

РЕГИОНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОДОСБОРА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Л. М. КИТАЕВ¹⁾, И. С. ДАНИЛОВИЧ²⁾, Е. М. АКЕНТЬЕВА³⁾,
И. В. БУЯКОВ²⁾, Г. А. ТЮСОВ⁴⁾

¹⁾Институт географии РАН, пер. Старомонетный, 29, стр. 4, 119017, г. Москва, Россия

²⁾Институт природопользования НАН Беларуси,

ул. Франциска Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь

³⁾Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова,

ул. Карбышева, 7, 194021, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴⁾Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН,
ул. Профессора Попова, 2, 197376, г. Санкт-Петербург, Россия

В целях уточнения существующих оценок крупномасштабных изменений климата проанализированы особенности региональной неоднородности современного метеорологического режима восточной части водосбора Балтийского моря на примере Ленинградской области и близлежащих территорий соседних субъектов Российской Федерации (северная часть региона), а также водосбора Западной Двины в пределах Республики Беларусь (южная часть региона). Для зимнего периода выявлены существенные различия приземной температуры воздуха и водного эквивалента снега (далее – снеготпасы) при сходстве суммарных осадков, более интенсивные межгодовые и многолетние изменения в южной части региона. Общим для региона является наличие значимой корреляции лишь между многолетней динамикой индексов атмосферной циркуляции января – марта и ходом приземной температуры воздуха, а также несущественные различия количества аномальных лет при сходстве амплитуды аномалий. Наибольший вклад в многолетнюю изменчивость снеготпасов повсеместно вносит приземная температура воздуха, что особенно ярко выражено в южной части региона. Переломные точки в многолетнем ходе приземной температуры воздуха на севере и юге региона совпадают, переломные точки в ходе суммарных осадков совпадений

Образец цитирования:

Китаев ЛМ, Данилович ИС, Акентьева ЕМ, Буюков ИВ, Тюсов ГА. Региональная изменчивость средних и экстремальных характеристик современного метеорологического режима восточной части водосбора Балтийского моря. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2022;2:16–29.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-16-29>

For citation:

Kitaev LM, Danilovich IS, Akent'eva EM, Buyakov IV, Tyusov GA. Regional variability of the mean and extreme characteristics of the present meteorological regime of the eastern part of the Baltic Sea catchment. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2022;2:16–29. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-2-16-29>

Авторы:

Лев Михайлович Китаев – кандидат географических наук; старший научный сотрудник лаборатории климатологии.

Ирина Сергеевна Данилович – кандидат географических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории климатических исследований Центра геоэкологии и климатологии.

Елена Марковна Акентьева – кандидат географических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории технической климатологии и стихийных явлений отдела динамической метеорологии и климатологии.

Иван Васильевич Буюков – младший научный сотрудник лаборатории климатических исследований Центра геоэкологии и климатологии.

Григорий Анатольевич Тюсов – кандидат географических наук; научный сотрудник лаборатории динамики растительного покрова Арктики.

Authors:

Lev M. Kitaev, PhD (geography); senior researcher at the laboratory of climatology.

lkitaev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0020-0618-9209>

Irina S. Danilovich, PhD (geography), docent; leading researcher at the laboratory of climate research, Center of Geoecology and Climatology.

irina-danilovich@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6792-7279>

Elena M. Akent'eva, PhD (geography); leading researcher at the laboratory of technical climatology and natural phenomena, department of dynamic meteorology and climatology.

eakentyeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3395-4754>

Ivan V. Buyakov, junior researcher at the laboratory of climate research, Center of Geoecology and Climatology.

buyakov-ivan@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2946-2570>

Grigory A. Tyusov, PhD (geography); researcher at the laboratory of dynamics of the Arctic vegetation cover.

tyusov@binran.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4128-0227>

не имеют. Число аномалий (превышение стандартного отклонения) в многолетних рядах характеристик в северной и южной частях региона отличается мало (9–12 случаев в положительном и отрицательном диапазонах значений) при отсутствии совпадений и сходстве амплитуды аномалий. Диапазон экстремальных пороговых значений (экстремальных процентилей) приземной температуры воздуха на севере региона ниже диапазона экстремальных пороговых значений на юге, вариабельность малых процентилей превышает вариабельность больших; многолетний рост средних значений приземной температуры воздуха сопровождается значимым увеличением малых процентилей в северной части региона и больших процентилей в южной части региона. Экстремальные пороговые значения суммарных осадков и их стандартного отклонения мало меняются по территории; положительные тренды максимальных и отрицательные тренды минимальных пороговых значений невелики, что соответствует тенденции слабого увеличения средних суммарных осадков. Аналогично пространственному распределению средних значений снегозапасов их экстремально малые и большие пороговые значения на севере региона выше, чем на юге; в северной части региона значения процентилей в промежутке 1985–2002 гг. выделяются как наиболее низкие.

Ключевые слова: метеорологические характеристики; индексы атмосферной циркуляции; пространственно-временная изменчивость; многолетнее распределение аномалий; регрессионные зависимости; пороговые экстремумы значений; процентили.

Благодарность. Работа российскими соавторами выполнена в рамках проекта 20-55-00007 Российского фонда фундаментальных исследований (сбор и обработка первичной информации), а также госзадания FMGE-2019-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук. Работа белорусскими соавторами выполнена в рамках проекта X20P-353 «Современные тенденции крупномасштабной атмосферной циркуляции и их проявление в изменении гидротермического режима арктического и балтийского бассейнов Восточно-Европейской равнины» Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

REGIONAL VARIABILITY OF THE MEAN AND EXTREME CHARACTERISTICS OF THE PRESENT METEOROLOGICAL REGIME OF THE EASTERN PART OF THE BALTIC SEA CATCHMENT

L. M. KITAEV^a, I. S. DANILOVICH^b, E. M. AKENT'EVA^c,
I. V. BUYAKOV^b, G. A. TYUSOV^d

^a*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
29 Staromonetny Lane, 4 building, Moscow 119017, Russia*

^b*Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus,
10 Frančyška Skaryny Street, Minsk 220076, Belarus*

^c*Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbysheva Street, Saint Petersburg 194021, Russia*

^d*Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences,
2 Professora Popova Street, Saint Petersburg 197376, Russia*

Corresponding author: L. M. Kitaev (lkitaev@mail.ru)

The features of the regional heterogeneity of the modern meteorological regime are assessed, as a refinement of existing estimates of large-scale climate changes – for the eastern part of the Baltic Sea catchment on the example of the Leningrad Region and nearby territories of neighbouring subjects of the Russian Federation (northern part of the region), as well as the Zapadnaya Dvina catchment within the Republic of Belarus (southern part of the region). Significant differences in surface air temperature and snow water equivalent (hereinafter referred to as snow storage) were revealed for the winter period, with similar precipitation, more intense interannual and long-term changes in the southern part of the region. The common feature for the region is the presence of a significant correlation of the long-term January – March atmospheric circulation indices variability only with the variability of surface air temperature, as well as minor differences in the number of anomalous years with similar anomaly amplitudes. Surface air temperature has the greatest contribution to the long-term variability of snow storage everywhere, which is most pronounced in the south of the region. The turning points in the long-term variability of surface air temperature coincide in the north and south of the region, the turning points in the course of total precipitation do not coincide. The number of anomalies (exceeding the standard deviation) in the long-term series of characteristics in the northern and southern parts of the region differ little (9–12 cases in the positive and negative ranges of values) in the absence of coincidences and the similarity of the amplitude of the anomalies. The range of values of extreme threshold values (extreme percentiles) of surface air temperature in the north of the region is lower than the range of values in the south, the variability of small percentiles exceeds the variability of large ones; the rate of long-term increase in average temperatures is accompanied by a significant increase in small percentiles in the north and large percentiles in the south of the region. The values of extreme threshold values of precipitation and their standard deviation vary little across the territory; positive trends in maximums and negative trends in minimum thresholds are small, consistent with a slight increase in mean total precipitation. According to the spatial distribution of average values of snow storage, the values of their extremely small and large threshold values in the north of the region are higher than in the south; in the north of the region, the values of percentiles in the interval 1985–2002 stand out as the lowest.

