

УДК 551.583.16(470.51-25)(045)

*А.В. Кулюшина, В.С. Маратканова***ДИНАМИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА В ИЖЕВСКЕ ЗА 1961–2020 ГГ.**

Наблюдаемые в настоящее время изменения климата требуют мониторинга, изучения и обновления данных о повторяемости экстремальных термических условий, которые могут нанести вред ряду сфер хозяйства. Для выявления дней с экстремально высокими температурами рассчитаны 90-й и 95-й процентиля максимальной суточной температуры воздуха по данным ст. Ижевск за 1961–2020 гг., количество экстремально теплых дней по декадам исследуемого периода. Выявлены количество, суммарная и средняя продолжительность и средняя интенсивность наблюдавшихся волн жары, проанализирована динамика этих характеристик. Обнаружено, что для ст. Ижевск характерно увеличение количества экстремально теплых дней и волн жары. Остальные характеристики волн жары демонстрируют неоднородный характер изменений, однако указывают на усиление экстремальности климата за последние десятилетия. Линейные тренды исследуемых величин статистически не значимы.

*Ключевые слова:* климат, изменения климата, термические условия, экстремальность климата, волны жары, теплый период, Ижевск.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-4-468-475

Со второй половины 70-х гг. XX в. наблюдаются тенденции к росту температуры, изменению режима и количества выпадения осадков, частоты и интенсивности опасных погодно-климатических явлений, на которые приходится до 90 % всех экономических потерь [1]. Изучению проявлений изменения глобального климата в Удмуртской Республике посвящен ряд работ [2–6]. Несмотря на определенную паузу в глобальном потеплении в первую декаду XXI в., последние годы остаются наиболее теплыми за историю инструментальных наблюдений [1]. Утверждение о росте температур, как средних, так и средних максимальных, справедливо и для ст. Ижевск [2–6].

Одним из негативных эффектов современного потепления климата является увеличение числа дней с экстремально высокой температурой и волн тепла. Волны тепла (жары) – это устойчивая, продолжительная жаркая погода [7]. Они часто вызывают увеличение смертности и заболеваемости в группах риска, к которым относятся дети младшего возраста и пожилые люди, люди, страдающие хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы и люди, профессиональная деятельность которых связана с постоянным нахождением на открытом воздухе [7]. Также волны жары воздействуют на некоторые отрасли хозяйства, что особенно ярко проявляется в случае метеозависимых отраслей (например, растениеводства), влияют на общую продуктивность экономической деятельности [1; 7; 8]. Учитывая наблюдавшиеся на территории Европейской части России в начале XXI в. продолжительные и интенсивные волны жары (в частности, значительную по последствиям аномалию 2010 г. [7]), существует необходимость их мониторинга, изучения их повторяемости и динамики.

Целью работы является оценка изменения количества дней с экстремально высокими температурами за период 1961–2020 гг. по данным ст. Ижевск, а также количества, продолжительности и интенсивности волн жары.

**Материалы и методы исследований**

При анализе использовались следующие данные: среднемесячные температуры воздуха летних месяцев (июнь – август) на ст. Ижевск с 1961 по 2020 гг., среднесуточные и максимальные суточные температуры воздуха летних месяцев на ст. Ижевск за весь исследуемый период. Данные были получены в системе «Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам», являющейся web-технологией ВНИИГМИ-МЦД [9].

Для выявления дней с экстремально высокими температурами воздуха по данным метеостанции Ижевск были использованы методики, подробно описанные в работах [8; 10]. Согласно им, в качестве пороговых значений экстремальности температуры можно принять значения 90-го или 95-го перцентилей распределения суточных максимальных температур за исследуемый период. Все дни, в

которые максимальные суточные температуры воздуха превышали полученные значения, были отнесены к экстремально жарким. Для метеостанции Ижевск за период с 1961 по 2020 гг. значение 90-го перцентиля составило 29,6 °С, а значение 95-го перцентиля – 31,0 °С.

Также изучались такие статистические показатели, как количество дней с экстремально высокими температурами по декадам и по отдельным годам, их динамика. Для отдельных десятилетий, входящих в исследуемый период, были также рассчитаны средняя максимальная температура и ее отклонение от климатической нормы (на момент написания статьи – осредненные значения средних максимальных температур летнего периода за 1961–1990 гг.). Периодом активного потепления климата считались 1991–2020 гг.

