

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.138>

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ДЛЯ РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ГОРОДА-КУРОРТА КИСЛОВОДСК

Научная статья

Кешева Л.А.^{1*}, Калов Р.Х.²

¹ORCID : 0000-0002-5132-1563;

²ORCID : 0000-0002-4235-6019;

^{1,2}Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kesheva.lara[at]yandex.ru)

Аннотация

Региональные исследования являются необходимыми фрагментами при построении общей картины климатических изменений. В данной работе на основе многолетних наблюдений (1961-2020 гг.) проведен анализ изменения климатических характеристик: среднедекадной высоты снежного покрова, температуры в приземном слое атмосферы и суммы осадков для города-курорта Кисловодска. По результатам анализа получено превышение среднегодовой температуры на 1,1°C по сравнению с климатической нормой, сумма осадков и среднедекадная высота снежного покрова превысили климатическую норму на 0,8 мм и 0,3 см соответственно. Выявлены экстремальные значения: семь экстремумов среднедекадной высоты снежного покрова, и по одному экстремуму суммы осадков и среднегодовой температуры.

Ключевые слова: среднедекадная высота снежного покрова, температурный режим, режим осадков, регрессионный анализ, скорость изменения, климатическая норма, экстремальные значения.

AN ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE FOR THE RECREATIONAL COMPLEX OF THE RESORT TOWN OF KISLOVODSK

Research article

Kesheva L.A.^{1*}, Kalov R.K.²

¹ORCID : 0000-0002-5132-1563;

²ORCID : 0000-0002-4235-6019;

^{1,2}High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (kesheva.lara[at]yandex.ru)

Abstract

Regional studies are the necessary fragments for constructing a general picture of climatic changes. Based on long-term observations (1961-2020), the following climatic parameters were analysed in this work: average decade snow cover height, temperature in the atmosphere surface layer and precipitation amount for Kislovodsk town-resort. According to the results of the analysis, the average annual temperature exceeded the climatic norm by 1.1 °C, while the amount of precipitation and the average ten-day snow cover exceeded the climatic norm by 0.8 mm and 0.3 cm, respectively. Seven extremes of average ten-day snow cover height and one extremum of precipitation and average annual temperature were identified.

Keywords: decade-average snow cover height, temperature regime, precipitation regime, regression analysis, change rate, climatic norm, extreme values.

Введение

В настоящее время вопросы, связанные с изменением регионального климата, стали выходить за рамки научной проблематики и привлекают к себе внимание не только специалистов. Это связано с тем, что климатические изменения оказывают непосредственное влияние на жизненные потребности населения и экономики. Реальность изменения глобального климата подтверждается в первую очередь данными инструментальных наблюдений. Существует большое количество работ, посвященных анализу и прогнозу изменения глобального климата и климата различных регионов мира на различные периоды времени. Наблюдаемое изменение климата во второй половине 20-го века обнаружилось инструментальными измерениями в первую очередь в увеличении температуры нижней тропосферы над поверхностью земли почти всюду и в среднем для земного шара, это явление получило название «глобального потепления» (термин «глобальное потепление» использовал геохимик Уоллес Брокер в статье, опубликованной в 1975 г.) [1]. По рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) 1976 г. принято считать годом начала глобального потепления (бюллетень Восьмого Всемирного Метеорологического конгресса (30 Апреля-25 Мая 1979 г.; Женева, Швейцария)) [2]. В ежегодных докладах Росгидромета по изменению климата на территории РФ для анализа так же используются периоды времени с 1976 года [3].

Глобальное потепление, вклад естественных и антропогенных причин в беспрецедентное увеличение температуры на земном шаре, является научной проблемой, которая привлекала и привлекает большое внимание исследователей [4], [5], [6]. Имеются две крайние точки зрения на основные причины, вызывающие рост глобальной температуры:

1. Причины естественного происхождения (астрофизические, приводящие к циклическому изменению хода температуры с периодом в десятки и сотни тысяч лет).
2. Причины антропогенного характера (индустриальная деятельность, с/х деятельность, вырубка лесов).

В работе Мони́на А.С., Со́нечкина Д.М. [7] авторы анализируют современные изменения и колебания климата в контексте прошлых изменений. Вариации климата рассматриваются как интегрально нестационарные и локально выглядящие случайными, хаотическими колебаниями в нелинейной климатической системе, находящейся под воздействием меняющихся со временем внешних сил различной природы.

В исследованиях российских ученых Сорохтина О.Г. [8] и Капицы А.П. [9] говорится об обратном эффекте взаимного влияния глобальной температуры и концентрации углекислого газа: не увеличение содержания углекислого газа в атмосфере влияет на повышение температуры воздуха, а наоборот, в результате повышения температуры воздуха в атмосфере становится больше углекислого газа.

