

Гидрометеорология и экология. 2024. № 74. С. 57—72.

Hydrometeorology and Ecology. 2024;(74):57—72.

Научная статья

УДК 551.524«321»«323»

doi: 10.33933/2713-3001-2024-74-57-72

Формирование аномального термического режима осенью и весной на Европейской территории России

***Татьяна Романовна Шишкина¹, Юлия Викторовна Ефимова¹,
Ирина Викторовна Лаврова^{1, 2}, Ирина Александровна Иванова¹,
Екатерина Петровна Иванова¹***

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, t.shishkina@rshu.ru

² Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, Санкт-Петербург.

Аннотация. В статье проанализированы среднесуточные и среднемесячные значения температуры воздуха осенью и весной в северо-западной и центральной частях Европейской территории России за 1959—2018 гг. Выделены границы градаций, при которых среднесуточная температура воздуха считалась аномальной, и проанализировано число случаев аномально теплых и холодных дней за два периода с 1959 г. по 1988 г. и с 1989 г. по 2018 г. Оценена статистическая значимость изменений среднемесячных значений температуры воздуха и числа случаев аномально теплых и холодных дней за два периода. Определены характерные синоптические ситуации для дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха.

Ключевые слова: аномальные значения температуры воздуха, Европейская территория России, синоптическая ситуация, планетарная высотная фронтальная зона.

Для цитирования: Шишкина Т. Р., Ефимова Ю. В., Лаврова И. В., Иванова И. А., Иванова Е. П. Формирование аномального термического режима осенью и весной на Европейской территории России // Гидрометеорология и экология. 2024. № 74. С. 57—72. doi: 10.33933/2713-3001-2024-74-57-72.

Original article

Formation of an anomalous thermal regime in autumn and spring on the European territory of Russia

***Tatyana R. Shishkina¹, Yulia V. Efimova¹, Irina V. Lavrova^{1, 2},
Irina A. Ivanova¹, Ekaterina P. Ivanova¹***

¹ Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia, t.shishkina@rshu.ru

² The State Research Navigation-Hydrographic Institute, Saint Petersburg.

Summary. The article analyzes the average daily and average monthly air temperatures in autumn and spring in the northwestern and central parts of the European territory of Russia from 1959–2018.

The bifurcation points for the average annual air temperature were determined separately for the northern, central and southern parts of the European territory of Russia. The boundaries of the gradations at which the average daily air temperature was considered abnormal were identified, and the number of cases of abnormally warm and cold days for two periods (1959—1988 and 1989—2018) was analyzed. Maps of the spatial distribution of changes in the number of abnormally warm and abnormally cold days were constructed in the GIS Mapinfo program. The statistical significance of changes in average monthly air temperatures and the number of cases of abnormally warm and cold days for two periods was assessed. Typical synoptic situations for days with abnormally high and low values of average daily air temperature have been determined. An increase in average monthly air temperatures in both autumn and spring is observed everywhere. The change in trend in average annual air temperature for the entire study area occurred in the late 1980s. The number of abnormally warm and abnormally cold days for the two periods in the fall did not change significantly. In spring, the number of abnormally cold days increases, and the number of abnormally warm days decreases. An increase in abnormally cold days in spring was noted in the northwest and southeast of the study area. A cold center has been identified in the Barents Sea, influencing the formation of abnormally low average daily air temperatures. The influence of the shift in the position of the planetary altitude frontal zone on the occurrence of anomalous values of the average daily air temperature has been revealed.

Keywords: anomalous values of air temperature, European territory of Russia, transitional seasons of the year, synoptic situation, planetary high-altitude frontal zone.

For citation: Shishkina T. R., Efimova Yu. V., Lavrova I. V., Ivanova I. A., Ivanova E.P. Formation of an anomalous thermal regime in autumn and spring on the European territory of Russia. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2024;(74):57—72. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2024-74-57-72.

Введение

Аномальные среднесуточные температуры воздуха относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям. По своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности значительные отклонения температуры воздуха от среднего могут оказать негативное воздействие на сельское хозяйство, объекты экономики и окружающую природную среду [1—4].

По данным исследований, повышение температуры воздуха на Европейской территории России значительно превышает темпы роста температуры в Северном полушарии [5]. Наблюдаемое глобальное потепление климата способствует изменению количества случаев аномальных значений многих метеорологических характеристик, в том числе и среднесуточной температуры воздуха. Практический интерес представляет исследование аномальных значений среднесуточной температуры воздуха осенью и весной, так как в эти периоды циркуляционные процессы менее устойчивы [6, 7].

Целью исследования является анализ синоптических ситуаций, способствующих формированию аномальных значений среднесуточной температуры воздуха осенью и весной на Европейской территории России за период с 1959 г. по 2018 г.

Объект и методы исследования

Для исследования выбраны 16 станций северо-западной и центральной частей Европейской территории России (ЕТР), расположение которых приводится на рис. 1. Отметим, что указанные станции имеют непрерывные данные наблюдений за одинаковый период с 1959 г. по 2018 г., содержащиеся в архиве ВНИИГМИ-МЦД. Нами использовались среднесуточные значения температуры воздуха.