Для выявления волн жары за исследуемый период были использованы подходы, описанные в работе [10]. Согласно приведенным в ней критериям, волну жары определяют как период, когда суточные максимальные температуры воздуха в течение трех или более последовательных дней превышают пороговое значение, за которое принимается 95-й (или 90-й) перцентиль их распределения. Для волн жары в разрезе декад и отдельных годов изучались такие характеристики, как их количество, средняя продолжительность, суммарная продолжительность и средняя интенсивность, которая определялась как превышение среднего максимальных суточных температур внутри волны жары над выбранным пороговым значением.

Для оценки динамики исследуемых величин были построены линейные тренды, статистическая значимость которых определялась по значениям коэффициента детерминации  $R^2$ . Для периода, содержащего 60 значений (1961–2020 гг.), при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  статистически значимыми считались  $R^2>0,0645$ . Для периода, содержащего 30 значений (1991–2020 гг.), при доверительной вероятности  $\alpha=0,95$  статистически значимыми считались  $R^2>0,1398$ .

## Результаты и их обсуждение

**Количество дней с экстремально высокими температурами по данным ст. Ижевск за 1961–2020 гг. и их динамика.** Результаты исследования количества дней с экстремально высокими температурами представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Количество дней с экстремально высокими температурами воздуха за летний сезон по данным ст. Ижевск за 1961–2020 гг.**

Декада	Количество дней с $T_{\max}>$ порогового значения		Изменение количества дней с $T_{\max}>$ порогового значения		Средняя максимальная температура	
	90	95	90	95	Значение (°С)	Отклонение от климатической нормы (°С)
1961–1970	56	21	–	–	22,4	–0,4
1971–1980	75	34	+16	+13	22,5	–0,3
1981–1990	124	68	+49	+34	23,6	+0,8
1991–2000	87	40	–37	–28	23,1	+0,3
2001–2010	113	52	+26	+12	23,4	+0,6
2011–2020	113	55	0	+3	23,5	+0,7

Согласно данным табл. 1, наблюдается тенденция к росту количества дней с экстремальными температурами, в которые максимальные суточные значения превышают 90-й и 95-й перцентили распределения. Причем для 95-го перцентиля эта тенденция выражена устойчивее, чем для 90-го.

Суммарное количество дней с  $T_{\max}>90$ -й перцентиль за исследуемый период составляет 568 дней. Максимальные значения количества преимущественно смещены на периоды с 2001 по 2010 и с 2011 по 2020 гг. (по 113 дней соответственно), что может быть связано с наступлением активной фазы глобальных изменений климата [1], а также со статистически выраженной тенденцией к потеплению летних сезонов (рис. 1). Аномально высокое количество таких дней (124) наблюдалось в период с 1981 по 1990 гг. за счет пиковых значений в 1982 и 1988 годах, что скорее всего может

быть объяснено условиями атмосферной циркуляции в данный период. Анализируя тенденции изменения, можно заметить, что количество экстремально жарких дней возросло в периоды с 1971 по 1990 гг. и с 2001 по 2010 гг. В декаду после 2010 г. оно не изменялось.

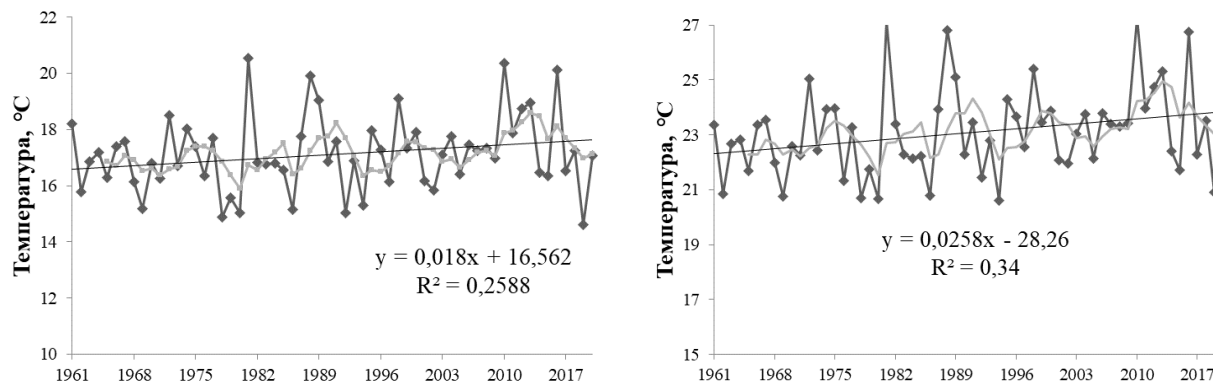


Рис. 1. Долговременные изменения средних (слева) и средних максимальных (справа) температур летнего сезона с линейными трендами для скользящего среднего (интервал 5) за 1961–2020 гг.