Keywords: meteorological characteristics; atmospheric circulation indices; spatiotemporal variability; long-term distribution of anomalies; regression dependencies; boundary extreme values; percentiles.

Acknowledgements. The work by Russian co-authors was carried out within the framework of the project 20-55-00007 of the Russian Foundation for Basic Research (collection and processing of primary information), as well as state assignment FMGE-2019-0009 «Climate change and its consequences for the environment and the life of the population in Russia» of Fundamental Research Program of State Academies of Sciences. The work by Belarusian co-authors was carried out within the framework of the project Kh20R-353 «Modern trends in large-scale atmospheric circulation and their manifestation in the change in the hydrothermal regime of the Arctic and Baltic basins of the East European Plain» of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.

Введение

Продолжающееся на территории Восточно-Европейской равнины потепление в зимний период года выражается в значимых тенденциях повышения приземной температуры воздуха, небольшом увеличении осадков, стабилизации или снижении в отдельных районах водного эквивалента снега (далее – снегозапасы). Это приводит к заметной трансформации гидрологического режима, в частности водности и годового хода стока рек. Имеющиеся в настоящее время оценки крупномасштабных изменений гидрометеорологического режима (см., например, [1–4]) должны дополняться результатами исследований региональной изменчивости компонентов природной среды (для средних, модальных и экстремальных значений характеристик) [5–7]. Так, авторами были детализированы результаты исследований Воронежского государственного университета, связанные с влиянием растительности на распределение снегозапасов [8; 9]: для локального пространственного уровня (центр Восточно-Европейской равнины) определены детальные различия формирования снегозапасов на участках с разными типами растительных сообществ, не учитываемые сегодня при региональных и крупномасштабных оценках залегания снежного покрова [10; 11]. Выявленные рядом исследователей тенденции в изменении водности рек Республики Беларусь в условиях современного климата [7; 12–14] позволяют уточнить особенности гидрометеорологического режима Восточно-Европейской равнины в целом. Проведенная ранее оценка региональных закономерностей взаимосвязи сезонного и многолетнего хода приземной температуры воздуха, снегозапасов и температуры почвы для Восточно-Европейской равнины базировалась на результатах экспериментальных исследований взаимодействия указанных характеристик на локальном уровне (Московская и Тверская области) [15]. Оценка изменений гидрометеорологических характеристик проводится в основном стандартными методами математической статистики с использованием по мере необходимости геоинформационных технологий. В качестве исходной информации выступают данные наземных измерений, реанализов и результаты спутниковых наблюдений.

С учетом вышеизложенного основная цель настоящей работы состоит в оценке неоднородности метеорологических условий в восточной части водосбора Балтийского моря на примере территорий Республики Беларусь и Российской Федерации для холодного сезона года (ноябрь – март).

Материалы и методы исследования

Выбранный для исследований регион характеризуется равнинным рельефом, сформировавшимся в постгляциальное время, плавным переходом от растительных сообществ южной тайги к сообществам смешанных лесов, также формировавшихся в послеледниковую эпоху в зоне влияния атлантических воздушных масс. Основным показателем состояния водных ресурсов региона является их принадлежность к водосбору Балтийского моря, а также превалирующая значимость весеннего половодья в годовом водном балансе речного стока. Исследование метеорологических характеристик проводится путем сравнительной оценки их изменчивости в пределах Ленинградской области и прилегающих территорий соседних субъектов Российской Федерации (далее – северная часть региона), а также водосбора Западной Двины в Республике Беларусь (далее – южная часть региона). Исследуемые районы располагаются в границах 56–62° с. ш., 26–36° в. д. и 53–56° с. ш., 25–31° в. д., расстояние между условными центрами территорий составляет 6° по широте, или около 670 км с севера на юг, что дает возможность определить масштаб изменений климатических характеристик для регионального пространственного уровня.

В качестве исходной информации использованы данные инструментальных наблюдений на десяти метеорологических станциях в северной части региона и восьми метеорологических станциях в южной части региона. Их расположение показано на рис. 1. Выбор в качестве исследуемого периода 1966–2019 гг. обусловлен наличием непрерывных рядов суточных значений приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков для холодного сезона (ноябрь – март), а также максимальных снегозапасов как интегрального показателя интенсивности снегонакопления. Для выявления тесноты связи между многолетним ходом характеристик и особенностями атмосферной циркуляции привлекались данные о многолетней динамике индексов североатлантической осцилляции (*North Atlantic oscillation*, NAO) и скандинавской осцилляции (*Scandinavian oscillation*, SCAND) (www.cpc.ncep.noaa.gov/data/) [16].

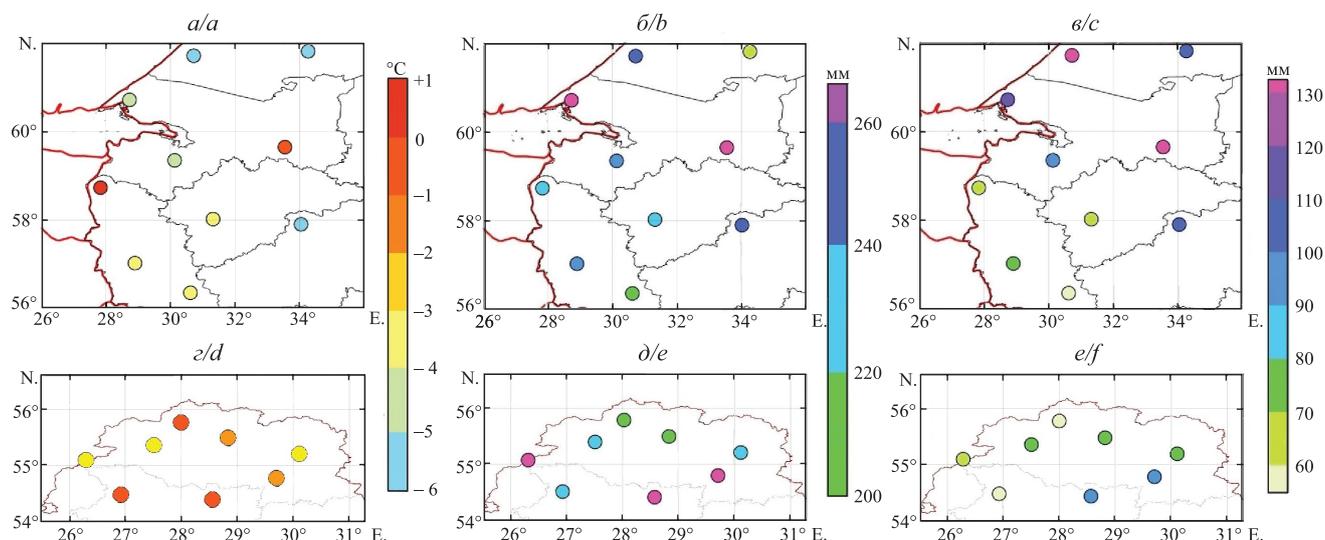


Рис. 1. Пространственное распределение среднеголетних значений приземной температуры воздуха (а, д), суммарных осадков (б, е), снегов запасов (в, е) в северной (а – в) и южной (д – е) частях региона

