

Оценка аномальности температурного поля Сибирского федерального округа в холодный период года

Е. А. Кочугова^{1,2}✉, А. Э. Труханов^{1,2}

¹Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Российская Федерация
(664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

²Иркутский государственный университет, Российская Федерация
(664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1),

Аннотация. Рассмотрена аномальность температурного поля Сибирского федерального округа (СФО) за многолетний период. Определены тенденции изменения уязвимости территории, обусловленные колебаниями приземной температуры воздуха в холодный период года.

Материалы и методы. Информационной базой послужили ежедневные данные наблюдений за температурой воздуха на 74 метеорологических станциях, расположенных на территории СФО, за период с 1960 по 2020 годы. Для анализа аномальности температурного поля в холодный период года использовался интегральный параметр В.Г. Токарева.

Результаты и обсуждение. Положительные аномалии температуры наблюдаются чаще, чем отрицательные. Повторяемость случаев с интегральным параметром аномальности более 1,6 составляет 3%. Примерно половина из них наблюдалась после 2000 года. Наиболее часто крупная и экстремальная аномальность поля температуры отмечалась в конце зимнего климатического сезона.

Выводы. Климатическая уязвимость СФО к изменениям температуры увеличивается в переходные сезоны.

Ключевые слова: изменения климата, аномалии температуры воздуха, интегральный параметр В.К. Токарева, уязвимость, Сибирский федеральный округ.

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках темы НИР Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН АААА-А21-121012190059-5 «Изучение структурно-функциональной организации геосистем регионов Сибири для планирования устойчивого территориального развития».

Для цитирования: Кочугова Е. А., Труханов А. Э. Оценка аномальности температурного поля Сибирского федерального округа в холодный период года // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с.64-71. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/64-71>

ВВЕДЕНИЕ

Результаты существующих на сегодняшний день климатических сценариев [1-3] определяют необходимость научной работы в области разработки адаптационных мер, обеспечивающих климатическую безопасность государства, региона, отрасли. Наблюдаемое глобальное потепление демонстрирует значительную межгодовую изменчивость температуры. Оценка этой изменчивости, как аспекта климатической системы, имеет большое практическое значение. Причем, с точки зрения влияния изменчивости климата на экономику и население региона наиболее интересны два типа экстремальных явлений: *кратковременные аномалии*, превосходящие определенные пороговые значения (сильная жара

или холод, ливень, смерч и т.д.), и *длительные эпизоды*, в течение которых метеорологическая переменная или комплекс переменных выходит за критический уровень (деградация многолетней мерзлоты, засухи, изменение уровня океана и т.д.). Важным является тот факт, что длительные эпизоды в долгосрочной перспективе способны затронуть значительно большее число людей, чем кратковременные экстремальные аномалии. Следовательно, большее количество людей будет нуждаться в материальной поддержке, возмещении потерь. В тех странах, в том числе в Российской Федерации, где охват населения страхованием низкий или страхование от природных катастроф отсутствует, государство выступает основным гарантом компенсации ущерба. В этой

© Кочугова Е. А., Труханов А. Э., 2023

✉ Кочугова Елена Александровна, e-mail: kochugovae@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

связи исследования, направленные на выявление климатически уязвимых территорий и отраслей, могут служить основой для совершенствования тарифной политики страхования (в зависимости от ожидаемой подверженности риску), сокращения дополнительных издержек, извлечения потенциальных выгод от изменения климата, а также повышения уровня безопасности населения и экономики, приобретают для государства особую актуальность.

Цель данного исследования: оценить уязвимость территории Сибирского федерального округа к воздействию климатических изменений, на основе многолетней динамики параметра аномальности температурного поля в холодный период года.

Сибирский федеральный округ (СФО) занимает примерно четверть площади Российской Федерации. В него входят Красноярский край, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская и Томская области, а также Республики Тыва, Алтай и Хакасия, где проживает более 11 % населения России [8]. Огромная территория округа протянулась с севера на юг на 3566 км, а с запада на восток – на 3420 км. СФО занимает центральную часть России и включает в себя часть Западно-Сибирской равнины, Среднесибирское плоскогорье, горы Южной Сибири и п-ов Таймыр. Север Красноярского края занимают суровые арктические пустыни, а юго-западную часть округа – степь и лесостепь [4]. Сибирский федеральный округ обладает значительным потенциалом развития, особенно в металлургии, топливно-энергетическом комплексе, пищевой, нефтехимической и деревообрабатывающей промышленности. Является важным транспортным узлом, пропускающим основные транзитные потоки из европейской части России в азиатскую. В СФО расположен один из крупнейших в России Ангаро-Енисейский каскад водохранилищ, включающий Саяно-Шушенское, Майнское, Красноярское, Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища.