Суммарное количество дней с  $T_{\max} > 95$ -й процентиль за исследуемый период составляет 270 дней (рис. 2). Их распределение во времени в целом совпадает с выявленными по 90-му процентилю закономерностями, с аномальным количеством в период с 1981 по 1990 гг. (68 дней) и смещением остальных максимумов (52 и 55 дней) к настоящему моменту. Различие состоит в том, что тенденция к росту наблюдалась с 1971 по 1990 гг. и с 2001 по 2020 гг., что можно связать с ростом экстремальности климата в условиях его глобальных изменений [1], так что даже при условии того, что количество дней с  $T_{\max} > 90$ -го процентиля не растет, количество дней с  $T_{\max}$ , превышающей 95-й процентиль (которые всегда входят в предыдущий интервал), будет расти.

Распределение средних максимальных температур по декадам также обнаруживает максимум в период с 1981 по 1990 гг. с устойчивым ростом после 2001 года. Отклонение значений от климатической нормы изменяется соответствующе.

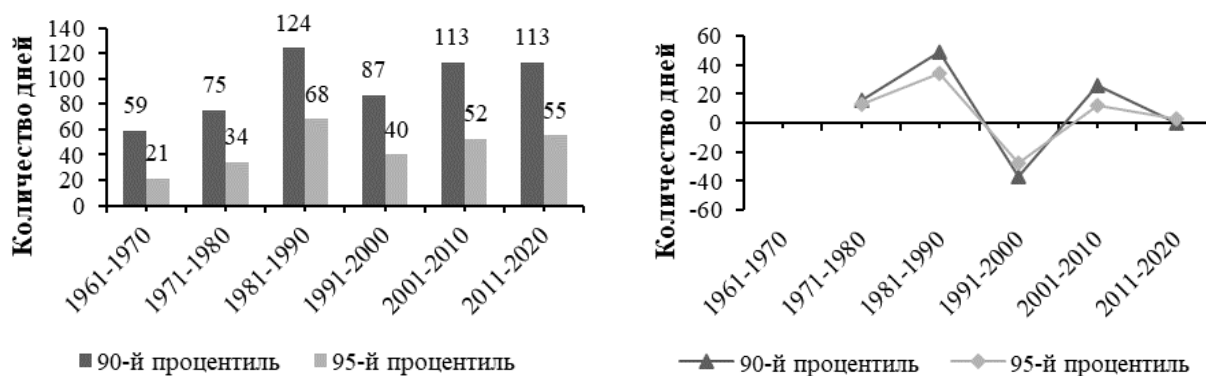


Рис. 2. Количество дней с экстремально высокими температурами по декадам (слева) и изменение их количества по декадам (справа) за 1961–2020 гг.

На фоне статистически значимых для ст. Ижевск тенденций к росту средних и средних максимальных температур летнего сезона, линейные тренды количества дней с экстремально высокими температурами (выявленных как через 90-й, так и через 95-й процентиля) не отражают статистически значимых изменений (рис. 3).

**Волны жары и их характеристики по данным ст. Ижевск за 1961–2020 гг.** Количество волн жары по декадам за исследуемый период отражено на рис. 4. Согласно данным диаграммы, наибольшее суммарное количество волн жары (суммарное количество 29: 17 по 90-му процентилю и 12 по 95-му) наблюдалось в период с 1981 по 1990 гг. Также по количеству волн жары выделяются перио-

ды с 2001 по 2010 гг. (22: 15 по 90-му перцентилю и 7 по 95-му) и с 2011 по 2020 гг. (27: 18 по 90-му перцентилю и 9 по 95-му). Наибольшее количество волн жары, выявленных по 90-му перцентилю, соответствует последнему из исследуемых десятилетий, а наибольшее количество волн по 95-му перцентилю – аномально жаркому периоду с 1981 по 1990 гг.