Кисловодск является самым южным курортом в группе Кавказских Минеральных Вод. Рельеф города-курорта разнообразен и вместе с лечебными минеральными источниками является одним из главных рекреационных ресурсов территории, и используется для организации лечебных терренкуров, пешеходных и вело-маршрутов. Песчаные и меловые горы, окружающие город, очень красивы и образуют многочисленные террасы, в которых разбросаны пещеры и гроты [10]. Кисловодск сформировался как город-курорт, в том числе из-за своих благоприятных климатических условий. Изучение климата для самого южного курорта в группе Кавказских Минеральных вод необходимо для оценки рекреационного комплекса курорта, для чего в работе было исследовано изменение температурного режима и режима осадков на протяжении длительного времени (последние 60 лет) и характер их изменения с 1976 года.

Методы и принципы исследования

Исследованию изменения климата на европейской территории России посвящено много работ российских ученых. В работах [11], [12] рассматриваются изменения температурного режима и режима осадков на европейской территории России. При исследовании изменения климата города Кисловодска использованы данные временных рядов среднедекадной высоты снежного покрова, температуры в приземном слое атмосферы и атмосферных осадков за период 1961-2020 гг., предоставленные Северо-Кавказским УГМС. Для получения среднегодового ряда снежного покрова усреднялись среднедекадные высоты за 7 месяцев холодного сезона, с октября по апрель, в период 1960/61-2019/20 гг. [13]. Проведен t-тест для определения статистически значимой разницы осредненных температур, сумм осадков и среднедекадной высоты снежного покрова, регрессионный анализ за период 1961-2020 гг., определены среднее значение, стандартное отклонение, максимальные и минимальные значения, а также их размах, экстремальные значения, нормальность распределения, асимметрия и эксцесс. Построены гистограммы и коробчатые диаграммы с экстремальными значениями исследуемых временных рядов с помощью статистического пакета SPSS 21.0 [14].

Основные результаты

Метеостанция Кисловодск расположена в северных предгорьях Большого Кавказа на высоте 819 м н.у.м. Статистические характеристики метеопараметров за период 1961-2020 гг. приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Статистические характеристики метеопараметров за 1961-2020 гг., Кисловодск

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.138.1>

№ п/п	Статистики	Среднедекадная высота снега, см	Температура, °С	Осадки, мм
1	2	3	4	5
1	Среднее (стд. ошибка), x_{cp}	3,5 (0,3)	8,9 (0,1)	648,8 (14,7)
2	Стандартное отклонение	2,6	1,1	113,7
3	Минимум	0,6 (1965/66 гг.)	6,3 (1993 г.)	442 (1994 г.)
4	Максимум	12,5 (1991/92 гг.)	11,1 (2018 г.)	1006 (2002 г.)
5	Размах	11,9	4,8	564
6	Асимметрия	1,6	0,6	0,4
7	Экссесс	2,3	-0,14	0,42
8	Нормальность распределения, при $Sig. \geq 0,05$	0,34	0,73	0,76
9	Климатическая норма (1961-1990гг.), N	3,2	7,8	646
10	t-тест, $x_{cp} = N$ при $Sig. \geq 0,05$	0,45	0,001	0,1
11	Экстремумы	3 экстр. $\geq 7,8$ см	1 экстр. $\geq 11,1$ °С	1 экстр. ≥ 1006 мм
12	Угловой коэффициент тренда, a_1 1961-2020гг.	0,18 см/10 лет	0,32°С/10 лет	-2,1 мм/10 лет
13	Угловой коэффициент тренда, a_2 1976-2020гг.	-0,05 см/10 лет	0,67°С/10 лет	-13,2 мм/10 лет

Из таблицы 1 видно, что осредненное значение среднедекадной высоты снежного покрова в холодные сезоны 1961-2020 гг. составило 3,5 см, минимальное значение высоты снега 0,6 см пришлось на сезон 1965/66 гг., а максимальное значение высоты снега 12,5 см – в 1991/92 гг. Среднее значение высоты снежного покрова $x_{cp}=3,5$ см немного превышало климатическую норму $N=3,2$ см, но оставалось в границах статистического равенства, согласно t-тесту ($Sig. 0,45 > 0,05$).

За период 1961-2020 гг. наблюдался значительный рост среднегодовых температур со скоростью 0,32°С/10 лет, в период 1976-2020 гг. рост среднегодовых температур усилился до 0,67°С/10 лет. Среднее значение температуры 8,9°С (1961-2020 гг.) статистически значимо превысило климатическую норму 7,8°С (на 5% уровне по результатам t-теста, $Sig.=0,001 < 0,05$).

