

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.506.3 : 551.583.1

doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-93-105

ТЕНДЕНЦИИ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОЛИЧЕСТВА
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАНРита Галимьяновна Камалова^{1*}, Юрий Петрович Переведенцев², Регина Шамилевна Фатхутдинова³, Эльмира
Зульфировна Нурмухаметова⁴^{1,*,3,4}Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия^{1*} Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия²Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия^{1*} galim-rita@yandex.ru, ResearcherID: AAD-2923-2022, Scopus ID: 57226748324, ORCID ID: 0000-0002-8964-7622, SPIN-код: 8806-5783, AuthorID: 730901²yuri.perevedentsev@kpfu.ru, ResearcherID: AAC-4434-2022, Scopus ID: 6603045210, ORCID ID: 0000-0002-3181-6227, SPIN-код: 4472-4369, AuthorID: 58828³regishka1503@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3448-8537, SPIN-код: 7424-0712, AuthorID: 766519⁴elmira18.01.02@gmail.com, SPIN-код: 8952-7982, AuthorID: 1158080

Аннотация: Региональным откликом на глобальное потепление климата является пространственно-временное изменение в режиме увлажнения. В настоящем исследовании представлен анализ изменений в режиме атмосферных осадков холодного периода в Республике Башкортостан с использованием апробированных статистических методов. Для выявления климатических изменений в режиме осадков рассматривались разные периоды: основной (1966–2020 гг.) и периоды, рекомендованные ВМО. Проанализированы статистические характеристики атмосферных осадков холодного периода с учетом физико-географических особенностей Республики, найдены корреляционные связи между аномалиями осадков и индексами циркуляции атмосферы, получено распределение числа случаев сильных снегопадов. В ходе исследования выявлено, что осадки холодного периода имеют тенденцию к росту в 1966–2020 гг. Значимое их увеличение обнаружено в марте. Самые тесные положительные связи отмечены между количеством осадков и индексом Атлантической мультидекадной осцилляции, отрицательные связи установлены с индексом Скандинавского колебания. Анализ случаев сильных снегопадов показал, что в горной части их формируется больше.

Ключевые слова: изменение климата, режим увлажнения, индексы циркуляции атмосферы, сильные снегопады, Предуралье, Южный Урал, Зауралье

Для цитирования: Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З. Тенденции временной изменчивости количества атмосферных осадков холодного периода на территории республики Башкортостан // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 3(66). С. 93–105. doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-93-105.

METEOROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-93-105

TRENDS IN THE TEMPORAL VARIABILITY OF THE AMOUNT OF PRECIPITATION
IN THE COLD PERIOD ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF
BASHKORTOSTANRita G. Kamalova^{1*}, Yuri P. Perevedentsev², Regina Sh. Fatkhutdinova³, Elmira Z. Nurmukhametova⁴^{1,*,3,4}Ufa University of Science and Technology^{1*} Ufa State Petroleum Technological University²Kazan Federal University^{1*} galim-rita@yandex.ru, ResearcherID: AAD-2923-2022, Scopus ID: 57226748324, ORCID: 0000-0002-8964-7622, SPIN-code: 8806-5783, Author ID: 730901²yuri.perevedentsev@kpfu.ru, ResearcherID: AAC-4434-2022, Scopus ID: 6603045210, ORCID: 0000-0002-3181-6227, SPIN-code: 4472-4369, Author ID: 58828³regishka1503@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3448-8537, SPIN-code: 7424-0712, Author ID: 766519⁴elmira18.01.02@gmail.com, SPIN-code: 8952-7982, Author ID: 1158080

*Метеорология**Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.*

Abstract. A regional response to global climate warming is a spatio-temporal change in the humidification regime. This study presents an analysis of changes in the precipitation regime during the cold period conducted for the Republic of Bashkortostan with the use of proven statistical methods. To identify climatic changes in the precipitation regime, different periods were considered: the main one (1966-2020) and the periods recommended by the WMO. Statistical characteristics of precipitation of the cold period are analyzed taking into account the physical and geographical features of the Republic; correlations between precipitation anomalies and atmospheric circulation indices have been found; the distribution of the number of heavy snowfall cases has been obtained. The study revealed that the precipitation of the cold period tended to increase in 1966-2020. A significant increase was found in March. The closest positive relationships were revealed between the amount of precipitation and the Atlantic multidecadal oscillation index, negative relationships were established with the Scandinavian oscillation index. An analysis of heavy snowfall cases showed that there are more of them formed in the Southern Urals.