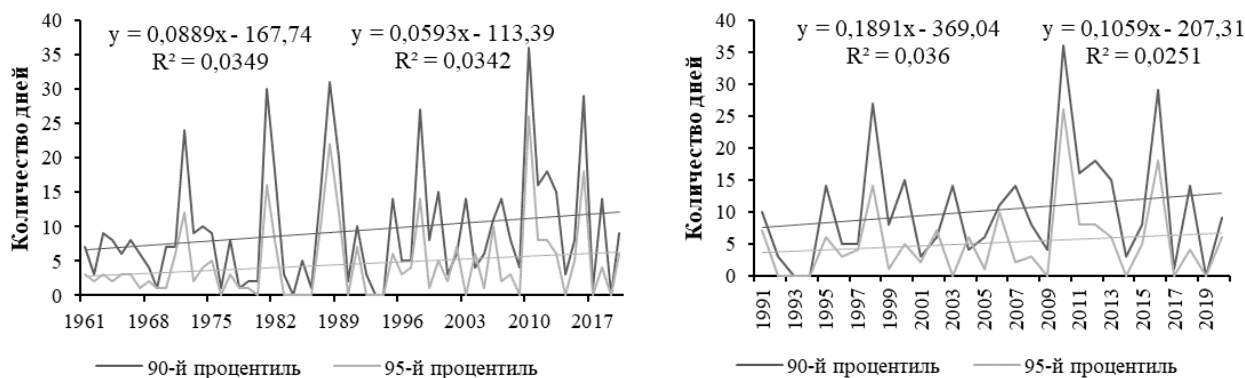


Рис. 3. Количество экстремально жарких дней и их линейные тренды за летние месяцы с 1961 по 2020 гг. (слева) и с 1991 по 2020 гг. (справа)

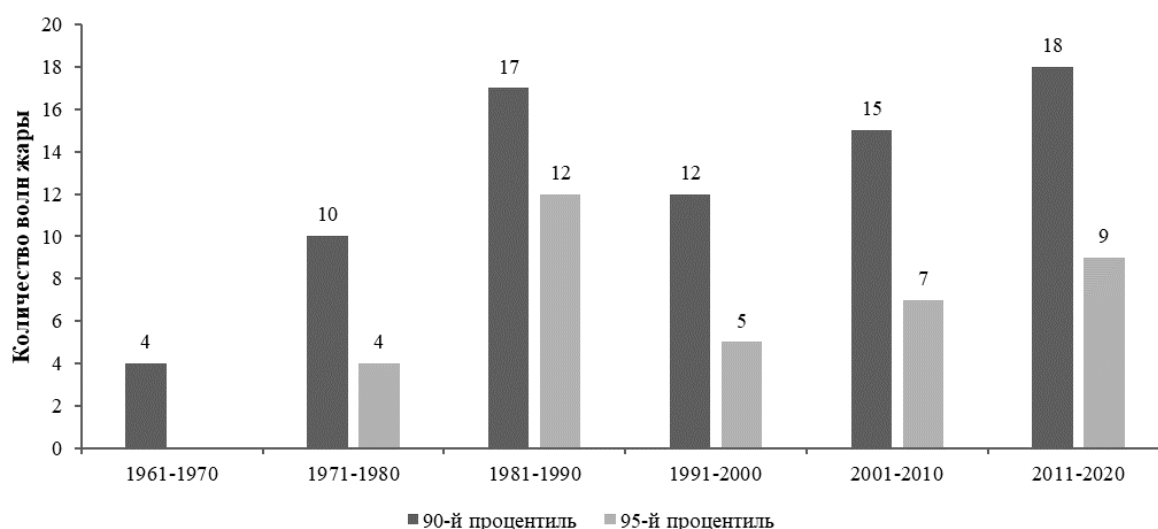


Рис. 4. Количество волн жары по данным ст. Ижевск за 1961–2020 гг.

Наименьшее суммарное количество волн жары наблюдается в период с 1961 по 1970 гг. (всего 4 по 90-му перцентилю, волны жары по 95-му перцентилю распределения отсутствуют). Это, в совокупности со смещением максимумов количества волн жары (особенно с максимальными температурами более 31 °С) на ближайшие декады и трендами температур, может служить косвенным признаком увеличения экстремальности климата на исследуемой территории.