В настоящее время степень климатической устойчивости СФО снижается, вследствие сравнительно высокой скорости потепления, приводящей к деградации многолетнемерзлотных грунтов на значительной части СФО, роста годового стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана, увеличения частоты и интенсивности опасных природных явлений и прочих факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ природно-климатических угроз и уязвимости исследуемой территории был выполнен на основе данных наблюдений за температурой

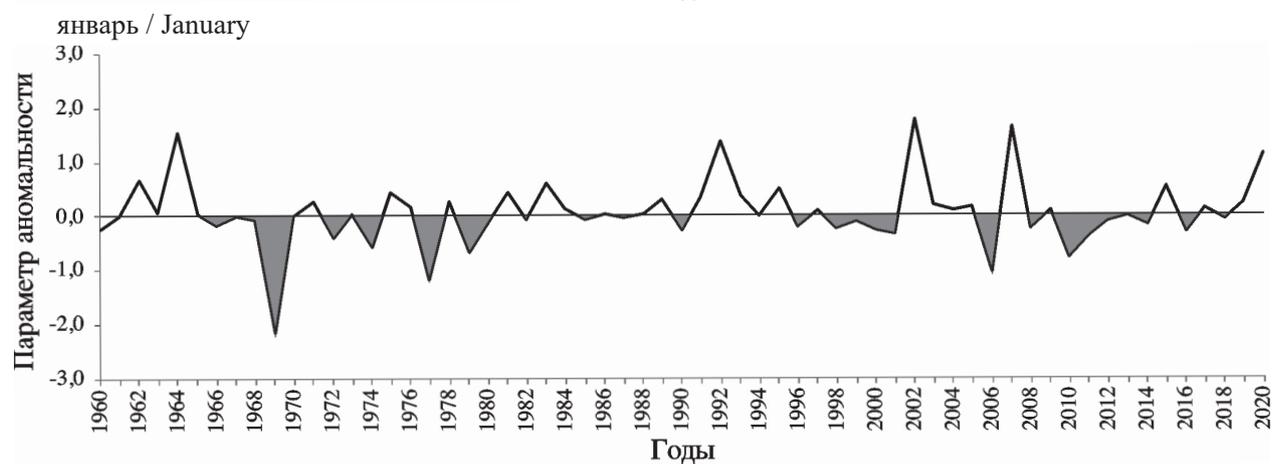
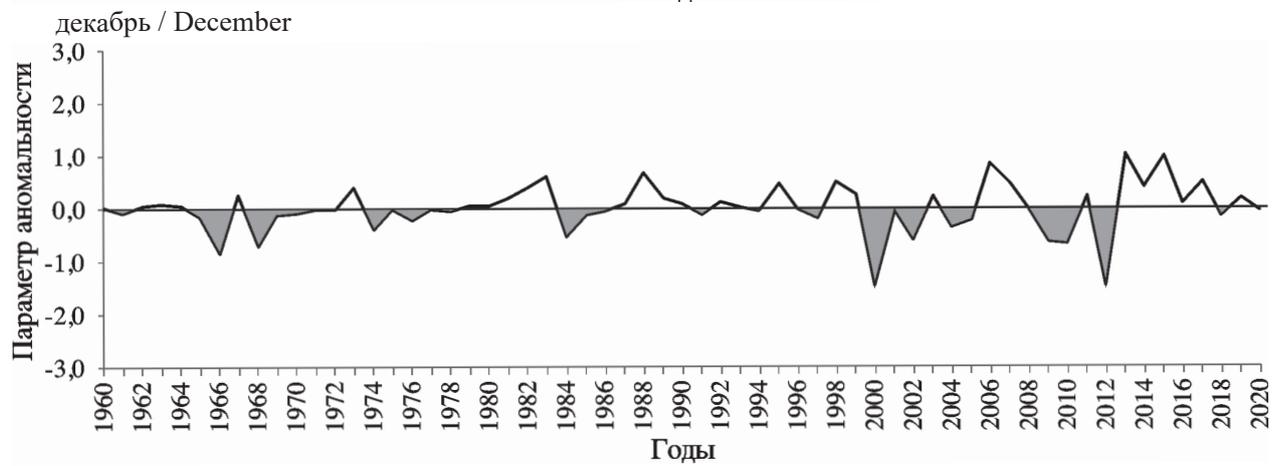