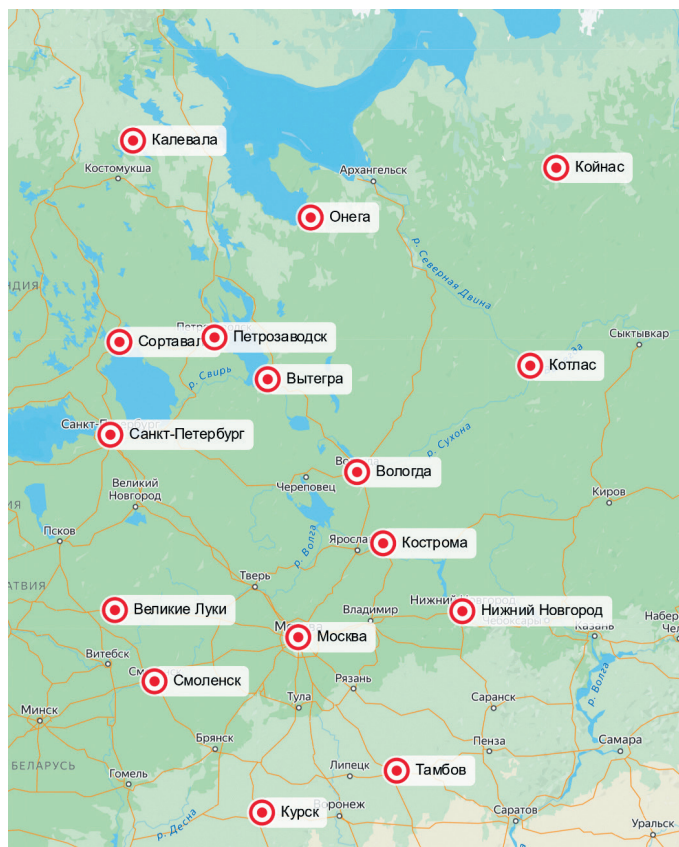


Рис. 1. Схема расположения гидрометеорологических станций на Европейской территории России, данные с которых используются в настоящей работе.

Fig. 1. Location map of hydrometeorological stations on the European territory of Russia, the data from which are used in this work.

Для выделения дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха на ЕТР были определены границы 5 градаций («среднее», «ниже среднего», «значительно ниже среднего», «выше среднего» и «значительно выше среднего») в выбранных пунктах.

Для анализа дней с «аномально высокой» и «аномально низкой» среднесуточной температурой воздуха использовались градации «значительно выше среднего» (ЗВС) и «значительно ниже среднего» (ЗНС). В работе использован метод квартилей, который является аналогом метода процентилей, принятого в Гидрометцентре РФ [4, 8]. Данные методы позволяют определить выбросы, которые были приняты за аномальные значения.

В работе также проанализированы среднегодовые значения температуры воздуха и определены точки бифуркации (смены тренда) в разных частях региона

исследования. Для определения точек бифуркации использован алгоритм, предложенный д.ф.-м.н. А. Д. Кузнецовым, заменяющий временной ряд математической моделью. В качестве модели использовался полином первой степени [9].

Оценена статистическая значимость изменений среднемесячной температуры воздуха за два периода (с 1959 г. по 1988 г. и с 1989 г. по 2018 г.), существенно отличающихся друг от друга климатическим режимом. Статистическая значимость оценивалась на основе сравнения стандартной ошибки среднего для всего ряда и величины изменения среднемесячной температуры воздуха за весь период исследования для всех станций. Аналогичные расчеты были проведены и для оценки статистической значимости изменения числа случаев аномально теплых и аномально холодных дней.

Стандартная ошибка среднего определялась по формуле:

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

где σ — среднеквадратическое отклонение, n — период наблюдений. Изменения считались статистически значимыми, если величина изменения значений исследуемой характеристики превышала стандартную ошибку средней.

Для выявления особенностей циркуляционного режима аномально теплых и аномально холодных дней были привлечены синоптические карты из архива данных реанализа NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSRv1) за период с 1959 г. по 2018 г. [10]. В исследовании анализировались следующие поля: АТ–850 гПа, температура воздуха на уровне 2 м, а также совмещенная карта АТ–500 гПа и давления на уровне моря (MLSP).

В работе осенний и весенний сезоны рассматривались отдельно.

Результаты исследования

На первом этапе работы рассматривалась среднемесячная температура воздуха сентября, октября и ноября с 1959 г. по 2018 г. для всех 16 станций. Чтобы зафиксировать ее изменения, ряды были разделены на периоды по 30 лет: первый — с 1959 г. по 1988 г., второй — с 1989 г. по 2018 г. На всех станциях в каждом месяце наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха. В сентябре и октябре изменения статистически значимы для всех 16 станций, в ноябре — для 11 станций. В табл. 1 приводятся оценки изменений среднемесячной температуры воздуха осени за период с 1989 г. по 2018 г. по сравнению с периодом с 1959 г. по 1988 г., статистически значимые изменения выделены полужирным курсивом. Нетрудно увидеть, что в сентябре—октябре на всех станциях эти изменения являются значимыми.

На рис. 2 в качестве примера показан сравнительный анализ среднемесячных значений температуры воздуха ноября за два периода. Ноябрь представляет интерес, поскольку является границей между календарной осенью и зимой. На большей части территории в ноябре фиксируются даты устойчивого перехода температуры воздуха через нулевую отметку и их сдвиг на более ранние сроки [6, 11, 12].