Анализируя данные табл. 2, выявляется, что характер изменения величин, описывающих волны жары, более сложен и разнороден, чем характер изменения параметров дней с экстремально высокими температурами воздуха, где наблюдаются тенденции к росту. Наибольшая суммарная продолжительность волн жары, выявленных по 90-му перцентилю, наблюдалась в период с 1981 по 1990 гг. (87 дней), что соответствует выявленной ранее аномально жаркой декаде с благоприятными для возникновения длительных сухих и жарких периодов условиями. Два остальных максимума (83 и 71 дня) смещены на 2001–2010 и 2011–2020 гг. соответственно, причем суммарная продолжительность волн жары в первый период больше за счет наблюдавшейся в 2010 г. на территории Европейской России засухи [11].

Для волн жары, выявленных по 95-му перцентилю, характерно очень похожее распределение с максимумом в период с 1981 по 1990 гг. (45 дней) и остальными высокими значениями в две послед-

ние декады (33 и 36 дней соответственно) (табл. 2). Однако суммарная продолжительность таких волн жары демонстрирует рост, также свидетельствуя о тенденции к усилению экстремальности климата.

Таблица 2

**Характеристики волн жары за летний сезон по декадам с 1961 по 2020 гг. по данным ст. Ижевск**

Декада	Суммарная продолжительность, дни		Средняя продолжительность, дни		Средняя интенсивность, °С	
	90	95	90	95	90	95
1961–1970	17	-	4	-	1,4	-
1971–1980	43	18	4	5	2,0	1,7
1981–1990	87	45	5	4	2,2	1,6
1991–2000	50	21	4	4	2,3	2,4
2001–2010	83	33	5	5	2,3	3,1
2011–2020	71	36	4	4	2,2	1,9

Средняя продолжительность волн жары, выявленных по обоим показателям, составляет 4-5 дней, с максимумами в период с 2001 по 2010 гг. Длительные волны жары по 90-му процентилю также наблюдались в декаду с 1981 по 1990 гг. (самая длительная волна жары – с 1 по 13 июля 1988 г. (13 дней)). Наибольшая по продолжительности волна жары наблюдалась в период с 2001 по 2010 гг. и составила 18 дней (27.07.–13.08.2010). За последнее десятилетие наиболее длительные волны жары были также смещены на последнюю декаду июль – август, но их продолжительность не превышала 8 дней (18–25.08.2016). Наибольшая продолжительность волн жары по 95-му процентилю составила 8 дней (5–12.08.2010 и 18–25.08.2016).

Анализируя интенсивность волн жары, которая выражает превышение максимальных температур воздуха внутри волн жары над пороговыми значениями (+29,6 и +31,0 °С), можно заметить, что в обоих случаях наблюдаются тенденции к увеличению интенсивности за исследуемый период. Наибольшая интенсивность наблюдается в 1991–2000 и в 2001–2010 годах (+2,3 и +2,4 °С/+2,3 и +3,1°С соответственно), наименьшая – в 1961–1970 гг. (+1,4°С). Более высокие значения показателя интенсивности для волн жары, выявленных через 95-й процентиль, также свидетельствуют о росте экстремальности максимальных температур и о больших разбросах значений максимальных температур внутри волн жары, выявленных по 90-му процентилю.

На фоне статистически значимых тенденций к росту средних и максимальных суточных температур, наблюдаемых на ст. Ижевск, линейные тренды количества волн жары, определенных как через 90-й, так и через 95-й процентиля, статистически незначимы. Наиболее близок к уровню значимости ( $R^2 > 0,1398$ ) линейный тренд количества волн жары, выявленных по 95-му процентилю, за период активного глобального потепления ( $R^2 = 0,1353$ ) (рис. 5).