Fig. 1. Spatial distribution of the mean annual values of surface air temperature (a, d), total precipitation (b, e), snow storage (c, f) in the northern (a – c) and in the southern (d – f) parts of the region

Неоднородность метеорологических условий региона

Как следует из табл. 1, в южной части региона приземная температура воздуха зимнего периода в 1,8 раза выше, чем в северной (–1,9 и –3,4 °С соответственно). При почти равных суммах осадков (224 и 216 мм) среднеголетние снегов запасы на севере (93 мм) практически в 2 раза больше снегов запасы на юге (50 мм). Стандартное отклонение многолетних рядов всех характеристик рассматриваемых территорий различается мало, тогда как коэффициенты линейного тренда приземной температуры воздуха (0,552 °С за 10 лет) и суммарных осадков (5,235 мм за 10 лет) в северной части региона превышают соответствующие коэффициенты линейного тренда (0,521 °С за 10 лет и 3,354 мм за 10 лет) в южной части региона в 1,1 и 1,6 раза при отсутствии значимых тенденций для снегов запасы (см. табл. 1). Связь многолетней вариабельности приземной температуры воздуха в северной и южной частях региона значима на уровне 95 % (коэффициент корреляции равен 0,93). Коэффициент корреляции многолетнего хода суммарных осадков на севере и юге невысок, но также значим (0,499). Корреляция между многолетним ходом снегов запасы в северной и южной частях региона незначима.

Таблица 1

Изменчивость метеорологических характеристик холодного сезона

Table 1

Variability of meteorological characteristics of the cold season

Территория	Приземная температура воздуха, °С			Суммарные осадки, мм			Снегов запасы, мм			Индекс NAO			Индекс SCAND		
	S	σ	K	S	σ	K	S	σ	K	S	σ	K	S	σ	K
Северная часть региона	–3,4	1,61	0,552	224	25,11	5,235	93	24,7	3,692	0,230	0,586	0,132	0,503	–0,303	–0,051
Южная часть региона	–1,9	1,74	0,521	216	24,10	3,354	50	29,2	–2,794						

Примечания: 1. Используемые обозначения: S – среднееголетнее значение; σ – стандартное отклонение; K – коэффициент линейного тренда за 10 лет. 2. Полу жирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Среднееголетние значения приземной температуры воздуха и снегов запасы изменяются в пространстве согласно зональным закономерностям, увеличиваясь и снижаясь с севера на юг соответственно (см. рис. 1). Величины стандартного отклонения и коэффициенты линейного тренда незначительно возрастают с юга на север. Диапазон пространственных изменений среднееголетних значений

приземной температуры воздуха, суммарных осадков и снегозапасов составляет $-6,1 \dots +0,3$ °C, 188–274 и 63–132 мм соответственно в северной части региона и $-3,4 \dots +3,0$ °C, 198–254 и 41–79 мм соответственно в южной части региона. Величины стандартного отклонения изменяются в пределах 1,2–2,5 °C, 32,4–51,1 и 30,4–52,6 мм на севере региона и в пределах 1,3–2,7 °C, 33,2–55,4 и 22,9–40,1 мм на юге региона. Размах значений коэффициентов линейного тренда лежит в границах 0,02–0,07 °C за 10 лет, $-0,19 \dots +1,46$ мм за 10 лет и $-1,31 \dots +4,10$ мм за 10 лет на севере региона и в границах 0,04–0,06 °C за 10 лет, $-0,77 \dots +1,47$ мм за 10 лет и $-0,21 \dots -0,71$ мм за 10 лет на юге региона.

Изменения характеристик происходят на фоне положительного тренда индекса NAO (0,132 за 10 лет при среднемноголетней величине 0,230 и стандартном отклонении 0,526) и отсутствия значимой тенденции изменения индекса SCAND (при среднемноголетней величине 0,503 и стандартном отклонении 0,303) для осреднения за ноябрь – март в период 1966–2019 гг. Слабая, но значимая корреляционная связь многолетней динамики среднемесячных индексов прослеживается только в отдельные месяцы для хода приземной температуры воздуха: в январе, феврале (индекс NAO составляет 0,45 и 0,52 соответственно) и марте (индекс SCAND равен $-0,38$) на севере региона и в январе (индекс NAO составляет 0,39) и марте (индекс SCAND равен $-0,34$) на юге региона.

Как показал регрессионный анализ, многолетняя изменчивость максимальных снегозапасов повсеместно зависит прежде всего от хода приземной температуры воздуха и в меньшей степени от хода суммарных осадков: для северной части региона при общем коэффициенте регрессии 0,566 бета-коэффициенты составляют $-0,451$ и $0,271$ соответственно, для южной части региона при общем коэффициенте регрессии 0,743 бета-коэффициенты равны $-0,595$ и $0,223$ соответственно. Коэффициенты регрессии для отдельных метеорологических станций приведены в табл. 2. Здесь прослеживается явное превышение общих коэффициентов регрессии на юге над общими коэффициентами регрессии на севере региона ($0,608-0,742$ и $0,425-0,736$ соответственно).

Таблица 2

Регрессионная зависимость многолетнего хода максимальных снегозапасов от изменений приземной температуры воздуха и суммарных осадков холодного сезона

Table 2

Regression dependence of the long-term variability of maximum snow storage on changes in surface air temperature and total precipitation of the cold season

Пункт	Общий коэффициент регрессии	Бета-коэффициенты	
		Вклад приземной температуры воздуха	Вклад суммарных осадков
<i>Северная часть региона</i>			
Выборг	0,425	$-0,275$	0,235
Белогорка	0,593	$-0,398$	0,448
Бологое	0,723	$-0,534$	0,694
Великие Луки	0,521	$-0,619$	0,116
Гдов	0,520	$-0,503$	0,313
Петрозаводск	0,452	$-0,347$	0,275
Пушкинские Горы	0,544	$-0,531$	0,386
Соргавала	0,541	$-0,346$	0,295
Старая Русса	0,606	$-0,423$	0,380
Тихвин	0,736	$-0,615$	0,116
<i>Территория в целом</i>	<i>0,566</i>	<i>$-0,451$</i>	<i>0,271</i>
<i>Южная часть региона</i>			
Барановичи	0,717	$-0,651$	0,259
Верхнедвинск	0,608	$-0,557$	0,524
Витебск	0,673	$-0,619$	0,326
Льнгупы	0,742	$-0,663$	0,237
Сенно	0,662	$-0,494$	0,338
Шарковщина	0,688	$-0,674$	0,255
Гродно	0,677	$-0,629$	0,151
Вилейка	0,633	$-0,547$	0,225
<i>Территория в целом</i>	<i>0,743</i>	<i>$-0,595$</i>	<i>0,223</i>

Примечание. Коэффициенты регрессии значимы на уровне 95 %.