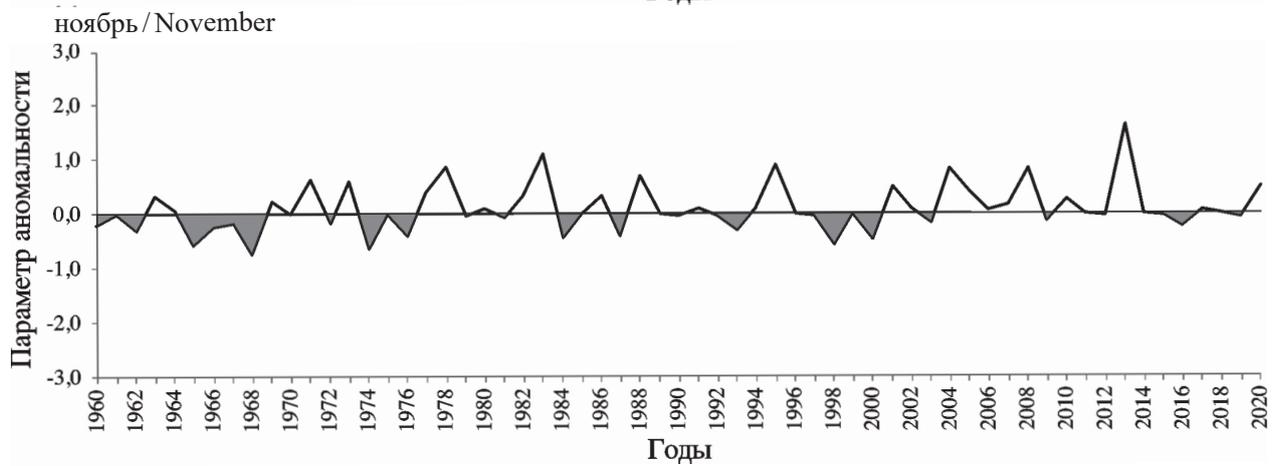
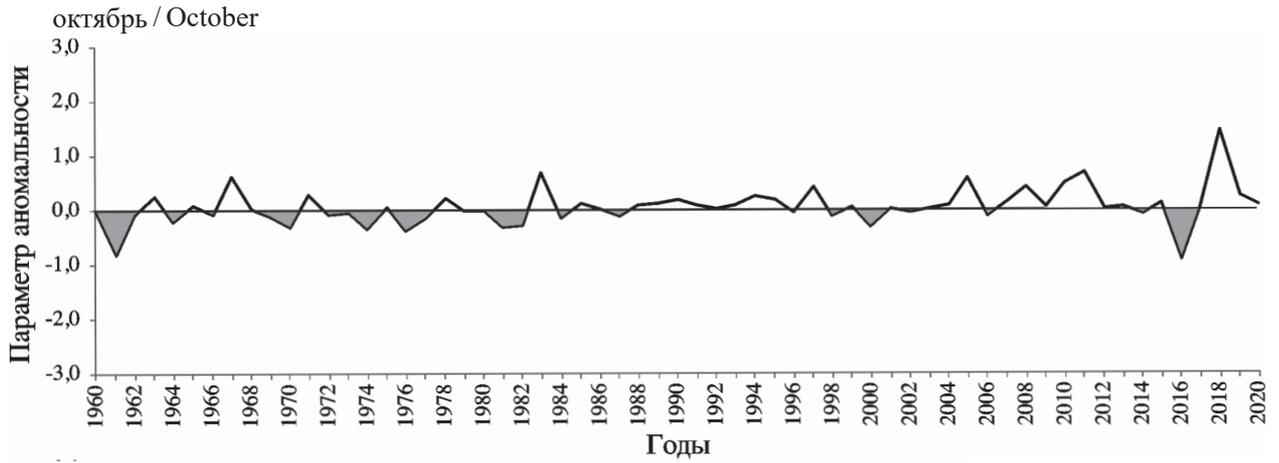
воздуха. На основе архива Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [9] были сформированы временные ряды суточных аномалий температуры воздуха за многолетний период с 1960 по 2020 годы. Под аномалией понимается отклонение средней месячной температуры воздуха от среднего значения, рассчитанного за весь рассматриваемый интервал. Анализ аномалий температуры в холодный период года (октябрь-апрель) был проведен на примере 74 метеорологических станций, расположенных на территории СФО.