Анализ режима суммы осадков Кисловодска показал, что среднее значение 646,8 мм статистически значимо равно климатической норме 646 мм. По результатам теста Колмогорова-Смирнова годовая сумма осадков имеет нормальную кривую распределения (на 5% уровне $Sig.=0,358 > 0,05$). Коэффициент асимметрии меньше единицы и положителен, то есть имеется небольшое превышение количества лет со значениями выше среднего (рисунок 1).

Скорость изменения годовых сумм осадков имела отрицательную тенденцию в период 1961-2020 гг. ($a_1 = -2,1$ мм/10 лет) и в период 1976-2020 гг. ($a_2 = -13,2$ мм/10 лет).

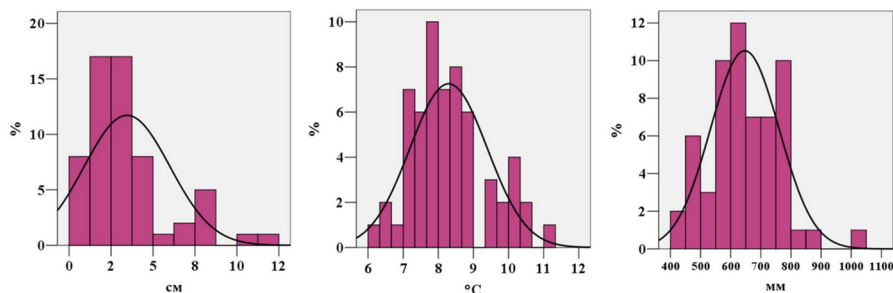


Рисунок 1 - Гистограмма частоты распределения климатических характеристик за 1961-2020 гг:
 а — высота снежного покрова; б — температура; в — сумма осадков
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.138.2>

Следствием изменения климата становятся экстремальные явления, которые можно обнаружить по изменениям в распределении рядов и частоте их появления. Климатический экстремум – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной [15], [16]. При исследовании экстремальности рядов сумм осадков и максимальных суточных строился ранжированный ряд, разбивался на квантили (25%, 50%, 75%) и находилась разница между 75% и 25% квантилями. Значения, превышающие более чем на полторы (три) разницы 75% – 25%-тый квантиль, являются выбросами (экстремумами) [14].

На рисунке 2 приведены коробчатые диаграммы с медианной и экстремальными значениями высоты снежного покрова, среднегодовой температуры и сумм осадков за исследуемый период.

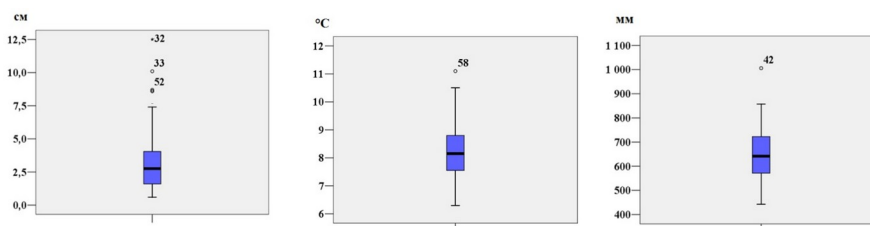


Рисунок 2 - Коробчатая диаграмма с медианой и экстремумами за 1961-2020гг:
 а — высота снежного покрова; б — температура; в — сумма осадков
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.138.3>

Как видно из рисунка 2 имелось три экстремальных значения среднедекадной высоты снежного покрова, превышающих пороговое значение $h=7,8$ см. (в 1992 г. – $h=12,5$ см, в 1993 г. – $h=10,1$ см, в 2012 г. – $h=8,7$ см). Имелось по одному экстремальному значению суммы осадков и температуры приземного воздуха атмосферы, превышающих пороговое значение: в 2002 г. $p=1006$ мм и в 2018 г. $t=11,1^{\circ}\text{C}$.

Заключение

По результатам проведенного t-теста между осредненными значениями (1961-2020 гг.) и климатической нормой (1961-1990 гг.) среднедекадной высоты снежного покрова, среднегодовой температуры и суммы осадков по данным метеостанции Кисловодск выявлено статистически значимое превышение на 5% уровне для среднегодовой температуры ($\text{Sig}.0,001<0,05$); и незначимое превышение климатической нормы для суммы осадков ($\text{Sig}.0,1>0,05$) и среднедекадной высоты снежного покрова ($\text{Sig}.0,45>0,05$).