Особенности многолетних изменений приземной температуры воздуха и суммарных осадков дополнительно уточнялись авторами с использованием разностных интегральных кривых (для метеорологических станций, имеющих непрерывные ряды в 1950–2019 гг.). Для этого рассчитывались суммы отклонений модульных коэффициентов от середины ($\sum (K - i)$, где $K - i$ -е значение ряда), для корректного сопоставления колебаний характеристик разных регионов исключалось влияние их временной изменчивости в виде коэффициента вариации (C_v). Таким образом, ординаты кривых вычислялись как $\frac{\sum (K - i)}{C_v}$. В результате были выявлены пространственные различия во времени переломных точек, разделяющих квазиоднородные совокупности значений характеристик (табл. 3, рис. 2). Для приземной температуры воздуха, осредненной по территории северной и южной частей региона, переломная точка наблюдается в 1988 и 1987 гг. соответственно при значениях $-5,5$ и $-5,7$ °С. Переломные точки суммарных осадков имеют значительное несовпадение во времени (1974 г. для северной части региона и 1987 г. для южной части региона при значениях 201 и 162 мм), что может быть связано в том числе с неравномерностью распределения осадков по территории год от года.

Таблица 3

Параметры разностных интегральных кривых характеристик
холодного сезона (1950–2019)

Table 3

Parameters of difference integral curves for characteristics
of the cold season (1950–2019)

Пункт	Значение (год перелома)	
	Приземная температура воздуха, °С	Суммарные осадки, мм
<i>Северная часть региона</i>		
Выборг	-5,8 (1988)	188 (1969)
Белогорка	-7,1 (1988)	182 (1985)
Бологое	-6,8 (1998)	253 (1982)
Великие Луки	-4,1 (1988)	116 (1964)
Гдов	-6,6 (1988)	152 (1972)
Петрозаводск	-2,2 (1988)	162 (1965)
Пушкинские Горы	-7,8 (1988)	244 (1988)
Сортавала	-6,1 (1988)	157 (1989)
Старая Русса	-4,3 (1988)	253 (1984)
Тихвин	-5,8 (1988)	222 (1970)
<i>Территория в целом</i>	<i>-5,5 (1988)</i>	<i>201 (1974)</i>
<i>Южная часть региона</i>		
Барановичи	-5,3 (1987)	162 (1988)
Верхнедвинск	-2,7 (1988)	210 (1987)
Витебск	-6,6 (1987)	215 (1986)
Лынтупы	-3,0 (1988)	228 (1981)
Сенно	-3,0 (1988)	176 (1986)
Шарковщина	-6,1 (1987)	182 (1979)
Гродно	-4,6 (1987)	168 (1982)
Вилейка	-3,1 (1988)	165 (1976)
<i>Территория в целом</i>	<i>-5,7 (1987)</i>	<i>162 (1987)</i>

Примечание. Переломные точки для индексов атмосферной циркуляции: $-17,7$ (1980) для индекса NAO и $+7,0$ (1979) для индекса SCAND.

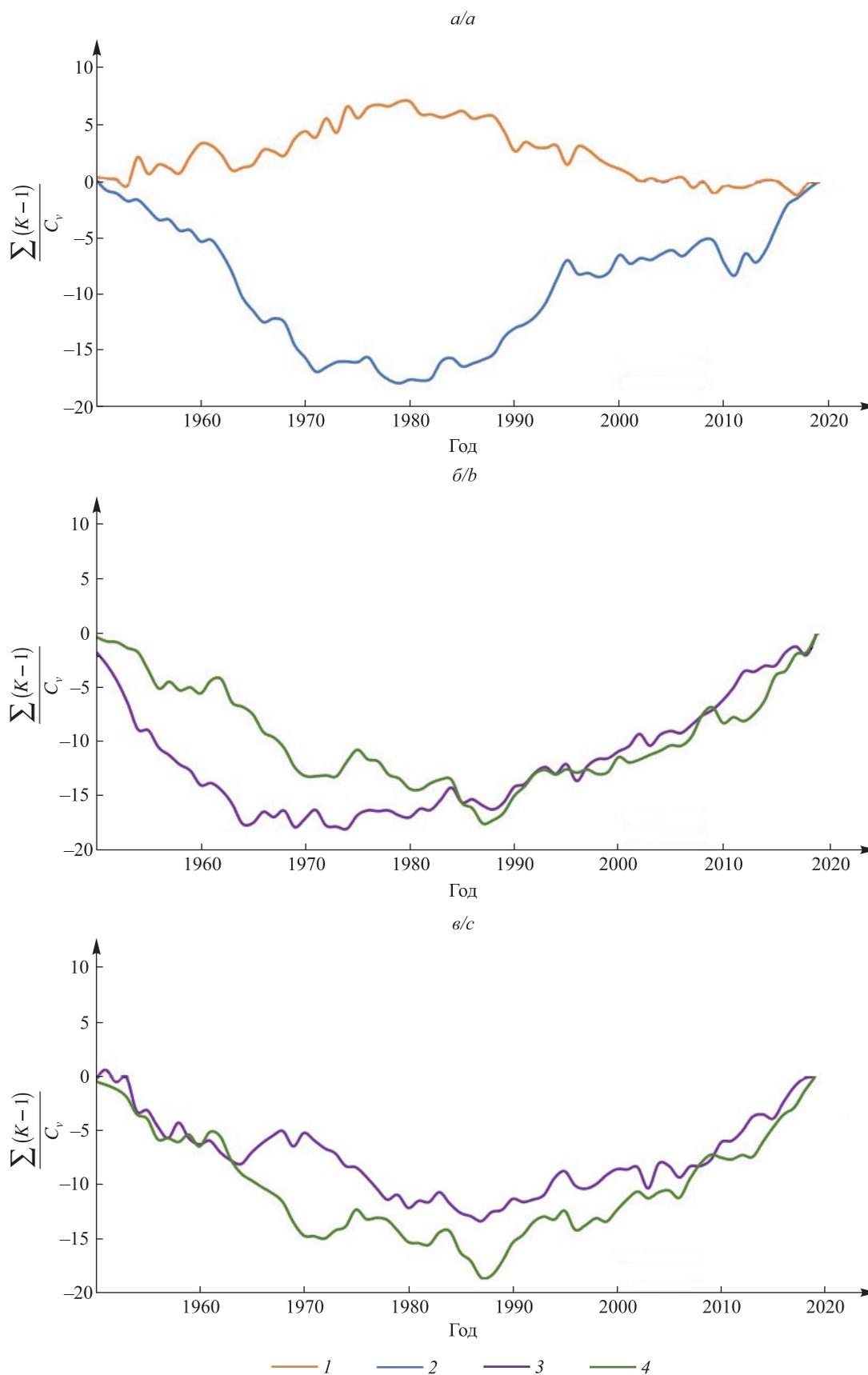


Рис. 2. Разностные интегральные кривые: а – индексы атмосферной циркуляции SCAND (1) и NAO (2); б, в – суммарные осадки (3) и приземная температура воздуха (4) для северной и южной частей региона соответственно

Fig. 2. Difference integral curves: а – atmospheric circulation indexes SCAND (1) and NAO (2); б, в – total precipitation (3) and surface air temperature (4) for the northern and southern parts of the region respectively

Экстремальные случаи метеорологических характеристик региона

Как показатель экстремальности часто рассматривается изменение частот значений, превышающих заданные фиксированные пороги [17; 18]. На рис. 3 представлены графики многолетнего распределения аномалий анализируемых характеристик, рассчитанных как превышение стандартного отклонения по рядам с удаленным трендом. Повсеместно многолетний ход суммарных осадков и снегозапасов имеет от 9 до 12 случаев аномалий как в положительном, так и отрицательном диапазоне значений, а многолетний ход приземной температуры воздуха – от 8 до 12 случаев. Аномалии суммарных осадков и снегозапасов выше границ +50 мм редки, равно как и аномалии ниже границ –30 мм. Также редки аномалии приземной температуры воздуха более +3 °С и менее –1,5 °С. Количество случаев совпадения аномалий в северной и южной частях региона за исследуемый период невелико: по четыре случая в положительной и отрицательной областях распределения значений для снегозапасов, четыре и два случая для суммарных осадков при полном отсутствии совпадений аномалий приземной температуры воздуха (см. рис. 2). Отсутствуют совпадения аномальных лет индексов NAO и SCAND как таковых и в сравнении с многолетним ходом аномалий метеорологических характеристик.