Таблица 1

Статистическая оценка значимости изменений среднемесячной температуры воздуха осени за период с 1989 г. по 2018 г. по сравнению с периодом с 1959 г. по 1988 г. (Δt)*
 Statistical assessment of the significance of changes in the average monthly air temperature of the autumn season for the period 1989—2018 compared to 1959—1988 (Δt)

	Калевала	Койнас	Онега	Петро-ск	Сорта-вала	Котлас	Вытегра	СПб.	Вологда	Кострома	Ниж. Нов.	Вел. Луки	Москва	Смоленск	Тамбов	Курск
Сентябрь																
Δt	1,0	0,9	1,0	1,2	1,2	0,9	1,0	1,3	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0
SE	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Октябрь																
Δt	0,6	1,5	0,9	0,6	0,5	1,2	0,6	0,6	0,6	1,0	1,3	0,4	0,8	0,5	1,4	1,1
SE	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ноябрь																
Δt	1,0	0,2	0,3	0,4	0,7	0,2	0,3	0,7	0,2	0,7	0,8	0,5	0,7	0,6	0,9	0,8
SE	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

* полужирным шрифтом выделены значимые отклонения Δt

Необходимо отметить, что на всех станциях в ноябре наблюдается потепление, среднемесячная температура воздуха во втором периоде на станциях Великие Луки и Курск в среднем оказывается выше нуля.

В работе исследована смена тренда во временном ряду среднегодовых значений температуры воздуха. Смена тренда определялась при помощи алгоритма поиска точек бифуркации, предложенного в работе [9]. Подобная работа на основе

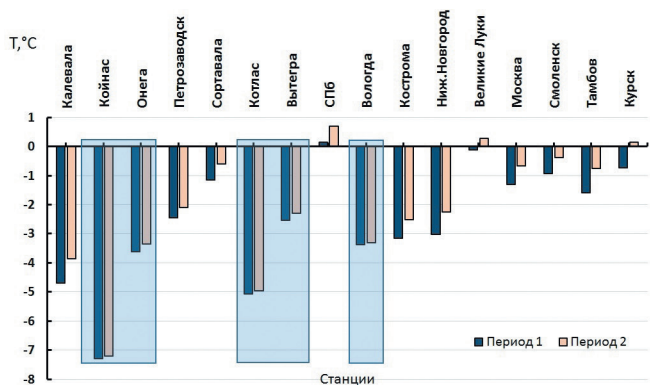


Рис. 2. Среднегодовое месячные температуры воздуха в ноябре за первый (1959—1988 гг.) и второй периоды (1989—2018 гг.).

Синими прямоугольниками обозначены незначимые отклонения температуры.

Fig. 2. Average long-term monthly air temperatures in November for the first (1959—1988) and second periods (1989—2018). Blue rectangles indicate insignificant deviations air temperatures.

данного метода была проведена для северной части России [13]. Далее рассчитываются параметры математической модели — коэффициенты линейного тренда. Оценивается «близость» параметров математической модели при помощи среднеквадратического отклонения тренда от значений временного ряда [9].

Точки бифуркации во временном ряду среднегодовой температуры воздуха за период с 1959 г. по 2018 г. определены для всей области исследования, а также для северной, центральной и южной ее частей (рис. 3).

В северную часть территории входили станции: Калевала, Койнас, Онега, Сортавала, Петрозаводск, Вытегра, Котлас. В центральную часть: Санкт-Петербург, Великие Луки, Смоленск, Вологда, Кострома, Нижний Новгород, Москва. При расчете точки бифуркации в южной части к станциям Тамбов, Курск для анализа дополнительно были введены станции Астрахань, Ростов-на-Дону, Волгоград.

Для всей ЕТР (рис. 3 а) точка бифуркации приходится на 1986—1987 гг. Для северной части ЕТР смена климатических процессов наступила в 1961—1962 гг. В центральной части — в 1986—1987 гг. В южной части — в 1974—1975 гг.

Возможно, причина таких отличий связана с изменчивостью региональных высотных фронтальных зон, которая может влиять на колебания атмосферных процессов над территорией исследования и, соответственно, на изменение термического режима [14].

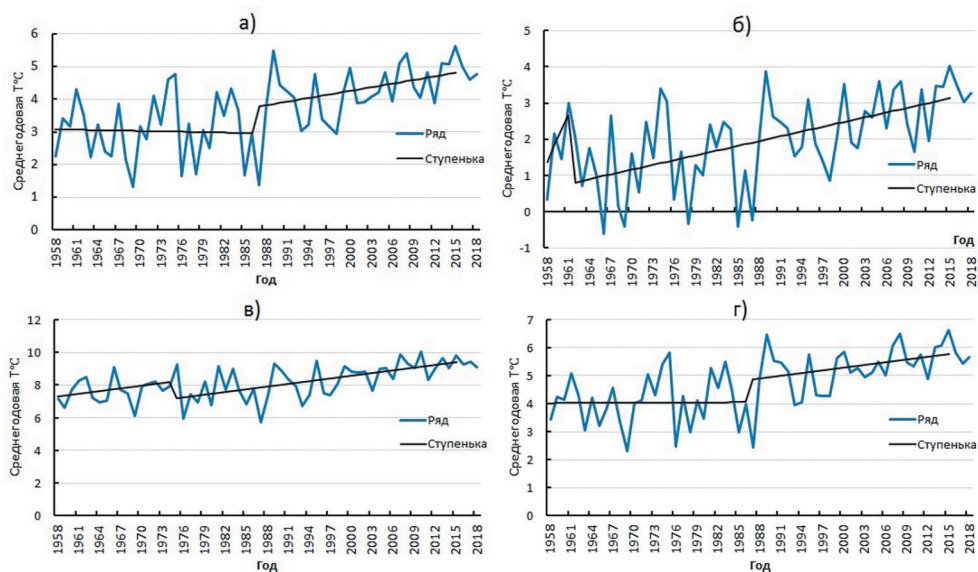


Рис. 3. Межгодовая изменчивость температуры воздуха для отдельных частей исследуемого региона с указанием положения точек бифуркации:

а) вся область исследования, б) северная часть, в) южная часть, г) центральная часть.