Наблюдался значительный рост среднегодовых температур со скоростью $0,32^{\circ}\text{C}/10$ лет (1961-2020 гг.) с последующим усилением скорости роста до $0,67^{\circ}\text{C}/10$ лет за период 1976-2020 гг. Положительный долговременный тренд (1961-2020 гг.) среднедекадной высоты снежного покрова изменил свое направление на отрицательный с начала глобального потепления (с 1976 г.). Для суммы осадков имело место уменьшение скорости роста линейных трендов для двух подпериодов.

За весь исследуемый период было выявлено три экстремальных значения среднедекадной высоты снежного покрова и по одному экстремальному значению для среднегодовой температуры и для суммы осадков.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Broecker W.S. Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? / W.S. Broecker // *Science, New Series*. — 1975. — Vol. 189. — 4201. — p. 460-463.
2. Сокращенный отчет с резолюциями. — Женева: Секретариат ВМО, 1979. — 539. — 208 с.
3. Груза Г.В. О современных изменениях климата / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. — URL: <http://climatechange.igce.ru> (дата обращения 17.08.2022)
4. Антропогенные изменения климата / Под ред. М.И. Будыко и Ю.А. Израэля. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 405 с.
5. Мохов И.И. Оценки глобальных и региональных изменений климата в XIX–XXI веках на основе модели ИФА РАН с учётом антропогенных воздействий / И.И. Мохов, П.Ф. Демченко, А.В. Елисеев и др. // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. — 2002. — Т. 38. — 5. — с. 629-642.
6. Денисов С.Н. Вклад естественных и антропогенных эмиссий CO₂ и CH₄ в атмосферу с территории России в глобальные изменения климата в XXI веке / С.Н. Денисов, А.В. Елисеев, И.И. Мохов // *Доклады Академии наук*. — 2019. — Т. 488. — 1. — с. 74-80.
7. Монин А.С. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы / А.С. Монин, Д.М. Сонечкин. — М.: Наука, 2005. — 192 с.
8. Сорохтин О.Г. Развитие Земли / О.Г. Сорохтин, С.А. Ушаков. — М.: Изд-во МГУ, 2002. — 506 с.
9. Дорофеев О. Андрей Капица: «Ученые поменяли местами причину и следствие» / О. Дорофеев // *Грани.Ру*. — 2001. — URL: <http://grani.ru/society/science/Society/Science/m.3368.html> (дата обращения 18.09.2022)
10. Каменский Э.А. Кисловодск / Э.А. Каменский // Ставрополь. — 1960. — с. 198-201.
11. Крышнякова О.С. К оценке трендов в колебаниях осадков на европейской территории России / О.С. Крышнякова, В.Н. Малинин // *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта*. — 2010. — 1. — с. 64-69.
12. Крышнякова О.С. К анализу трендов в колебаниях температуры воздуха и осадков на Европейской территории России / О.С. Крышнякова, В.Н. Малинин // *Известия РГО*. — 2009. — Т. 141. — 2. — с. 23-30.
13. Kesheva L. A. Analysis of climatic change for the period 1961-2020 according to the Nalchik weather station / L.A. Kesheva, N.V. Teunova // *Proceedings of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration»* (August 4, 2021, Beijing, PRC). — 2021. — p. 228-232. — DOI: 10.34660/INF.2021.82.52.032
14. Бююль А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П. Цефель. — СПб.: ДиаСофтЮП, 2002. — 608 с.
15. Филд К.Б. Доклад Рабочих I и II Межправительственной группы экспертов по изменению климата / К.Б. Филд, В.Баррос, Т.Ф. Стокер и др. // МГЭИК. 2012 г.: Резюме для политиков Специального доклада по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата. — Кембридж; Нью-Йорк. — 19 с.
16. Глоссарий терминов. МГЭИК. 2001.: Специальный доклад Рабочей группы III МГЭИК / Под ред. Б. Метца, О.Р. Дэвидсона и др. — Кембридж; Нью-Йорк: Издательство Кембриджского университета. — 466 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Broecker W.S. Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? / W.S. Broecker // *Science, New Series*. — 1975. — Vol. 189. — 4201. — p. 460-463.
2. Sokrashchennyj otchet s rezolyuciyami [Abridged report with resolutions]. — Geneva: WMO Secretariat, 1979. — 538. — 208 p. [in Russian]
3. Gruzha G.V. O sovremennyh izmeneniyah klimata [On modern climate change] / G.V. Gruzha, E.Ya. Rankova. — URL: <http://climatechange.igce.ru> (accessed 17.08.2022) [in Russian]
4. Antropogennyye izmeneniya klimata [Anthropogenic climate change] / Ed. by M.I. Budyko and Yu.A. Israel. — L.: Gidrometeoizdat, 1987. — 405 p. [in Russian]
5. Mokhov, I.I. Ocenki global'nyh i regional'nyh izmenenij klimata v XIX–XXI vekah na osnove modeli IFA RAN s uchyotom antropogennyh vozdeystvij [Estimates of global and regional climate changes in the 19th–21st centuries based on the IFA RAS model taking into account anthropogenic impacts] / I.I. Mokhov, P.F. Demchenko, A.V. Eliseev et al. // *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Proc. RAS. Physics of the atmosphere and ocean]. — 2002. — Vol. 38. — 5. — p. 629-642. [in Russian]
6. Denisov S.N. Vklad estestvennyh i antropogennyh emissij CO₂ i CH₄ v atmosferu s territorii Rossii v global'nye izmeneniya klimata v XXI veke [Contribution of natural and anthropogenic emissions of CO₂ and CH₄ into the atmosphere from the territory of Russia to global climate change in the 21st century] / S.N. Denisov, A.V. Eliseev, I.I. Mokhov // *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. — 2019. — Vol. 488. — 1. — p. 74-80. [in Russian]
7. Monin A.S. Kolebaniya klimata po dannym nablyudenij. Trojnoy solnechnyj i drugie cikly [Climate fluctuations according to observations. Triple solar and other cycles] / A.S. Monin, D.M. Sonechkin. — М.: Nauka, 2005. — 192 p. [in Russian]
8. Sorokhtin O.G. Razvitie Zemli [Development of the Earth] / O.G. Sorokhtin, S.A. Ushakov. — М.: Publishing House of Moscow State University, 2002. — 506 p. [in Russian]
9. Dorofeev O. Andrej Kapitsa: "Uchenye pomenjali mestami prichinu i sledstvie" [Andrey Kapitsa: "Scientists have reversed cause and effect"] / O. Dorofeev // *Grani.Ru*. — 2001. — URL: <http://grani.ru/society/science/Society/Science/m.3368.html> (accessed 18.09.2022) [in Russian]

