышение температуры воздуха летнего сезона на 1,5-3 °C. Зимой возможен более сильный рост температуры воздуха на 3,5-4,5 °C. Суммы осадков летом могут уменьшиться на 5-15%. Увеличение сумм осадков в зимний сезон может составить 10-20% [2].

В качестве мер по адаптации экосистем к изменениям климата эксперты считают целесообразным снижение антропогенной нагрузки, усиление профилактики пожаров и восстановление водного режима осушенных торфяников [2]. В этой связи актуально звучит предложение по рекультивации водно-болотных угодий Берендеева болота, откуда берет начало основной приток озера Плещеево – река Трубеж, и которое было осушено в результате интенсификации торфоразработок в середине XX в. Актуальными являются мероприятия Дорожной карты по сохранению и реабилитации озера Плещеева⁶, направленные, в том числе, на снижение диффузионного загрязнения водных объектов.

⁶ План мероприятий («Дорожная карта») по сохранению и реабилитации озера Плещеево в Ярославской области, № ДП-П11-15389, от 29 апреля 2025 г.

Наблюдаемые изменения режима атмосферных осадков (рост интенсивности осадков на фоне увеличения продолжительности периодов с дефицитом осадков) потребует также модернизации системы водоотведения, а также принятия мер, направленных на повышение эффективности водопотребления.

4 Выводы

На водосборной площади озера Плещеево за последние десятилетия сформировались устойчивые климатические тренды, характерные для большей части Европейской территории России: достоверное повышение среднегодовой температуры воздуха (на 1.2 °C за последние ~60 лет) и увеличение годовой суммы осадков.

Потепление носит всесезонный характер, но наиболее выражено в зимне-весенний период. Увеличение осадков наиболее заметно в теплый период года.

Выявлена тенденция к увеличению повторяемости и продолжительности экстремальных климатических явлений, в частности, аномально-жарких периодов в весенние месяцы (апрель-май) и случаев очень сильных дождей.

Gloeotrichia echinulata, как вид-индикатор, особенно чувствителен к выявленным трендам. Ее появление и устойчивое присутствие в планктоне озера Плещеево можно рассматривать как интегральный биологический ответ экосистемы на климатические изменения.

Синергический эффект между климатом и антропогенной нагрузкой (например, поступлением биогенов с водосбора) многократно усиливает риск перехода озера в новое качественное состояние с частыми, продолжительными и токсичными цветениями воды.

Полученные результаты свидетельствуют о значительных изменениях климатического режима на территории национального парка «Плещеево озеро», что требует учета данных тенденций при разработке мер по адаптации управления природоохранной и рекреационной деятельностью, а также для оценки долгосрочных рисков для экосистемы озера.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро» при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» <https://rgo.ru/>.

Авторы статьи выражают благодарность Национальному парку «Плещеево озеро» за предоставленные архивные данные наблюдений, а также к.г.н. Камаловой Р. Г., доценту Уфимского университета науки и технологий, за советы при планировании исследования и рекомендации методики расчетов при оформлении статьи.

Библиография

1. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Е. М. Акентьева, А. М. Алейникова, Г. В. Алексеев [и др.]. – Санкт-Петербург : Издательство «Наукоемкие технологии», 2022. – 676 с. – ISBN 978-5-907618-13-8. – EDN JNIXIE.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха // Метеорология и гидрология. 2012. № 10. С. 20–32.
4. Шерстюков, Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б. Г. Шерстюков; Б. Г. Шерстюков. – Обнинск. : ГУ ВНИИГМИ - МЦД, 2008. – 246 с. – EDN QKIDLB.
5. Carey, C. C., Ewing, H. A., Cottingham, K. L., Weathers, K. C., Thomas, R. Q., & Haney, J. F. (2012). *Gloeotrichia echinulata* blooms in an oligotrophic lake: helpful insights from eutrophic lakes. *Journal of Plankton Research*, 34(10), 917-927.
6. Cottingham, K. L., H. A. Ewing, M. L. Greer, C. C. Carey, and K. C. Weathers. 2015. Cyanobacteria as biological drivers of lake nitrogen and phosphorus cycling. *Ecosphere* 6(1):1. <http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00174.1>
7. Бардин, М. Ю. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария / М. Ю. Бардин, Т. В. Платова, О. Ф. Самохина // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – Т. 3. – С. 32-58. – DOI 10.21513/0207-2564-2019-3-32-58. – EDN FEJBIJ.
8. Росгидромет, 2014: Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Катцов В. М., Семенов С. М., ред. – М.: Росгидромет. – 1009с.
9. Cottingham, Kathryn & Weathers, Kathleen & Ewing, Holly & Greer, Meredith & Carey, Cayelan. (2020). Predicting the effects of climate change on freshwater cyanobacterial blooms requires consideration of the complete cyanobacterial life cycle. *Journal of Plankton Research*. 43. 10.1093/plankt/fbaa059.

The Climatic Characteristics of the Pleshcheevo Lake Catchment Area and the Trends of Change in the Conditions during Modern Warming

Elmira Z. Nurmukhamedova^{1*}, Galina D. Kuznetsova^{2**}

¹ Ufa University of Science and Technology (UUNiT), Ufa, Russia

² Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow, Russia

*lmira18.01.02@gmail.com, **srdc@miigaik.ru

Key words Pleshcheyevo lake, environmental monitoring, climate change, temperature anomaly, precipitation regime, thermal regime, dangerous hydrometeorological phenomena, cyanobacteria, *Gloeotrichia echinulata*

Abstract The paper presents the results of a study on the long-term climate characteristics of the Pleshcheevo Lake drainage basin over the period from 1960 to 2023, based on data from the Pereslavl-Zalessky meteorological station. We have assessed the dynamics of average annual and seasonal temperatures, precipitation levels, as well as the frequency and intensity of hazardous hydrometeorological events (SES). It has been found that the current climate period (2000-2023) has seen a significant increase in average annual temperatures by 1.2 degrees Celsius compared to the baseline period of 1960-2000. There is also a trend towards increased annual precipitation. We have analyzed instances of extreme climate events. Special attention has been paid to indicator species like cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata*. It has been established that the observed climate trends (warming, especially during the winter-spring period, and an increase in heavy rainfall intensity) create ideal conditions for intense algal blooms, including those dominated by *G. echinulata*. These findings are consistent with region-wide manifestations of global warming on the European territory of Russia, and they have great practical significance for the development of adaptation measures and protection of ecosystems in specially protected natural areas.

Acknowledgements

The research was carried out within the research project "Intellectual Guardian of the Pleshcheyevo Lake Heritage". The publication was carried out with the financial support of the Russian Geo-Geographical Society, an All-Russian public organization <https://rgo.ru>.

The authors of the article express their gratitude to the Pleshcheyevo Lake National Park for providing archival observation data, as well as to R. G. Kamalova, PhD, Associate Professor at the Ufa University of Science and Technology, for tips for planning research and recommendations of calculation methods for the design of the article.