Исследование многолетних изменений метеорологических характеристик по средним значениям не всегда позволяет в полной мере оценить структуру изменчивости выборки значений. В данном случае проведен анализ экстремальных пороговых значений характеристик: рассматриваются экстремальные, близкие к вероятности 0 или 1 процентилю сезонной (ноябрь – март) выборки среднесуточной приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков, а также максимальных за зиму снегозапасов для каждой метеорологической станции и пространственного осреднения. Для приземной температуры воздуха рассчитывались сезонные 5-й и 95-й процентилю, для суммарных осадков – 95-й процентилю и количество дней без осадков с последующим анализом их временных изменений. Поскольку снегозапасы рассматриваются в виде одного, максимального за сезон, значения, 5-й и 95-й процентилю рассчитывались для многолетних рядов каждой метеорологической станции и особенности многолетней изменчивости анализировались по средним значениям процентилю трех равных отрезков исследуемого периода – 1966–1984, 1985–2002 и 2003–2019 гг.

Диапазон экстремальных пороговых значений приземной температуры воздуха в северной части региона (–20,7...–15,9 °С для 5-го процентилю и +0,9...+2,4 °С для 95-го процентилю) ниже диапазона экстремальных пороговых значений в южной части региона (–16,6...–15,0 °С для 5-го процентилю и +1,9...+2,6 °С для 95-го процентилю) при осредненных по площади значениях –18,5 и –15,8 °С для 5-го процентилю и +1,9 и +2,3 °С для 95-го процентилю на севере и юге соответственно (табл. 4 и 5). Многолетняя вариабельность малых процентилю повсеместно существенно превышает вариабельность больших процентилю. Средние значения 5-го и 95-го процентилю стандартного отклонения в северной части региона составляют 3,48 и 1,67 °С соответственно, а в южной части региона – 3,71 и 1,84 °С. Несущественные различия значений процентилю стандартного отклонения на севере и юге соответствуют незначительной изменчивости по региону стандартного отклонения средних значений. Близкие величины коэффициентов линейного тренда средних значений приземной температуры воздуха в северной и южной частях региона (0,552 и 0,521 °С за 10 лет) (см. табл. 1) на севере сопровождаются преобладающим значимым многолетним увеличением 5-го процентилю (0,630 °С за 10 лет). На юге региона значимое многолетнее увеличение имеет 95-й процентилю (0,657 °С за 10 лет). В обоих случаях многолетний прирост значений экстремальных процентилю превышает скорость изменения средней приземной температуры воздуха (см. табл. 4 и 5).

Значения 95-го процентилю для осадков мало различаются по территории региона (в диапазоне 6–12 мм при средних величинах 6 и 7 мм на юге и севере соответственно). Его значения для стандартного отклонения многолетнего ряда также меняются незначительно (1,9–2,0 мм при средних значениях 1,1 и 1,8 мм на юге и севере). Выявленные особенности 95-го процентилю соответствуют малой изменчивости средних значений суммарных осадков (224 мм на севере и 216 мм на юге) и их стандартного отклонения (25,1 мм на севере и 24,1 мм на юге). Положительные коэффициенты линейного тренда 95-го процентилю суммарных осадков повсеместно невелики или незначимы, что не противоречит выявленной многолетней тенденции увеличения средних значений суммарных осадков (5,23 и 3,35 мм за 10 лет в северной и южной частях региона соответственно) (см. табл. 1, 4 и 5). Дискретность выпадения небольшого количества осадков усложняет анализ малых экстремальных пороговых значений. В данном случае как некоторый аналог 5-го процентилю рассматривается количество дней без осадков за сезон. В целом их распределение по территории довольно равномерно (в диапазоне 26–50 дней при средних значениях 36 и 35 дней на севере и юге соответственно). Также небольшие и незначимые отрицательные коэффициенты линейного тренда соответствуют особенностям динамики средних значений суммарных осадков (см. табл. 1, 4 и 5).

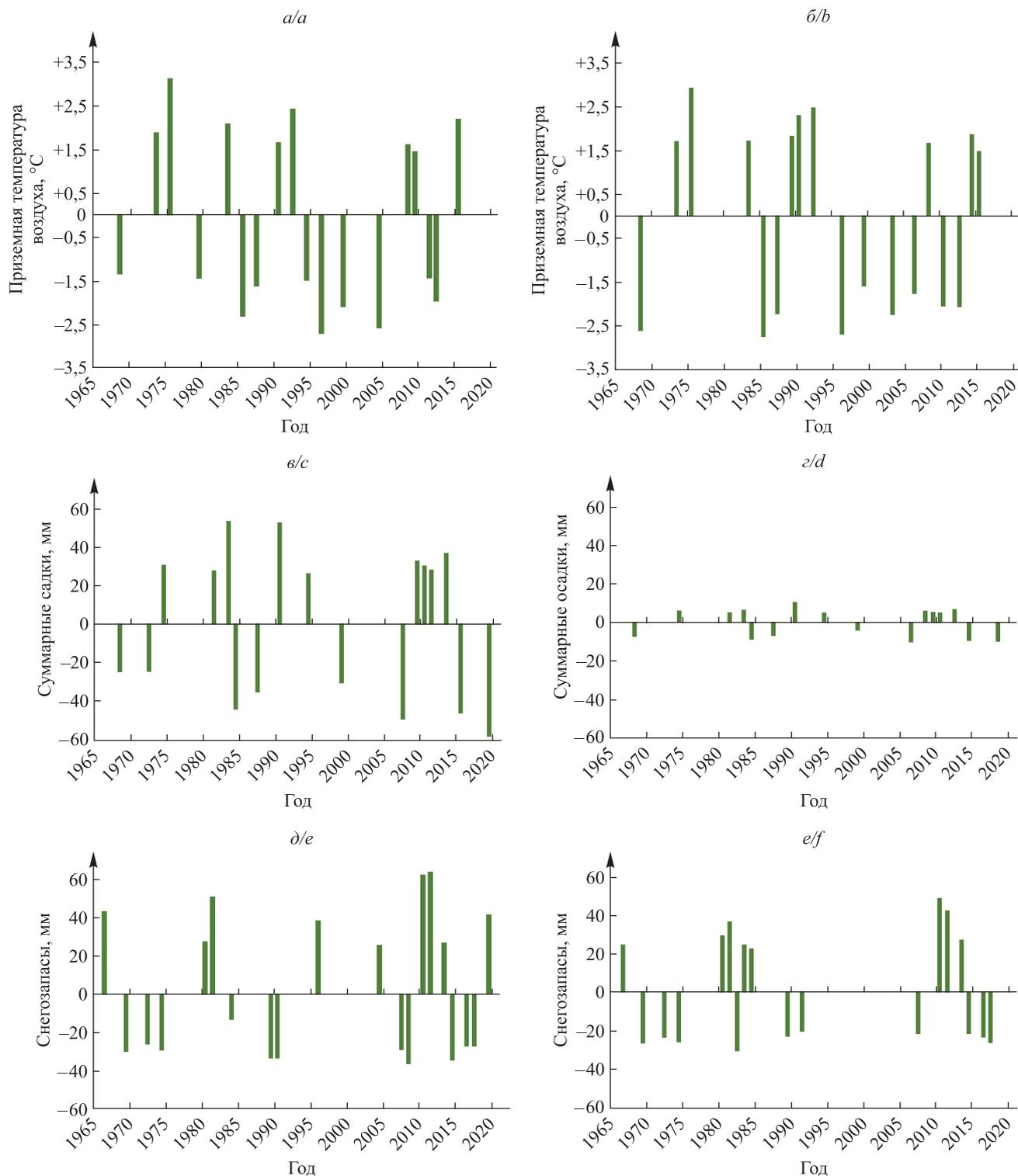


Рис. 3. Многолетний ход аномалий (превышение стандартного отклонения) снегозапасов, приземной температуры воздуха и суммарных осадков в северной (а, в, д) и южной (б, г, е) частях региона