10. Kamensky E.A. Kislovodsk / E.A. Kamensky // Stavropol. — 1960. — p. 198-201. [in Russian]
11. Kryshnyakova O.S. K ocenke trendov v kolebaniyah osadkov na evropejskoj territorii Rossii [On the assessment of trends in precipitation fluctuations in the European territory of Russia] / O.S. Kryshnyakova, V.N. Malinin // Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta [Bulletin of the Russian State University named after I. Kant]. — 2010. — 1. — p. 64-69. [in Russian]
12. Kryshnyakova O.S. K analizu trendov v kolebaniyah temperatury vozduha i osadkov na Evropejskoj territorii Rossii [To the analysis of trends in fluctuations in air temperature and precipitation in the European territory of Russia] / O.S. Kryshnyakova, V.N. Malinin // Izvestiya RGO [News of the Russian Geographical Society]. — 2009. — Vol. 141. — 2. — p. 23-30. [in Russian]
13. Kesheva L. A. Analysis of climatic change for the period 1961-2020 according to the Nalchik weather station / L.A. Kesheva, N.V. Teunova // Proceedings of the International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» (August 4, 2021, Beijing, PRC). — 2021. — p. 228-232. — DOI: 10.34660/INF.2021.82.52.032
14. Buyul A. SPSS: iskusstvo obrabotki informacii. Analiz statisticheskikh dannyh i vosstanovlenie skrytyh zakonomernostej [SPSS: the art of information processing. Analysis of statistical data and restoration of hidden patterns] / A. Byuyul, P. Zefel. — St. Petersburg: DiaSoftYUP, 2002. — 608 p. [in Russian]
15. Field K.B. Doklad Rabochih I i II Mezhpripravitel'stvennoj gruppy jekspertov po izmeneniju klimata [Report of Working I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change] / K.B. Field, V. Barros, T.F. Stoker et al. // MGJeIK. 2012 g.: Rezjume dlja politikov Special'nogo doklada po upravleniju riskami jekstremal'nyh javlenij i bedstvij dlja sodejstvija adaptacii k izmeneniju klimata [IPCC. 2012: Summary for Policymakers of the Special Report on Extreme Event and Disaster Risk Management to Promote Climate Change Adaptation]. — Cambridge; New York. — 19 p. [in Russian]
16. Glossarij terminov. MGJeIK. 2001: Special'nyj doklad Rabochej gruppy III MGJeIK [Glossary of terms. IPCC. 2001: IPCC Working Group III Special Report] / Ed. by B. Metca, O.R. Djevidsona et al. — Cambridge; New York: Cambridge University Press. — 466 p. [in Russian]