Fig. 3. Interannual variability of air temperature for individual parts of the research region, indicating the position of bifurcation points:

a) the entire research area, b) the northern part, c) the southern part, d) the central part.

Анализ условий формирования аномального термического режима осени на Европейской территории России

Обратимся к табл. 2, в которой представлено число дней с аномально высокими и низкими значениями среднесуточной температуры воздуха за два периода. Можно видеть, что количество аномально теплых дней и аномально холодных дней за два периода изменилось незначительно. Однако во втором периоде, особенно начиная с 90-х годов XX века, наблюдается повышение значений температуры, относящихся к градации «ЗВС» и «ЗНС».

Таблица 2

Число аномально теплых и аномально холодных дней осеннего периода
Frequency of anomalously warm and anomalously cold days in autumn

Период, годы	Аномально теплые дни, кол-во	Аномально холодные дни, кол-во
1959—1988 гг.	4583	5145
1989—2018 гг.	4574	5126
Изменение	-9	-19

Анализ синоптической ситуации проводился для тех случаев, когда аномальные значения среднесуточной температуры воздуха наблюдались на большей части области исследования, т. е. более, чем на 50 % станций. Было выявлено 223 случая. На рис. 4 представлена типовая синоптическая ситуация, наиболее характерная для аномально теплых дней осени.

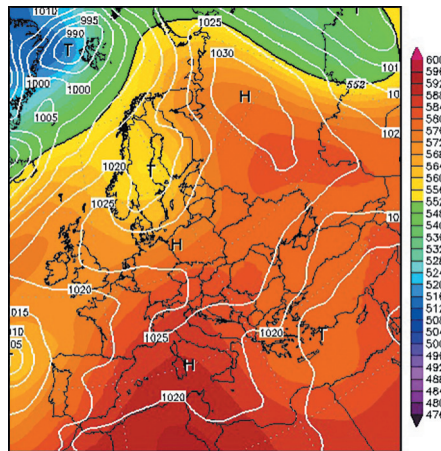


Рис. 4. Синоптическая ситуация (АТ-500+MLSP), характерная для аномально теплых дней осени на примере 01.10.2007.

Черная изолиния — ПВФЗ. Белые изолинии — давление над уровнем моря.
Шкала справа — высота поверхности АТ-500 в Гп.дам.

Fig. 4. Synoptic situation for abnormally warm days in autumn 10/01/2007 (AT-500+MLSP).

Black isoline — high altitude frontal zone. White isolines — pressure above sea level.
The scale on the right is the height of the AT-500 surface in gp.dam.

На рис. 4 видно, что область исследования находится в малоградиентном поле повышенного давления. При этом отмечается нестандартное положение планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ), представленной на рисунке черной изогипсой, которая расположена более чем на 1500 км севернее ее среднесезонного положения [15]. На высоте 5 км циркулирует тропический теплый воздух, поэтому территория исследования находится под влиянием аномально теплых воздушных масс.

На рис. 5 представлена характерная синоптическая ситуация для аномально холодных дней осеннего сезона. Рассматриваемая область находится в ложбине арктического циклона, расположенного севернее Новой Земли, ПВФЗ сместилась далеко на юг. Затоки воздушных масс наблюдаются с Баренцева моря [16], где был выявлен очаг холода, влияющий на формирование аномально холодной погоды над регионом исследования.

Наиболее интересные синоптические ситуации наблюдаются в ноябре. На некоторых станциях (Великие Луки и Курск) во втором периоде среднемесячная температура перешла через 0 °С в сторону слабоположительных значений. Циркуляционный режим этого месяца также представляет интерес, так как похожая синоптическая ситуация в одном случае может вызвать аномальное тепло, в другом — аномальный холод.

В первом случае область исследования находится под влиянием центральной и восточной периферий стационарного антициклона с центром над Псковской областью, его приземный и высотный центры совпадают (например, 10.11.2003).

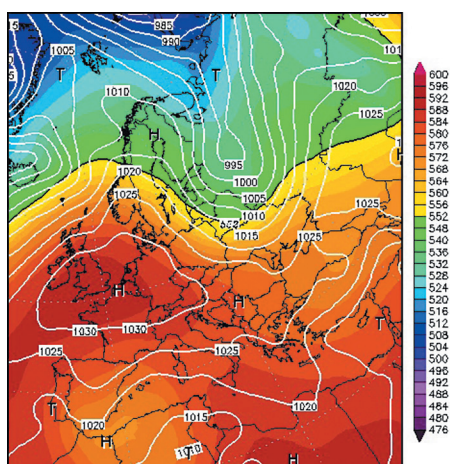


Рис. 5. Синоптическая ситуация (AT-500+ MLSP), характерная для аномально холодных дней осенью на примере 30.09.1986.