На сегодняшний день предложено несколько расчетных формул для оценки аномальности климата. В их числе индекс аномальности зимних месяцев А. Е. Ефановой (1976), комплексные индексы А. В. Попова (1975), Н. А. Багрова (1966) и Б. И. Сазонова (1991), индексы аномальности (САИ) и изменения (ССИ) климата (1998); анализ их достоинств и недостатков подробно представлен в статье [7] и монографии [5]. Общий вид предложенных расчетных формул представляет собой нормированные на среднеквадратические отклонения аномалии температуры воздуха. Этот статистический прием применяется для случайных величин, характеризующихся симметричным распределением, в том числе для температуры воздуха [5].

В данной работе для оценки аномальности поля температуры рассматриваемой территории применялся интегральный параметр В. Г. Токарева [10], который позволил представить временное распределение аномальности температурного поля. Выбор этого параметра в качестве интегральной характеристики аномальности температурного поля обусловлен тем, что в отличие от других индексов он позволяет учитывать не только величину аномальности, но и ее знак. Расчет производился по формуле:

$$K_{\text{и}} = \frac{1}{N + M} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T_i}{\sigma_i} \right)^2 - \sum_{j=1}^M \left(\frac{\Delta T_j}{\sigma_j} \right)^2 \right],$$

где $K_{\text{и}}$ – интегральный параметр аномальности, ΔT_i – положительная аномалия температуры в точке, ΔT_j – отрицательная аномалия температуры в точке, σ_i – среднее квадратическое отклонение в точке с положительной аномалией, N – количество точек с положительной аномалией температуры, σ_j – среднее квадратическое отклонение в точке с отрицательной аномалией, M – количество точек с отрицательной аномалией. Данный параметр удобен для определения возмущенности поля аномалии температуры.