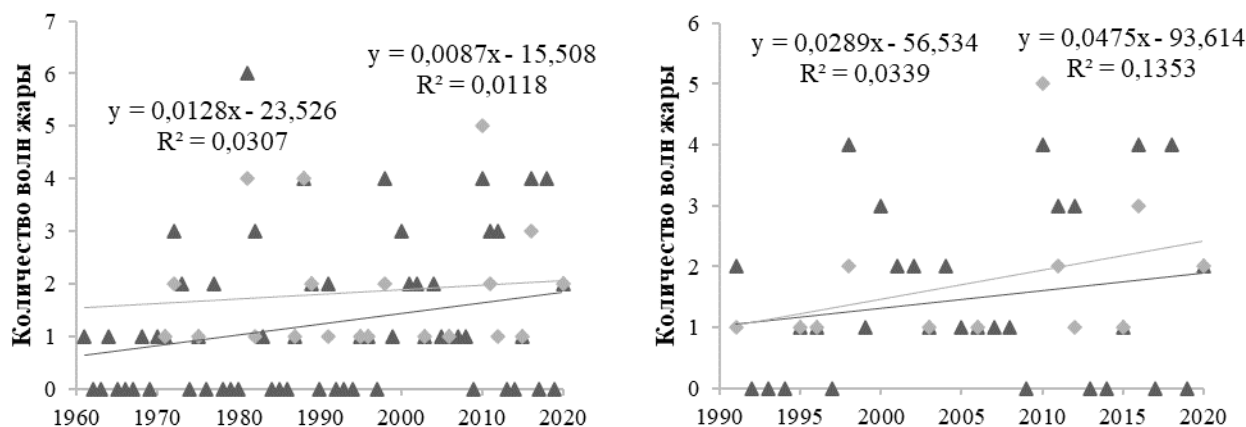


Рис. 5. Количество волн жары и их линейные тренды за летние месяцы с 1961 по 2020 гг. (слева) и с 1991 по 2020 гг. (справа)

Средняя продолжительность волн жары, наоборот, обнаруживает статистически незначимые линейные тренды к уменьшению этой величины (рис. 6).

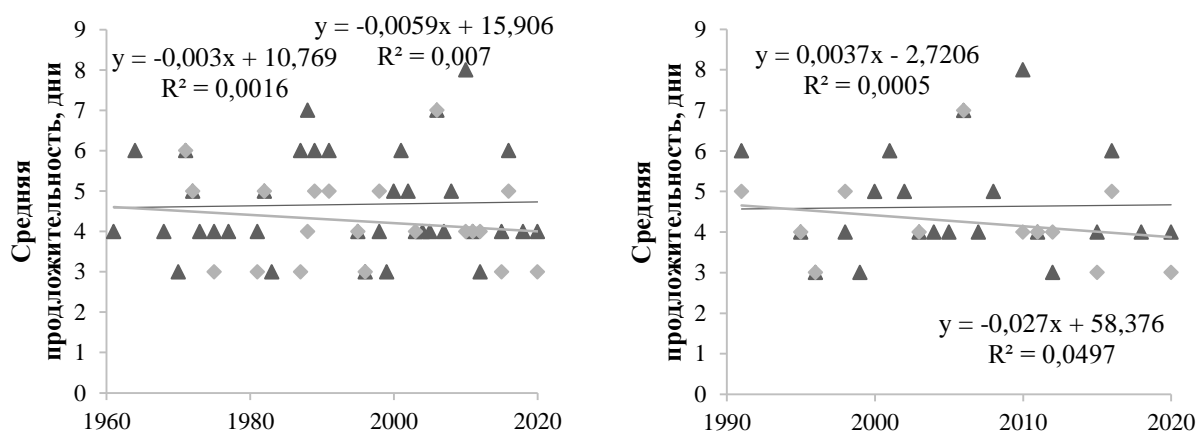


Рис. 6. Средняя продолжительность волн жары и их линейные тренды за летние месяцы с 1961 по 2020 гг. (слева) и с 1991 по 2020 гг. (справа)

Линейные тренды средней интенсивности волн жары также не отражают статистически значимых изменений (рис. 7).