Черная изолиния — ПВФЗ. Белые изолинии — давление над уровнем моря.

Шкала справа — высота поверхности AT-500 в Гп.дам.

Fig. 5. Synoptic situation for anomalously cold days in autumn 09/30/1986 (AT-500+MLSP).

Black isoline — high altitude frontal zone. White isolines — pressure above sea level.

The scale on the right is the height of the AT-500 surface in gp.dam.

В этом случае антициклон имеет Азорское происхождение, ПВФЗ находится значительно выше своего среднесезонного положения. На карте АТ–850 вся территория находится под влиянием гребня тепла, при котором устанавливаются аномально высокие значения среднесуточной температуры воздуха.

В случае с аномальным холодом область исследования находится под влиянием центральной и северной периферий антициклона, расположенного над всей ЕТР (например, 11.11.1993). Особенность данного арктического антициклона состоит в том, что он смещался не с юго-запада, как предыдущий, а с севера. При таких траекториях в конце осени антициклон может принести морозную погоду, а потоки холодных воздушных масс с востока являются дополнительным фактором охлаждения воздуха. Аномально холодная погода наблюдалась в центральной части области исследования.

Анализ среднемесячных значений температуры воздуха весной на Европейской территории России

Для весеннего периода также были рассчитаны и проанализированы среднемесячные значения температуры воздуха в период с 1959 г. по 2018 г. Выявлено, что для всех станций характерно увеличение среднемесячных значений температуры воздуха в целом для весеннего периода. В марте в среднем температура воздуха увеличилась на 1,7 °С. Однако наибольшие изменения претерпела южная часть исследуемой области, повышение температуры воздуха для нее в среднем составило 2,4 °С. В апреле зафиксировано равномерное изменение среднемесячной температуры воздуха для всех станций. Увеличение на всей территории составило 1,4 °С. В марте и апреле изменения статистически значимы для всех 16 станций, в мае — для 15 станций. В табл. 3 представлены все станции со статистически значимыми (полужирный курсив) и незначимыми изменениями среднемесячной температуры воздуха весеннего сезона.

Таблица 3

Статистическая оценка значимости изменений среднемесячной температуры воздуха весеннего сезона за период с 1989 г. по 2018 г. по сравнению с периодом с 1959 г. по 1988 г. (Δt)*

Statistical assessment of the significance of changes in the average monthly air temperature of the spring season for the period 1989—2018 compared to 1959—1988 (Δt)

	Калевала	Койнас	Онега	Сортавала	Петро-ск	Вытегра	Котлас	СПб.	Вел. Луки	Смоленск	Вологда	Кострома	Ниж. Нов.	Москва	Тамбов	Курск
Март																
Δt	1,6	0,9	1,1	1,7	1,1	1,2	1,0	1,5	2,3	2,5	0,8	1,4	1,7	1,8	1,9	2,6
SE	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Апрель																
Δt	1,4	1,6	1,4	1,3	1,3	1,5	1,1	1,6	1,7	1,9	1,1	1,3	1,2	1,3	1,0	1,5
SE	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

	Калевала	Койнас	Онега	Сортавала	Петро-ск	Вытегра	Котлас	СПб.	Вел. Луки	Смоленск	Вологда	Кострома	Ниж. Нов.	Москва	Тамбов	Курск
	Май															
Δt	0,8	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6	0,9	0,7	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,2	0,6
SE	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

* полужирным шрифтом выделены значимые отклонения Δt

Анализ условий формирования аномального термического режима весны на Европейской территории России

Для весны также рассчитано число случаев аномально высоких и аномально низких среднесуточных температур воздуха за первый и второй периоды. Общее число случаев по всей исследуемой области за два периода представлено в табл. 4.

Таблица 4

Число аномально теплых и аномально холодных дней весеннего периода

Frequency of anomalously warm and anomalously cold days in spring

Период, годы	Аномально холодные дни, число	Аномально теплые дни, число
1959—1988 гг.	4952	5695
1989—2018 гг.	5160	5171
Изменение	208	-524

Из табл. 4 видно, что повторяемость дней с аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха растет, а повторяемость дней с аномально высокими значениями температуры воздуха уменьшается. Практически на всей исследуемой территории наблюдается увеличение повторяемости дней с аномально низкими значениями среднесуточной температуры воздуха. Только на станциях Койнас, Котлас, Вологда и Курск число дней с аномально низкой температурой воздуха уменьшается. Кроме того, на всех станциях, исключая Курск, наблюдается уменьшение повторяемости дней с аномально высокими значениями среднесуточной температуры воздуха.

С помощью программы ГИС MapInfo были построены карты пространственного распределения изменения повторяемости аномальных значений среднесуточной температуры воздуха весной (рис. 6). Хотя количество дней с аномально высокими температурами воздуха в общем числе уменьшается, небольшой рост отмечается на юге территории. При этом число аномально холодных дней растет. Максимальный рост повторяемости холода наблюдается в северо-западной и юго-восточной частях области исследования (рис. 6 б). Интересно, что в северо-восточной части области исследования наблюдается сокращение как аномально теплых дней, так и аномально холодных.