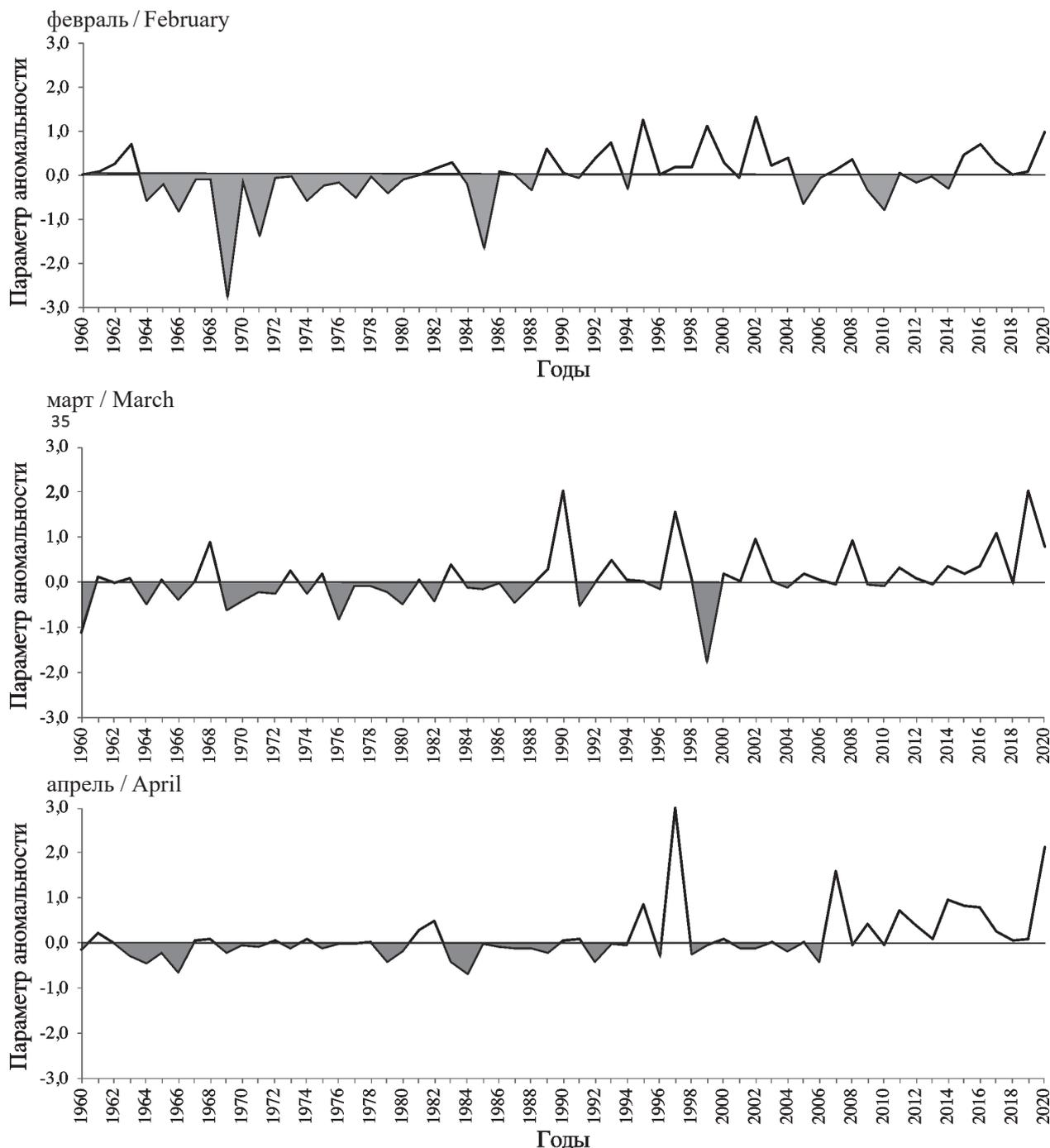


Рис. 1. Многолетняя динамика интегрального параметра аномальности В. Г. Токарева, рассчитанного по данным аномалий температуры воздуха на территории СФО
[Fig. 1. Long-term dynamics of the V. G. Tokarev integral anomaly parameter, which calculated from the data of air temperature anomalies in the Siberian Federal District]

Чаще всего аномальность климата оценивают по данным о температуре или её аномалиям за календарные сезоны года. При значительной изменчивости температуры воздуха крайне редко знаки аномалий температуры во все месяцы сезона совпадают, что снижает устойчивость результатов. Поэтому для повышения устойчивости результа-

тов исследования индекс аномальности был рассчитан для каждого месяца отдельно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для метеорологических станций, расположенных на территории СФО, был рассчитан и построен временной ход интегрального параметра

В.Г. Токарева (рис. 1) для каждого месяца холодного периода с 1960 по 2020 годы. Анализ кривых выявил значительные колебания исследуемого параметра от года к году. За рассмотренный многолетний период значения $K_{и}$ изменяются от -2,7 (март 1969 года) до 3,0 (апрель 1997 года).

Нередко для исследований температурных полей применяют деление на классы. В статье [6] при $|K_{и}| < 0,6$ аномальность считали малой, при $0,6 \leq |K_{и}| < 1,1$ – средней, при $1,1 \leq |K_{и}| < 1,6$ – значительной, при $1,6 \leq |K_{и}| < 2,1$ – крупной и при

$|K_{и}| \geq 2,1$ – экстремальной. Именно этих градаций мы придерживаемся при анализе результатов.

За рассмотренный период положительные аномалии встречаются чаще, чем отрицательные, и их повторяемость составляет 52% от общего числа случаев. При этом крупная и экстремальная аномальность температурного поля наблюдалась только в 3% случаев (табл. 1). Из таблицы хорошо видно, что около половины из них наблюдались, начиная с 2000 года, и более 75% случаев были отмечены после 1990 года.

Таблица 1

Распределение значительных, крупных и экстремальных аномалий поля температуры холодного периода в СФО
 [Table 1. Distribution of significant, large and extreme anomalies in the temperature field of the cold period in the Siberian Federal District]

Аномальность / Anomaly	Месяцы / Months						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
Значительная	2018	2013	2000 2012	1964 1977 1992 2020	1995 1999 2002	1960 1997 2017	–
Крупная	–	2013	–	2002 2007	1985	1999 2019	2007
Экстремальная	–	–	–	1969	1969	1990	1997 2020

На рисунке 2 приведено распределение различных классов положительной и отрицательной аномальности температурного поля на территории СФО за каждый месяц холодного периода. Вероятность классов значительной, крупной и экстремальной аномальности наиболее велика в январе и марте. Значительно реже эти классы аномальности температуры наблюдаются в начале холодного периода (октябрь и декабрь).

Анализируя динамику интегрального параметра аномальности В.Г. Токарева, следует отметить, что его наибольшая изменчивость характер-

на для февраля и апреля. В эти месяцы средние квадратические отклонения $K_{и}$ соответственно равны 0,63 и 0,61, а амплитуды колебаний наибольшие и составляют 4,1 и 3,7.