Fig. 3. Long-term variabilities of anomalies (exceeding the standard deviation) of snow storage, surface air temperature and total precipitation in the northern (a, c, e) and southern (b, d, f) parts of the region

Таблица 4

Многолетняя изменчивость перцентилей приземной температуры воздуха
и суммарных осадков в северной части региона

Table 4

Long-term variability of the percentiles of surface air temperature
and total precipitation in the northern part of the region

Пункт	Температура воздуха, 5-й процентиль, °C / 95-й процентиль, °C			Суммарные осадки, количество дней без осадков / 95-й процентиль, мм		
	<i>S</i>	σ	<i>K</i>	<i>S</i>	σ	<i>K</i>
Выборг	-20,3/+2,2	3,80/0,98	0,833/0,378	38/7	6,69/1,79	-0,355/+0,599
Белогорка	+18,9/+1,5	4,01/1,63	0,811/0,362	34/6	7,51/1,28	-1,336/+0,241
Бологое	-17,8/+1,9	3,95/1,43	0,496/0,433	29/6	7,09/1,05	-1,390/+2,354
Великие Луки	-17,9/+2,4	4,57/1,41	0,834/0,422	38/5	5,89/1,22	-1,133/ +0,143
Гдов	-15,9/+2,0	3,86/1,33	0,317/0,447	50/12	8,15/3,53	+0,574/+0,691
Петрозаводск	-20,4/+0,9	3,92/0,95	0,660/ 0,163	32/5	6,76/0,93	-0,404/+0,182
Пушкинские Горы	-16,5/+2,4	4,15/1,39	0,823/ 0,348	38/7	7,16/1,37	+0,520/-0,550
Сортавала	-20,3/+2,0	3,79/0,96	0,831/ 0,368	36/6	7,61/1,54	-1,877/+0,557
Старая Русса	-19,3/+2,2	3,72/1,55	0,465/0,575	38/5	6,63/1,09	-1,769/+0,280
Тихвин	-20,7/+1,3	4,55/1,07	0,805/0,450	26/6	5,98/1,59	-0,651/+0,379
<i>Территория в целом</i>	<i>-18,5/+1,9</i>	<i>3,48/1,67</i>	<i>0,630/0,361</i>	<i>36/7</i>	<i>6,46/1,79</i>	<i>-0,990/+0,205</i>

Примечания: 1. Используемые обозначения: *S* – среднегодовое значение; σ – стандартное отклонение; *K* – коэффициент линейного тренда за 10 лет. 2. Полужирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Таблица 5

Многолетняя изменчивость перцентилей приземной температуры воздуха
и суммарных осадков в южной части региона

Table 5

Long-term variability of the percentiles of surface air temperature
and total precipitation in the southern part of the region

Пункт	Температура воздуха, 5-й процентиль, °C / 95-й процентиль, °C			Суммарные осадки, количество дней без осадков / 95-й процентиль, мм		
	<i>S</i>	σ	<i>K</i>	<i>S</i>	σ	<i>K</i>
Барановичи	-15,8/+2,5	3,80/1,89	+0,240/+0,751	35/7	6,91/1,37	-0,655/+0,225
Верхнедвинск	-15,8/+2,4	3,81/1,88	+0,298/+0,703	39/6	7,24/1,46	-0,355/+0,599
Витебск	-16,1/+2,0	3,77/1,79	+0,269/+0,663	35/8	7,81/1,86	-1,422/+0,732
Лынтупы	-15,0/+2,4	3,56/2,00	+0,113/+0,598	33/7	7,04/2,00	-1,589/ +0,213
Сенно	-15,7/+2,2	3,52/1,81	-0,091/+0,577	32/6	7,28/1,14	-0,986/ +0,320
Шарковщина	-15,5/+2,6	3,84/1,93	+0,372/+0,667	37/6	6,94/1,31	-1,044/ -0,010
Гродно	-16,6/+1,9	4,21/1,75	+0,499/+0,639	32/6	6,63/1,09	-3,838/ -0,021
Вилейка	-15,9/+2,1	3,72/1,84	+0,308/+0,703	33/8	7,12/1,49	-0,611/+0,202
<i>Территория в целом</i>	<i>-15,8/+2,3</i>	<i>3,71/1,84</i>	<i>+0,297/+0,657</i>	<i>35/6</i>	<i>6,40/1,13</i>	<i>-0,416/+0,276</i>

Примечания: 1. Используемые обозначения: *S* – среднегодовое значение; σ – стандартное отклонение; *K* – коэффициент линейного тренда за 10 лет. 2. Полужирным начертанием выделены незначимые на уровне 95 % коэффициенты линейного тренда.

Средняя величина снеготпасов в северной части региона (93 мм) почти в 2 раза превышает величину снеготпасов в южной части региона (55 мм). Малые и большие процентилю многолетнего ряда максимальных за зимний период снеготпасов изменяются в диапазонах 19–85 и 81–283 мм на севере и в диапазонах 11–58 и 80–180 мм на юге соответственно при осредненных по территориям значениях 57 и 146 мм на севере, 36 и 100 мм на юге. Многолетняя изменчивость в данном случае оценивалась путем сравнения трех равных отрезков исследуемого периода (табл. 6 и 7). Для северной части региона значения процентилю промежутка 1985–2002 гг. выделяются как явно более низкие, для южной части региона системы в распределении значений не наблюдается.

Таблица 6

Многолетняя изменчивость процентилю максимальных значений снеготпасов в северной части региона

Table 6

Long-term variability of the percentiles of the maximum snow storage in the northern part of the region

Пункт	Значение 5-го процентилю, мм / значение 95-го процентилю, мм		
	1966–1984	1985–2002	2003–2019
Выборг	67/213	48/167	78/157
Белогорка	75/197	31/100	33/176
Бологое	55/152	46/135	57/159
Великие Луки	30/99	24/81	29/119
Гдов	30/132	19/105	31/176
Петрозаводск	59/184	58/135	36/136
Пушкинские Горы	36/133	29/111	25/125
Сортавала	55/283	67/164	66/204
Старая Русса	41/130	19/90	21/103
Тихвин	85/206	82/190	41/219
<i>Территория в целом</i>	<i>72/146</i>	<i>61/107</i>	<i>51/149</i>

Таблица 7

Многолетняя изменчивость процентилю максимальных снеготпасов в южной части региона

Table 7

Long-term variability of percentiles of maximum snow storage in the southern part of the region