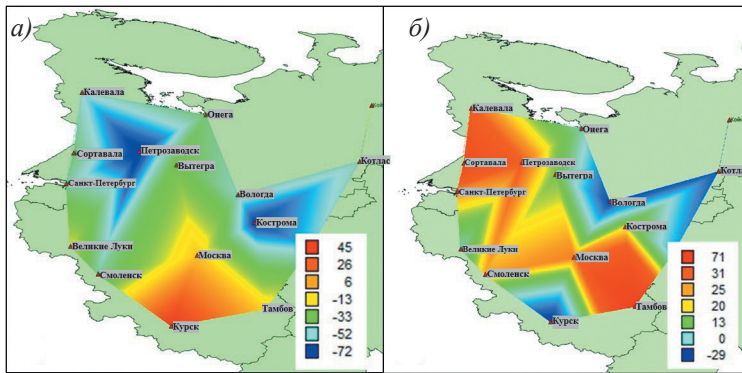


Рис. 6. Пространственное распределение изменения повторяемости anomalously высоких (а) и anomalously низких (б) значений среднесуточной температуры воздуха в течение 1989—2018 гг. по сравнению с 1959—1988 гг. в днях.

Fig. 6. Spatial distribution of frequency change anomalously high (a) and low (b) values of the average daily air temperature.

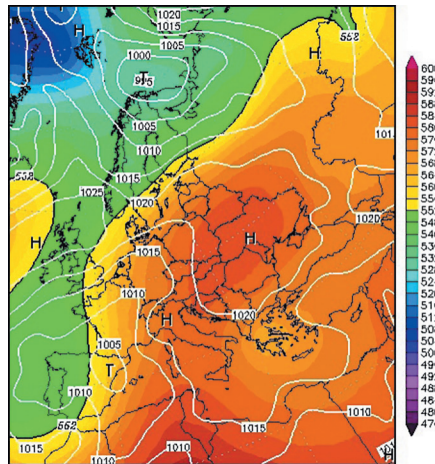


Рис. 7. Синоптическая ситуация (АТ–500+МЛСП), характерная для anomalously теплых дней весной на примере 28.04.2012.

Черная изолиния — ПВФЗ. Белые изолинии — давление над уровнем моря.
Шкала справа — высота поверхности АТ–500 в Гп.дам.

Fig. 7. Synoptic situation typical for anomalously warm days in spring 04/28/2012 (АТ—500+МЛСП).
Black isoline — high altitude frontal zone. White isolines — pressure above sea level.
The scale on the right is the height of the АТ—500 surface in gp.dam.

Рассмотрим типовые синоптические ситуации, для которых характерны anomalously значения среднесуточной температуры воздуха весной. На рис. 7 представлена синоптическая ситуация, характерная для дней с anomalously высокими

значениями среднесуточной температуры воздуха. Рассматриваемая область находится под влиянием малоградиентной восточной периферии антициклона, расположенного над Украиной. Антициклон прослеживается от приземного слоя до высоты 5 километров, его приземный и высотный центры совпадают. Мощные нисходящие движения и отсутствие облачности способствуют дополнительному прогреву воздуха. Воздушные массы над ЕТР максимально прогреты, над всей территорией устанавливаются anomalно высокие значения температуры воздуха.

На рис. 8 представлена синоптическая ситуация, характерная для дней с anomalно низкими значениями среднесуточной температуры воздуха. Погоду над областью исследования определяет перемичка высокого давления, а отсутствие облачности способствует дополнительному выхолаживанию, вследствие чего температура воздуха достигает anomalно низких значений. Отметим, что нами были рассчитаны расстояния между изобарами для малоградиентных барических полей, которые составляли от 530 км до 890 км.

В работе была выявлена интересная синоптическая ситуация, характерная для anomalно теплых дней весной. Над арх. Шпицберген, Норвегией, Великобританией и Северной Европой в тыловой части циклона наблюдается полярное вторжение холодных воздушных масс на высоте 5 км (например, 26.04.2016). Область исследования находится в зоне взаимодействия передней части циклона с центром над Датским проливом и западной периферии обширного антициклона с центром над арх. Новая Земля. Высокоградиентное поле приземного давления

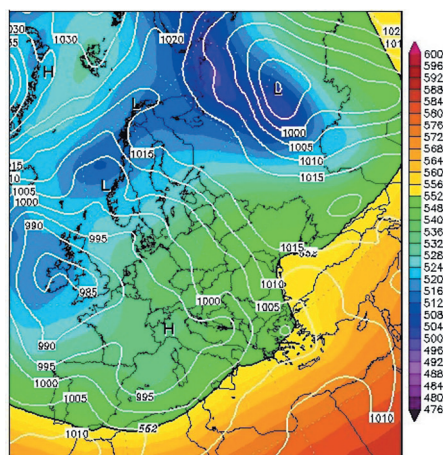


Рис. 8. Синоптическая ситуация (АТ—500+МЛСП), характерная для anomalно холодных дней весной на примере 06.03.2018.

Черная изолиния — ПВФЗ. Белые изолинии — давление над уровнем моря.

Шкала справа — высота поверхности АТ-500 в Гп.дам.

Fig. 8. Synoptic situation typical for anomalно cold days in spring 03/06/2018 (АТ—500+МЛСП).

Black isoline — high altitude frontal zone. White isolines — pressure above sea level.

The scale on the right is the height of the АТ—500 surface in gp.dam.