Возмущенность поля температуры на территории Сибирского федерального округа увеличилась в последние годы, что особенно хорошо выражено в октябре, декабре, марте и апреле (табл. 2). Следует отметить, рост аномальности произошел вследствие увеличения повторяемости положительных аномалий.

Таблица 2

Средние квадратические отклонения интегрального параметра аномальности за различные временные интервалы

[Table 2. Root-mean-square deviations of the integral parameter of anomaly for different time intervals]

Месяцы / Months	Период / Period		
	1960-2020 гг. / 1960-2020	1961- 1990 гг. / 1961-1990	1991-2020 гг. / 1991-2020
X	0,34	0,28	0,37
XI	0,44	0,44	0,45
XII	0,46	0,32	0,58
I	0,62	0,61	0,63
II	0,63	0,66	0,51
III	0,61	0,54	0,65
IV	0,61	0,25	0,76

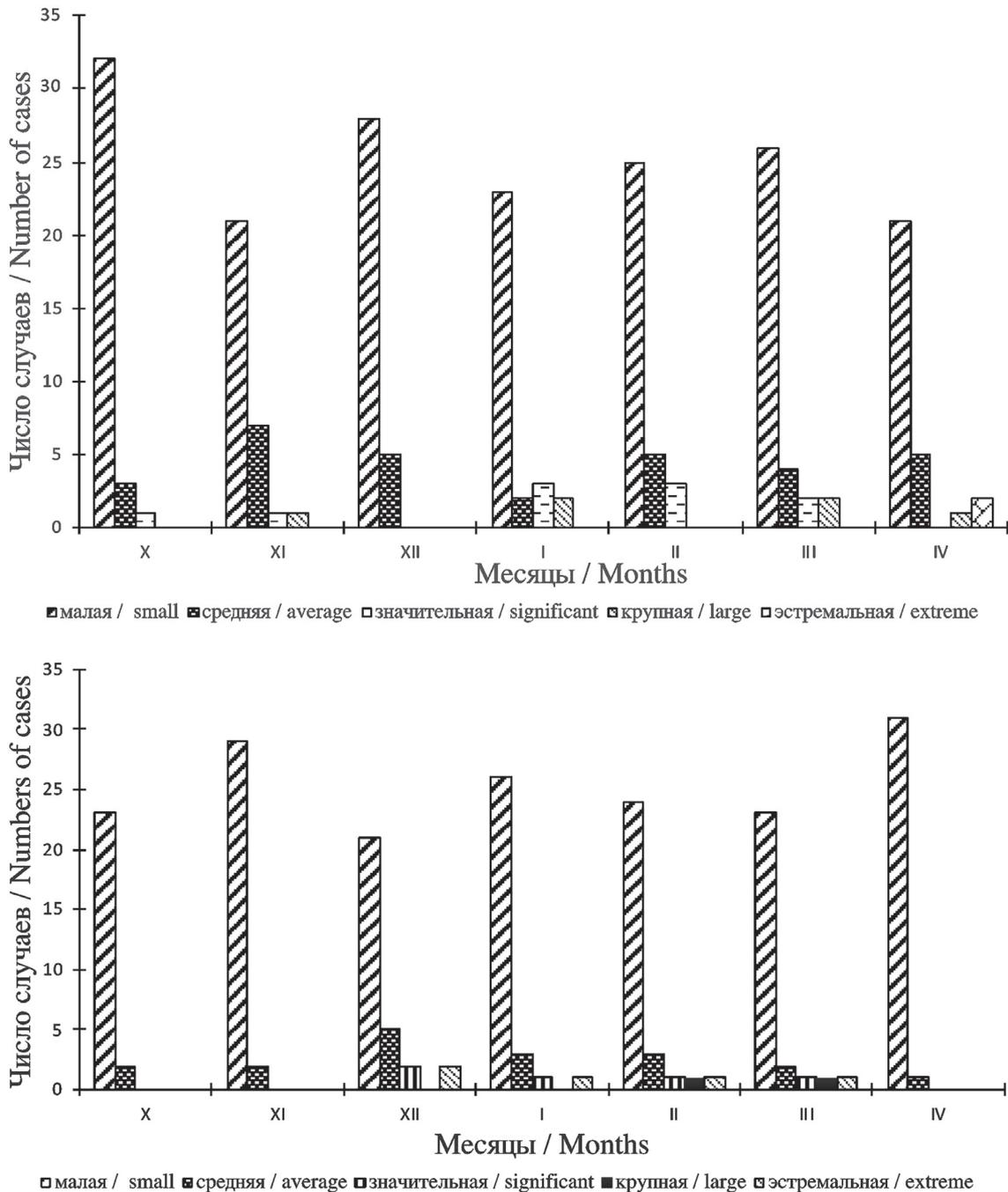


Рис. 2. Распределение положительных (а) и отрицательных (б) аномалий по классам аномальности поля температуры СФО
 [Fig. 2. Distribution of positive (a) and negative (b) anomalies by classes of anomaly in the temperature field of the Siberian Federal District]

В целом во все месяцы холодного периода наблюдается увеличение аномальности поля температуры, что подтверждает выводы отечественных и зарубежных ученых о «раскачке» климатической системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения температуры в отдельные месяцы могут заметно отличаться от среднегодовых, а изменения экстремальных температур – от измене-

ния средних. За рассмотренный период (1960-2020 годы) возмущенность температурного поля СФО в холодный период года растет. Следует отметить увеличение повторяемостей крупного и экстремального класса аномальности температуры начиная с 2000 года, которые чаще фиксировались в конце зимнего сезона (февраль, март). В целом в СФО увеличилась доля положительных аномалий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации / В. М. Катцов, Е. М. Хлебникова, И. М. Школьник, Ю. Л. Рудакова // *Метеорология и гидрология*, 2020, № 5, с. 46-58.
2. Володин Е. М., Грицун А. С. Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5 // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 2020, т. 56, № 3, с. 255-266.
3. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации* / под ред. В. М. Катцова, С. М. Семенова. Москва: Росгидромет, 2014. 1009 с.
4. *География Сибири в начале XXI. Восточная Сибирь. Т. 6* / отв. ред. Л. М. Корытный, А. К. Тулохонов. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2016. 396 с.
5. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. *Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха*. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