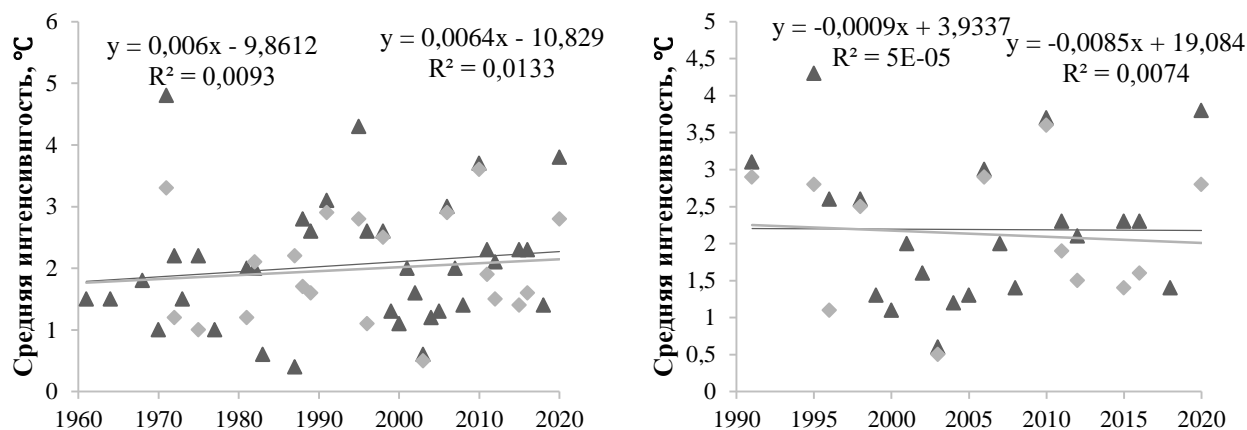


Рис. 7. Интенсивность волн жары и их линейные тренды за летние месяцы с 1961 по 2020 гг. (слева) и с 1991 по 2020 гг. (справа)

## Выводы

1. В целом для ст. Ижевск характерно увеличение количества экстремально жарких дней. За период активного потепления климата их количество увеличилось с 56 за 1961–1970 гг. до 113 за 2011–2020 гг. по 90-му перцентилю и с 21 до 55 по 95-му соответственно. Отдельный максимум наблюдался в период с 1981 по 1990 гг. (124 и 68 дней соответственно).

2. Количество волн жары за исследуемый период также выросло: с 4 (1961–1970 гг.) до 18 (2011–2020 гг.) по 90-му перцентилю и с 0 до 9 по 95-му перцентилю соответственно. Как и для экстремально жарких дней, наблюдался отдельный максимум (12) в 1981–1990 гг. Прочие характеристики волн жары обладают более сложным характером динамики, однако позволяют констатировать усиление экстремальности климата за последние две декады.

3. Ни один из линейных трендов величин, как за весь исследуемый период, так и за период активных изменений климата (1991–2020 гг.), не отражает статистически значимых изменений. Наиболее близок к уровню значимости линейный тренд количества волн жары, выявленных по 95-му перцентилю за период с 1991 по 2020 гг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
2. Шумихина А.В. Экстремальные морозы в Ижевске в XX–XXI столетиях // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, вып. 1. С. 114–121.
3. Шумихина А.В. Повторяемость и динамика оттепелей в Ижевске // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, вып. 4. С. 129–135.
4. Переведенцев Ю.П., Шумихина А.В. Динамика биоклиматических показателей комфортности природной среды в Удмуртской Республике // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2016. Т. 158. № 4. С. 531–547.
5. Шумихина А.В. Динамика режима осадков в Удмуртской Республике и их связь с индексами атмосферной циркуляции // Географический вестник. 2017. № 1(40). С. 73–85.
6. Шумихина А.В. Динамика режима облачности в период 1961–2014 гг. в Удмуртской Республике и связь облачности с индексами атмосферной циркуляции // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28, вып. 1. С. 103–110.
7. Виноградова В.В. Волны тепла на территории России как фактор дискомфорта природной среды // Известия Российской Академии наук. Серия географическая. 2017. № 4. С. 68–77.
8. Григорьева Е.А. Волны тепла в Хабаровске – подходы к определению // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. №1. С. 43–48.
9. Система «АИСОРИ – Удалённый доступ к ЯОД-архивам». URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (дата обращения: 20.09.2021)
10. Zhang Q., Xu C.-Y., Zhang Z., Ren G., Chen Y. D. Climate change or variability? The case of Yellow river as indicated by extreme maximum and minimum air temperature during 1960–2004 // Theoretic. Appl. Climatol. 2008. Vol. 93 (1-2). P. 35–43.
11. Черенкова Е.А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах Европейской территории России // Известия Российской Академии Наук. Серия географическая. 2013. № 6. С. 76–85.