способствовало усилению адвекции, в результате чего воздушные массы приносят с юго-востока аномальное тепло на ЕТР.

Выявленные в данной работе синоптические ситуации, типичные для формирования аномальных значений температуры воздуха на большей части исследуемой территории, можно использовать в оперативной практике для заблаговременного определения данного опасного метеорологического явления.

Заключение

На исследуемой территории для каждого пункта наблюдается увеличение среднемесячных значений температуры воздуха для осеннего и весеннего периодов. Были определены точки бифуркации в ряде среднегодовой температуры воздуха. На севере смена тренда наступает раньше, чем на юге, а в центральной части позже всего. Можно предположить, что такие изменения связаны с неустойчивым положением полярного и арктического фронтов, которое отмечается при глобальном изменении климата. Осенью повторяемость аномально теплых и аномально холодных дней за весь исследуемый период практически не изменилась. Весной повторяемость аномально холодных дней растёт, а повторяемость аномально теплых дней уменьшается.

В результате пространственного анализа аномального режима температуры воздуха можно заключить, что весной небольшой рост повторяемости аномально теплых дней отмечается на юге территории. Максимальный рост повторяемости аномально холодных дней наблюдается в северо-западной и юго-восточной частях области исследования.

Были выделены характерные синоптические ситуации для аномально холодных и аномально теплых дней весны и осени. В осенний период аномально теплые дни наблюдались под влиянием на область исследования малоградиентного поля высокого давления, при этом положение ПВФЗ смещено более чем на 1500 км севернее ее среднесезонного положения, что может являться неблагоприятным фоном для возникновения аномальных значений температуры воздуха. Также аномально высокая среднесуточная температура воздуха отмечалась при влиянии центральной и восточной периферий стационарных высоких антициклонов, имеющих Азорское происхождение.

В случае аномально холодных дней область исследования находилась под влиянием тыловой части арктических циклонов, при этом наблюдался очаг холода над Баренцевым морем.

Весной аномально теплые дни были зафиксированы на восточной периферии стационарного антициклона с квазивертикальной пространственной осью. Аномально холодные дни отмечались при малоградиентном поле барической седловины, выходящей на Баренцево море.

Список литературы

1. Wiesner S., Eschenbach A., Ament F. Urban air temperature anomalies and their relation to soil moisture observed in the city of Hamburg // *Meteorologische Zeitschrift*. 2014. Vol. 23. P. 143—157. doi: 10.1127/0941-2948/2014/0571.

2. Faccia D., Parker M., Stracca L. Feeling the Heat: Extreme Temperatures and Price Stability // *ECB Working Paper*. 2021. No. 2626. doi: 10.2866/185550.
3. Shulski M., Walsh J., Stevens E., Thoman R. Diagnosis of extended cold-season temperature anomalies in Alaska // *Monthly Weather Review*. 2010. Vol. 138. P. 453—462. doi: 10.1175/2009MWR3039.1.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (дата обращения 15.04.2023).
5. Крышнякова О. С., Малинин В. Н. Особенности потепления климата Европейской территории России в современных условиях // *Общество. Среда. Развитие*. 2008. № 2(7). С. 115—124.
6. Кононова Н. К., Хмелевская Л. В. Многолетние колебания дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов внетропических широт Северного полушария // *Известия РАН. Сер. Геогр.* 2011. № 3. С. 43—62.
7. Алексеева Е. Г., Анискина О. Г. Влияние циркуляции атмосферы на экстремальную температуру воздуха на Северо-Западе России // *Климатические риски и космическая погода: материалы Международной конференции, посвященной памяти Нины Константиновны Кононовой: Иркутск, 14—17 июня 2021 года*. Иркутск: Иркутский государственный университет. 2021. С. 238—242.
8. Frigge M., Hoaglin D. C., Iglewicz B. Some Implementations of the Boxplot // *The American Statistician journal*. 1989. Vol. 43. P. 50—54.
9. Кузнецов А. Д., Сероухова О. С., Симакина Т. Е. Влияние метрик на определение точек бифуркации во временных рядах метеорологических величин // *Гидрометеорология и экология*. 2019. № 59. С. 28—42. doi: 10.33933/2074-2762-2020-59-28-40
10. Suranjana S., Shrinivas M., Hua-Lu P. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2010. Vol. 91. № 8. P. 1015—1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1.
11. Малинин В. Н., Гурьянов Д. А. Межгодовая изменчивость климатических сезонов в Санкт-Петербурге // *Известия Русского географического общества*. 2015. Т. 147. № 5. С. 17—27.
12. Карлин Л. Н., Ефимова Ю. В., Никифоров А. В. Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2005. № 1. С. 22—29.
13. Восканян К. Л., Иванова Т. И., Кузнецов А. Д. и др. Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России // *Гидрометеорология и экология*. 2022. № 67. С. 207—220. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.
14. Разоренова О. А. Климатология высотных фронтальных зон Северного полушария в зимний период // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 1. С. 5—16.
15. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология. Учебник. Л.: Гидрометеоздат. 1991. 612 с.
16. Киселева Е. М., Волобуева О. В. Анализ температурного режима полярных и приполярных областей // *Материалы ежегодной международной научно-практической конференции LXXV Герценовские чтения «География: развитие науки и образования»*. СПб., 2022. С. 130—135.