6. Климатические изменения на территории России и Республики Беларусь в XX-XXI веках / Ю. П. Переведенцев, П. С. Лопух, Ю. А. Гледко и др. // *XIV Сибирское совещание молодых ученых по климато-экологическому мониторингу*, 2021, с. 42-46.
7. Меццера А. В., Голод М. П. Каталоги аномальности зим на территории России // *Труды ГГО*, 2015, № 579, с. 129-161.
8. *Сибирский Федеральный округ (СФО)*. – URL: <http://council.gov.ru/services/reference/10486/> (дата обращения: 04.04.2022). – Текст: электронный.
9. *Специализированные массивы данных*. – URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 29.11.2021). – Текст: электронный.
10. Токарев В. Г. Об изменчивости и аномальности средней сезонной температуры воздуха в первую половину лета в Западной Сибири // *Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета*, 1983, вып. 59, с. 20-26.

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

Поступила в редакцию 21.06.2022

Принята к публикации 05.06.2023

UDC 551.524(571.5)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/64-71>

Estimation of the Anomaly Temperature Field of the Siberian Federal District in the Cold Period of the Year

Е. А. Kochugova^{1,2}✉, А. Е. Trukhanov^{1,2}

¹*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Russian Federation
(1, Ulan-Batorskaya Str., Irkutsk, 664033)*

²*Irkutsk State University, Russian Federation
(1, K. Marx Str., Irkutsk, 664003)*

Abstract. The anomalous temperature of the field of the Siberian Federal District (SFD) for a long-term period has been identified. Trends in changes of the vulnerability of territory are determined, resulting from surface air temperature oscillations in the cold period of the year.

Materials and methods. The information base was the daily data of observations of air temperature at 74 meteorological stations located on the territory of the Siberian Federal District for the period from 1960 to 2020. Integral parameter by V. G. Tokarev was used for analysis of anomaly temperature field in the cold period of the year.

Results and discussion. Positive temperature anomalies are observed more often than negative ones. Repeatability of cases is 3% with the integral anomaly parameter of more than 1.6. Approximately half of them were observed after 2000. The large and extreme anomaly of the temperature field was noted most frequently at the end of the winter climatic season.

Conclusions. The climatic vulnerability of the Siberian Federal District to temperature changes increases in transitional seasons.

© Kochugova E. A., Trukhanov A. E., 2023

✉ Elena A. Kochugova, e-mail: kochugovae@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Key words: climate change, anomalies of temperature air, Integral parameter by V.G. Tokarev, vulnerability, Siberian Federal District.