Поступила в редакцию 27.10.2022

Кулюшина Алла Валерьевна, кандидат географических наук, руководитель прогностического центра  
E-mail: [alla.kulyushina@micristep-mis.com](mailto:alla.kulyushina@micristep-mis.com)

Маратканова Варвара Сергеевна, студент-магистр  
E-mail: [varvara.mar@yandex.ru](mailto:varvara.mar@yandex.ru)

ООО «МикроСтеп-МИС»  
199004, Россия, г. Санкт-Петербург, Средний пр. В.О., д. 4б, офис 14

*A.V. Kulyushina, V.S. Maratkanova*

**DYNAMICS OF THE WARM SEASON EXTREME TEMPERATURE EVENTS IN IZHEVSK  
IN THE PERIOD OF 1961–2020**

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-4-468-475

Modern climate changes present us the task of constant monitoring and updating of data on the occurrence of temperature extreme events that may pose danger to several areas of the economy. To identify the extreme temperature events, the 90<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentiles of daily maximum temperature during the warm season months of 1961–2020 in Izhevsk were calculated. Then the number of days with extreme temperature conditions was determined for every decade of the research period. The number, overall and average length, and intensity of the registered heat waves in 1961–2020 were also evaluated, and their dynamics analyzed. The results suggest the increase in number for both days with extreme temperature and heat waves. Other heat wave characteristics demonstrate more complex patterns of change, but nevertheless point on climate becoming more extreme during the last decades. None of the linear trends are statistically significant.

*Keywords:* climate, climate change, temperature extremes, climate extremes, heat waves, warm season, Izhevsk.

## REFERENCES

1. *Vtoroy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [The second assessment report on climate change and its consequences for the territory of the Russian Federation], Moscow: Rosgidromet Publ., 2014, 1008 p. (in Russ.).
2. Shumikhina A.V. [Extreme frosts in Izhevsk in XX–XXI centuries], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], 2015, vol. 25, iss. 1, pp. 114–121 (in Russ.).
3. Shumikhina A.V. [Repeatability and dynamics of thaws in Izhevsk] in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], 2015, vol. 25, iss. 4, pp. 129–135 (in Russ.).
4. Perevedentsev Yu.P., Shumikhina A.V. [The Dynamics of the Bioclimatic Indices of Environmental Comfort in the Udmurt Republic, Russia], in *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta Ser. Estestv. Nauki* [Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series], 2016, vol. 158, no. 4, pp. 531–547. (in Russ.)
5. Shumikhina A.V. [Precipitation pattern dynamics in the Udmurt Republic and its connection with atmospheric circulation index], in *Geographicheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2017, no. 1(40), pp. 73–85 (in Russ.).
6. Shumikhina A.V. [Dynamics of the regime of cloudiness in the period of 1961–2014 in the Udmurt Republic and the connection of the cloudiness with the index of atmospheric circulation], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], 2018, vol. 28, iss. 1, pp. 103–110 (in Russ.).
7. Vinogradova V.V. [Heat waves in Russia as the uncomfortable factor of the environment], in *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*, 2017, no. 4, pp. 68–77 (in Russ.).
8. Grogorieva E.A. *Volny tepla v Khabarovske – podkhody k opredeleniyu* [Heat waves in Khabarovsk – approaches to the definition], in *Regional'nye problem* [Regional problems], 2014, vol. 17, no. 1, pp. 43–48 (in Russ.).
9. *Sistema «AISORI – Udalyonnyy dostup k YAOD-arkhivam»* [The “AISORI – the remote access to DDL archives” system], Available at: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (accessed: 20. 09. 2021) (in Russ.).
10. Zhang Q., Xu C.-Y., Zhang Z., Ren G., Chen Y.D. Climate change or variability? The case of Yellow river as indicated by extreme maximum and minimum air temperature during 1960–2004, in *Theoretic. Appl. Climatol.*, 2008, vol. 93 (1-2), pp. 35–43.
11. Cherenkova E.A. [Quantitative evaluation of atmospheric drought in federal districts of the European Russia], in *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*, 2013, no. 6, pp. 76–85 (in Russ.).

Received 27.10.2022

Kulyushina A.V., Candidate of Geography, Head of Forecasting Center

E-mail: [alla.kulyushina@micristep-mis.com](mailto:alla.kulyushina@micristep-mis.com)

Maratkanova V.S., master's student

E-mail: [varvara.mar@yandex.ru](mailto:varvara.mar@yandex.ru)

MicroStep-MIS

Vasilievsky island middle avenue, 4b, 13, Saint Petersburg, Russia, 199004