References

1. Wiesner S., Eschenbach A., Ament F. Urban air temperature anomalies and their relation to soil moisture observed in the city of Hamburg. *Meteorologische Zeitschrift*. 2014;(23):143—157. doi: 10.1127/0941-2948/2014/0571.
2. Faccia D., Parker M., Stracca L. Feeling The Heat: Extreme Temperatures and Price Stability. *ECB Working Paper*. 2021;(2626). doi: 10.2866/185550.
3. Shulski M., Walsh J., Stevens E., Thoman R. Diagnosis of extended cold-season temperature anomalies in Alaska. *Monthly Weather Review*. 2010; (138): 453—462. doi: 10.1175/2009MWR3039.1.
4. Report on the climate features in the Russian Federation for 2020. Available at: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (accessed on 15.04.2023).
5. Kryshnyakova O. S., Malinin V. N. Features of climate warming in the European territory of Russia in modern conditions. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye = Society. Environment. Development*. 2008; 2(7):(115—124). (In Russ.).

6. Kononova N. K., Khmelevskaya L. V. Long-term fluctuations of beginning dates and duration of circulation seasons of extra-tropical latitudes of northern hemisphere. *Izvestiia RAN. Ser: Geografiia = Proceedings RAN. Ser: Geography*. 2011; (3):(43—62). (In Russ.).
7. Alekseeva E. G., Aniskina O. G. The influence of atmospheric circulation on extreme air temperatures in the North-West of Russia. *Klimaticheskiye riski i kosmicheskaya pogoda: materialy Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati Niny Konstantinovny Kononovoy = Climate risks and space weather: proceedings of the International Conference dedicated to the memory of Nina Konstantinovna Kononova*. Irkutsk: Irkutsk State University. 2021:(238—242). (In Russ.).
8. Frigge M., Hoaglin D. C., Iglewicz B. Some Implementations of the Boxplot. *The American Statistician journal*. 1989; 439(1):50—54.
9. Kuznetsov A. D., Seroukhova O. S., Simakina T. E. Influence of Metrics on Determination of Bifurcation Points in Time Series of Meteorological Values. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2020; (59):(28—40). (In Russ.). doi: 10.33933/2074-2762-2020-59-28-40.
10. Suranjana S., Shrinivas M., Hua-Lu P. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2010;91(8):1015—1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1.
11. Malinin, V. N., Guryanov D. A. Interannual variability of climatic seasons in St. Petersburg. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva = News of the Russian Geographical Society*. 2015; 147(5):(17—27). (In Russ.).
12. Karlin L. N., Efimova Yu. V., Nikiforov A. V. Some climatic characteristics of St. Petersburg in the era of global warming. *Scientific notes of the RGGMU = Scientific notes of the RSHU*. 2005;(1):(22—29). (In Russ.).
13. Voskanyan K. L., Ivanova T. I., Kuznetsov A. D. et al. Analysis of the changes of periods of climatic stability in the northern territory of the Russian Federation. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67):(207—220). (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.
14. Razorenova O. A. Climatology of high-altitude frontal zones of the Northern Hemisphere in winter. *Meteorologiya i Gidrologiya = Meteorology and Hydrology*. 2016; (1):(5—16). (In Russ.).
15. Vorobyov V. I. *Synopticheskaya meteorologiya = Synoptic meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991:612 p. (In Russ.).
16. Kiseleva E. M., Volobueva O. V. Analysis of the temperature regime of the polar and subpolar regions. *Materialy yezhegodnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii LXXV Gertsenskiye chteniya «Geografiya: razvitiye nauki i obrazovaniya» = Annual international scientific and practical conference LXXV Herzen readings "Geography: development of science and education*. 2022; (130—135). (In Russ.).

Информация об авторах

Татьяна Романовна Шишкина, синоптик 2 категории Северо-Западное УГМС, специалист по учебно-методической работе Российский государственный гидрометеорологический университет, tana-sakura@mail.ru.

Юлия Викторовна Ефимова, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологических прогнозов, Российский государственный гидрометеорологический университет, luluef@mail.ru.

Ирина Викторовна Лаврова, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологических прогнозов, Российский государственный гидрометеорологический университет, ведущий научный сотрудник, Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, livspb@yandex.ru.

Ирина Александровна Иванова, старший преподаватель кафедры метеорологических прогнозов, Российский государственный гидрометеорологический университет, ira.nova@mail.ru.

Екатерина Петровна Иванова, начальник отдела сопровождения учебного процесса Учебно-методического управления, Российский государственный гидрометеорологический университет, el.ivanova@rshu.ru.

Information about authors

Tatyana Romanovna Shishkina, 2nd category weather forecaster North-West UGMS, specialist in educational and methodological work Russian State Hydrometeorological University.

Yulia Viktorovna Efimova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Meteorological Forecasts Russian State Hydrometeorological University.

Irina Viktorovna Lavrova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Meteorological Forecasts Russian State Hydrometeorological University, leading researcher State Scientific Research Navigation and Hydrographic Institute.

Ivanova Irina Aleksandrovna, senior lecturer of the Department of Meteorological Forecasts, Russian State Hydrometeorological University.

Ekaterina Petrovna Ivanova, Head of the Department for Supporting the Educational Process of the Educational and Methodological Directorate Russian State Hydrometeorological University.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 23.04.2023

Принята к печати после доработки 25.11.2023

The article was received on 23.04.2023

The article was accepted after revision on 25.11.2023