Funding: The work was carried out within the research topic of the Institute of Geography. V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the RAS AAA21-121012190059-5 "Study of structural and functional organization of geosystems of the Siberian regions for planning sustainable territorial development".

For citation: Kochugova E. A., Trukhanov A. E. Estimation of the Anomaly Temperature Field of the Siberian Federal District in the Cold Period of the Year. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2023, no. 2, pp. 64-71. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/64-71>

REFERENCES

1. Veroyatnostnoe stsennarnoe prognozirovaniye regional'nogo klimata kak osnova razrabotki adaptatsionnykh programm v ekonomike Rossiyskoy Federatsii [Probabilistic scenario forecasting of the regional climate as the basis for the development of adaptation programs in the economy of the Russian Federation] / V. M. Kattsov, E. M. Hlebnikova, I. M. SHkol'nik, Yu. L. Rudakova. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 5, pp. 46-58. (In Russ.)

2. Volodin E. M., Gritsun A. S. Vosproizvedeniye vozmozhnykh budushchikh izmeneniy klimata v XXI veke s pomoshch'yu modeli klimata INM-CM5 [Reproduction of possible climate changes in the XXI study using INM-CM5 climate models]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 255-266. (In Russ.)

3. *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] / pod red. V. M. Katsova, S. M. Semanova. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1009 p. (In Russ.)

4. *Geografiya Sibiri v nachale XXI. Vostochnaya Sibir'. T. 6* [Geography of Siberia at the beginning of the XXI. Eastern Siberia] / pod red. L. M. Korytnyy, A. K. Tulokhonov. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2016. 396 p. (In Russ.)

5. Gruza G. V., Ran'kova E. Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukh* [Observed and expected climate changes in Russia: air

temperature: monograph]. Obninsk: FGBU «VNIIG-MI-MTsD», 2012. 194 p. (In Russ.)

6. Klimaticheskie izmeneniya na territorii Rossii i Respubliki Belarus' v XX-XXI vekakh [Climatic changes in the territory of Russia and the Republic of Belarus in the XX-XXI centuries] / Yu. P. Perevedentsev, P. S. Lopuh, Yu. A. Gledko i dr. *XIV Sibirskoe soveshchanie molodykh uchenykh po klimato-ekologicheskomu monitoringu*, 2021. pp. 42-46. (In Russ.)

7. Meshcherskaya A. V., Golod M. P. Katalogi anomal'nosti zim na territorii Rossii [Catalogs of anomalous winters in Russia]. *Trudy GGO*, 2015, no. 579. pp. 129-161. (In Russ.)

8. *Sibirskiy Federal'nyy okrug (SFO)*. – URL: <http://council.gov.ru/services/reference/10486/> (accessed 04.04.2022). – Text: electronic. (In Russ.)

9. *Spetsializirovannyye massivy dannykh*. – URL: <http://meteo.ru/data> (accessed 29.11.2021). – Text: electronic. (In Russ.)

10. Tokarev V. G. Ob izmenchivosti i anomal'nosti sredney sezonnoy temperatury vozdukh v pervuyu polovinu leta v Zapadnoy Sibiri [On the Variability and Anomaly of the Average Seasonal Air Temperature in the First Half of Summer in Western Siberia]. *Trudy ZapSibNII Goskomgidrometa*, 1983, vol. 59, pp. 20-26. (In Russ.)

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

Received: 21.06.2022

Accepted: 05.06.2023

Кочугова Елена Александровна
кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и физики околоземного космического пространства географического факультета Иркутского государственного университета; научный сотрудник лаборатории гидрологии и климатологии Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2965-7957, e-mail: kochugovae@mail.ru

Труханов Антон Эдуардович
преподаватель кафедры географии, безопасности жизнедеятельности и методики педагогического института Иркутского государственного университета; аспирант лаборатории гидрологии и климатологии Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3780-4139, e-mail: antontr.meteo.97@gmail.com

Elena A. Kochugova
Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Meteorology and Physics of Near-Earth Space, Faculty of Geography, Irkutsk State University; Researcher at the Laboratory of Hydrology and Climatology, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2965-7957, e-mail: kochugovae@mail.ru

Anton E. Trukhanov
Lecturer at the Department of Geography, Life Safety and Methods, Pedagogical Institute of the Irkutsk State University; Postgraduate student at the Laboratory of Hydrology and Climatology, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3780-4139, e-mail: antontr.meteo.97@gmail.com