Пункт	Значение 5-го процентилю, мм / значение 95-го процентилю, мм		
	1966–1984	1985–2002	2003–2019
Барановичи	23/80	26/99	22/90
Верхнедвинск	26/96	30/120	36/111
Витебск	33/144	31/139	48/108
Лынтупы	46/139	12/180	30/121
Сенно	58/93	32/81	19/119
Шарковщина	32/104	22/106	46/113
Гродно	23/135	12/82	11/85
Вилейка	29/127	26/109	23/110
<i>Территория в целом</i>	<i>36/100</i>	<i>41/106</i>	<i>38/96</i>

Заключение

Оценены региональные различия изменчивости метеорологических условий холодного сезона в восточной части водосбора Балтийского моря. Среднемноголетние значения исследуемых характеристик соответствуют зональной изменчивости: в северной части региона приземная температура воздуха в 1,8 раза ниже, а снеготпасы – в 2,0 раза выше, чем в южной части региона, что при практически равных осадках говорит о большей зависимости формирования снеготпасов от температурного режима территории. Тенденции многолетних изменений снеготпасов повсеместно незначимы при значимом увеличении осадков, что также позволяет связать отсутствие многолетнего роста снеготпасов в первую очередь с заметным многолетним ростом приземной температуры воздуха.

Тесная корреляционная связь отмечается для многолетнего хода приземной температуры воздуха в северной и южной частях региона. Меньшая, но также значимая зависимость существует для суммарных осадков (коэффициенты корреляции 0,93 и 0,39) при отсутствии сходства многолетней изменчивости снеготпасов. Можно предположить, что в сравнении с ходом приземной температуры воздуха ход суммарных осадков и снеготпасов в большей степени связан с локальными особенностями территории, к тому же он имеет заметные погрешности при измерениях на метеорологических станциях.

Значимая корреляционная связь многолетнего хода индексов атмосферной циркуляции повсеместно отмечена только для приземной температуры воздуха со сдвигом во времени (для январских и февральских индексов NAO и мартовских индексов SCAND) с большей теснотой связи на юге региона. Подобные результаты были получены ранее для территории Республики Беларусь и Восточно-Европейской равнины в целом [7; 19].

Как показал регрессионный анализ, вклад приземной температуры воздуха в многолетнюю изменчивость максимальных снеготпасов повсеместно превышает вклад суммарных осадков. При этом значения общих коэффициентов регрессии и бета-коэффициентов в южной части региона больше их значений в северной части региона. Так, общие коэффициенты регрессии для осредненных по территориям характеристик составляют 0,743 на юге и 0,411 на севере. Можно предположить, что данная ситуация складывается в связи с относительно теплыми зимами региона в целом и более высокими температурами при сравнительно небольших снеготпасах в его южной части. Кроме того, увеличение с каждым годом количества жидких осадков в зимний период года также снижает роль суммарных осадков холодного сезона в формировании снеготпасов.

Согласно суммарным интегральным кривым перелом в многолетних тенденциях осредненных по площади значений приземной температуры воздуха на севере и юге совпадает во времени (1987–1988) при переломе в многолетних тенденциях индексов NAO и SCAND в 1980 и 1979 гг. Перелом в многолетнем ходе суммарных осадков повсеместно имеет значительный разброс во времени, что может быть связано с заметной от года к году пространственной неоднородностью выпадения осадков.

Многолетний ход аномалий характеристик (превышение стандартного отклонения) в северной и южной частях региона характеризуется сходными количеством аномальных случаев (17–23 % от продолжительности рассматриваемого периода) и их амплитудой (от ∓ 30 до ± 50 мм для осадков и снеготпасов и от $\mp 1,5$ до ± 3 °C для приземной температуры воздуха). Совпадения аномалий в северной и южной частях региона наблюдаются лишь в двух-трех случаях для каждой характеристики, что, возможно, связано с преобладающим для возникновения аномалий значением местных условий.

Структура многолетних изменений метеорологических характеристик уточнена путем анализа изменчивости сезонных (ноябрь – март) крайних порогов экстремальности характеристик. Диапазон экстремальных пороговых значений приземной температуры воздуха на севере региона ниже диапазона экстремальных пороговых значений на юге, что соответствует пространственному распределению средних температур. Многолетняя вариабельность малых процентилей повсеместно существенно превышает вариабельность больших процентилей при незначительных различиях в распределении по площади. Сходство скорости многолетнего увеличения средних значений приземной температуры воздуха на севере и юге региона сопровождается значимым увеличением 5-го перцентиля на севере и 95-го перцентиля на юге.

Значения 95-го перцентиля для суммарных осадков и их стандартного отклонения мало различаются по территории в целом, что соответствует незначительной изменчивости по площади средних значений суммарных осадков. Положительные многолетние тенденции 95-го перцентиля суммарных осадков повсеместно невелики или незначимы, что не противоречит выявленной многолетней тенденции увеличения средних значений суммарных осадков. Ввиду дискретности выпадения малого количества осадков проведен анализ изменчивости числа дней без осадков за сезон. В целом их распределение по территории довольно равномерно (в диапазоне 26–50 дней при средних значениях 36 и 35 дней на севере и юге соответственно). Также небольшие и незначимые отрицательные коэффициенты линейного тренда соответствуют изменчивости средних значений суммарных осадков.

Средняя величина максимальных снеготпасов в северной части региона (93 мм) почти в 2 раза превышает величину максимальных снеготпасов на юге (55 мм), малые и большие перцентили многолетнего

ряда максимальных снегозапасов различаются соответственно. Многолетняя изменчивость в данном случае оценивалась путем сравнения трех равных промежутков исследуемого периода. Для северной части региона значения процентилей промежутка 1985–2002 гг. выделяются как явно более низкие, для южной части региона систематических изменений не наблюдается.

Проведенная оценка степени региональной неоднородности распределения метеорологических характеристик на примере восточной части водосбора Балтийского моря актуальна для уточнения имеющихся крупномасштабных оценок изменчивости климата. Кроме того, полученные закономерности могут быть использованы для верификации результатов численного моделирования гидроклиматических процессов.

Библиографические ссылки

1. Акентьева ЕМ, Александров ЕИ, Алексеев ГВ, Анисимов ОА, Балонишниковая ЖА, Булыгина ОН и др. *Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации*. Катцов ВМ, редактор. Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория имени А. И. Воейкова; 2017. 106 с.
2. Логинов ВФ, Микуцкий ВС. *Изменения климата: тренды, циклы, паузы*. Минск: Беларуская навука; 2017. 179 с.
3. Huang Jianbin, Zhang Xiangdong, Zhang Qiyi, Lin Yanluan, Hao Mingju, Luo Yong, et al. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend. *Nature Climate Change*. 2017;7(12):875–879. DOI: 10.1038/s41558-017-0009-5.
4. Screen JA, Deser C, Smith DM, Zhang X, Blackport R, Kushner PJ, et al. Consistency and discrepancy in the atmospheric response to Arctic sea-ice loss across climate models. *Nature Geoscience*. 2018;11(3):155–163. DOI: 10.1038/s41561-018-0059-y.
5. Логинов ВФ. *Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия*. Минск: ТетраСистемс; 2008. 495 с.
6. Переведенцев ЮП, Васильев АА, Шерстюков БГ, Шанталинский КМ. Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века. *Метеорология и гидрология*. 2021;10:14–26.
7. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik V. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.
8. Мишон ВМ. *Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета*. Воронеж: Издательство Воронежского университета; 1988. 192 с.
9. Мишон ВМ. *Река Воронеж и ее бассейн: ресурсы и водно-экологические проблемы*. Михно ВБ, редактор. Воронеж: Издательство Воронежского университета; 2000. 296 с.
10. Китаев ЛМ, Аблеева ВА, Асаинова ЖА. Влияние лесной растительности на тенденции локальной изменчивости снегозапасов. В: Щербаков АВ, редактор. *Труды Приокско-Террасного заповедника. Выпуск 6*. Тула: Аквариус; 2015. с. 67–77.
11. Китаев ЛМ, Желтухин АС, Коробов ЕД, Аблеева ВА. Снежный покров: особенности локального распределения в лесных массивах как возможный источник погрешностей спутниковых данных. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2020;84(6):855–863. DOI: 10.31857/S2587556620060072.
12. Логинов ВФ, Волчек АА, Шелест ТА. Анализ и моделирование гидрографов дождевых паводков рек Беларуси. *Водные ресурсы*. 2015;42(3):268–278. DOI: 10.7868/S0321059615030074.
13. Логинов ВФ. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобального и регионального климата и их возможные причины. В: Лопух ПС, редактор. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. Материалы Международной научной конференции; 5–8 мая 2015 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Издательский центр БГУ; 2015. с. 18–20.
14. Поликша ДС, Данилович ИС, Квач ЕГ. Влияние изменения климата на водный режим бассейна реки Западная Двина на территории Беларуси. В: Кольмакова ЕГ, Матюшевская ЕВ, Яротов АЕ, Ермолович ММ, редакторы. *Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 65-летию Белорусского географического общества; 13–15 ноября 2019 г.; Минск, Беларусь*. Минск: БГУ; 2019. с. 208–212.
15. Китаев ЛМ, Аблеева ВА, Асаинова ЖА. Изменчивость температуры почвы характерных ландшафтов Приокско-Террасного заповедника. В: Покровская ИВ, редактор. *Труды Приокско-Террасного заповедника. Выпуск 7*. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2018. с. 58–67.
16. Barnston AG, Livezey RE. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*. 1987;115(6):1083–1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.
17. Киктёв ДБ, Сизе Д, Александр Л. Сравнение многолетних средних и тенденций изменения ежегодных экстремумов температуры и осадков по данным моделирования и наблюдений. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2009;45(3):305–315.
18. Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006;111(D5):D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
19. Попова ВВ. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018;1:84–111. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-84-111.

References

1. Akent'eva EM, Aleksandrov EI, Alekseev GV, Anisimov OA, Balonishnikova ZhA, Bulygina ON, et al. *Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Report on climate risks in the Russian Federation]. Kattsov VM, editor. Saint Petersburg: Voeikov Main Geophysical Observatory; 2017. 106 p. Russian.
2. Loginov VF, Mikutskii VS. *Izmeneniya klimata: trendy, tsikly, pauzy* [Climate change: trends, cycles, pauses]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2017. 179 p. Russian.

3. Huang Jianbin, Zhang Xiangdong, Zhang Qiyi, Lin Yanluan, Hao Mingju, Luo Yong, et al. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend. *Nature Climate Change*. 2017;7(12):875–879. DOI: 10.1038/s41558-017-0009-5.
4. Screen JA, Deser C, Smith DM, Zhang X, Blackport R, Kushner PJ, et al. Consistency and discrepancy in the atmospheric response to Arctic sea-ice loss across climate models. *Nature Geoscience*. 2018;11(3):155–163. DOI: 10.1038/s41561-018-0059-y.
5. Loginov VF. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate change: causes and consequences]. Minsk: TetraSistems; 2008. 495 p. Russian.
6. Perevedentsev YuP, Vasiliev AA, Sherstyukov BG, Shantalinsky KM. Climate change in Russia at the end of the 20th – beginning of the 21st century. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2021;10:14–26. Russian.
7. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik V. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.
8. Mishon VM. *Snezhnye resursy i mestnyi stok: zakonomernosti formirovaniya i metody rascheta* [Snow resources and local runoff: patterns of formation and methods of calculation]. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta; 1988. 192 p. Russian.
9. Mishon VM. *Reka Voronezh i ee bassein: resursy i vodno-ekologicheskie problemy* [Voronezh River and its catchment: resources and water-ecological problems]. Mikhno VB, editor. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta; 2000. 296 p. Russian.
10. Kitaev LM, Ableeva VA, Asainova ZhA. [Influence of forest vegetation on trends in local variability of snow reserves]. In: Shcherbakov AV, editor. *Trudy Prioksko-Terrasnogo zapovednika. Vypusk 6* [Proceedings of the Prioksko-Terrasny Reserve. Issue 6]. Tula: Akvarius; 2015. p. 67–77. Russian.
11. Kitaev LM, Zheltukhin AS, Korobov ED, Ableeva VA. Snow cover: characteristics of local distribution in forests as possible source of satellite data errors. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2020;84(6):855–863. Russian. DOI: 10.31857/S2587556620060072.
12. Loginov VF, Volchek AA, Shelest TA. [Analysis and modelling of hydrographs of rain floods in rivers of Belarus]. *Vodnye resursy*. 2015;42(3):268–278. Russian. DOI: 10.7868/S0321059615030074.
13. Loginov VF. [Trends, «jumps» and pauses in global and regional climate change and their possible causes]. In: Lopukh PS, editor. *Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaistvennoi deyatel'nosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii; 5–8 maya 2015 g.; Minsk, Belarus'* [Problems of hydrometeorological support of economic activity in a changing climate. Proceedings of the International scientific conference; 2015 May 5–8; Minsk, Belarus]. Minsk: Publishing House of the Belarusian State University; 2015. p. 18–20. Russian.
14. Poliksha DS, Danilovich IS, Kvach EG. Hydroclimatic changes in the Western Dvina River basin within the territory of Belarus. In: Kol'makova EG, Matyushevskaya EV, Yarotov AE, Ermolovich MM, editors. *Sovremennye napravleniya razvitiya fizicheskoi geografii: nauchnye i obrazovatel'nye aspekty v tselyakh ustoychivogo razvitiya. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu fakul'teta geografii i geoinformatiki Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta i 65-letiyu Belorusskogo geograficheskogo obshchestva; 13–15 noyabrya 2019 g.; Minsk, Belarus'* [Modern trends in the development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University and the 65th anniversary of the Belarusian Geographical Society; 2019 November 13–15; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2019. p. 208–212. Russian.
15. Kitaev LM, Ableeva VA, Asainova ZhA. [Soil temperature variability in characteristic landscapes of the Prioksko-Terrasny Reserve]. In: Pokrovskaya IV, editor. *Trudy Prioksko-Terrasnogo zapovednika. Vypusk 7* [Proceedings of the Prioksko-Terrasny Reserve. Issue 7]. Moscow: KMK Scientific Press; 2018. p. 58–67. Russian.
16. Barnston AG, Livezey RE. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*. 1987;115(6):1083–1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.
17. Kiktev DB, Caesar J, Alexander L. Temperature and precipitation extremes in the second half of the twentieth century from numerical modeling results and observational data. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*. 2009;45(3):305–315. Russian.
18. Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 2006;111(D5):D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
19. Popova VV. Present-day changes in climate in the north of Eurasia as a manifestation of variation of the large-scale atmospheric circulation. *Fundamental and Applied Climatology*. 2018;1:84–111. Russian. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-84-111.

Получена 17.02.2022 / исправлена 14.06.2022 / принята 04.07.2022.
Received 17.02.2022 / revised 14.06.2022 / accepted 04.07.2022.