Keywords: climate change, humidification regime, atmospheric circulation indices, heavy snowfall, Cis-Urals, Southern Urals, Trans-Urals

For citation: Kamalova R.G., Perevedentsev Yu.P., Fatkhutdinova R.Sh., Nurmukhametova E.Z. (2023). Trends in the temporal variability of the amount of precipitation in the cold period on the territory of the Republic of Bashkortostan. *Geographical Bulletin*. No.3(66). Pp. 93-105. doi: 10.17072/2079-7877-2023-3-93-105.

Введение

В условиях происходящего глобального потепления климатические изменения отмечаются как в целом в Республике Башкортостан (РБ), так и в смежных субъектах РФ [4, 5, 8-10, 15, 17]. В [23] показано, что глобальное потепление влияет на региональные изменения режима атмосферных осадков.

Растущий интерес к вопросам исследований изменений климата регионов имеет большое прикладное значение. В частности, актуальными становятся исследования, касающиеся режима увлажнения сезонов, экстремальных случаев выпадения атмосферных осадков. Особенно значим данный отклик для населения экономической и транспортной инфраструктуры в связи с увеличением частоты опасных гидрометеорологических процессов, таких как сильные ливни или снегопады [5, 12, 13, 17, 20, 23].

Целью настоящего исследования является анализ тенденций изменений в режиме атмосферных осадков холодного периода на территории Республики Башкортостан в 1966-2020 гг.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования были проанализированы данные многолетних наблюдений холодного периода (ХП) на метеорологических станциях, входящих в сеть Башкирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (БашУГМС).

Для вычисления суммы осадков ХП суммировалось их месячное количество с ноября по март, как обычно принято в исследованиях подобного плана. Базой данных послужил архив Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) (<http://meteo.ru/data>) [16], фондовые материалы БашУГМС [19], а также портал «Архив погоды с 1929 года» (http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php) [2].

Для анализа временной изменчивости изучаемой метеорологической величины были рассчитаны ее статистические характеристики за основной исследуемый период (1966-2020 гг.), и за базовые периоды, рекомендованные ВМО (1961-1990, 1981-2010, 1991-2020 гг.): средние значения (климатические нормы), среднеквадратические отклонения (СКО), экстремальные значения.

Оценка региональных изменений климата получена с применением тренд-анализа и корреляционного анализа. С помощью коэффициента наклона линии тренда (КНЛТ) оценивались скорость изменения исследуемой величины, ее рост (повышение) или снижение (уменьшение). Величиной коэффициента детерминации R^2 определялся вклад линейного тренда в общую изменчивость показателя. Достоверность результатов оценивалась с

*Метеорология**Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.*

помощью критериев Фишера. В таблицах статистических характеристик (табл. 1–3) жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты (при уровне достоверности 95%).

Кроме основных характеристик атмосферных осадков ХП проанализированы случаи сильных снегопадов. Согласно [11, 14], сильными снегопадами являются случаи выпадения осадков с суммой 20 мм и более за период 12 ч и менее. В среднем принято считать, что 1 мм твердых осадков приравнивается к 1,0–1,5 см высоты снежного покрова [18]. Поэтому кроме указанного критерия опасного явления учитывались также случаи осадков суммой от 10 мм/12 ч, поскольку указанное количество осадков в виде снега приводит к снежным заносам и сильно влияет на инфраструктуру населенных пунктов, вызывая затруднения в передвижении транспорта, вывод специальной снегоуборочной техники, увеличение снеговой нагрузки на сооружения за зиму и пр. [7, 12]. Случаи сильных снегопадов были рассчитаны на основе срочных данных наблюдений на метеостанциях (МС) республики из архива ВНИИГМИ-МЦД. При расчетах были исключены случаи с указанными критериями по сумме осадков при положительных температурах воздуха в срок наблюдений или за текущие сутки (периоды оттепелей). Таким образом, для анализа отбирались случаи с устойчивыми отрицательными температурами воздуха.

При оценке влияния макроциркуляционных процессов на изменения осадков ХП в РБ были использованы данные NCEP/NCAR реанализа Центра прогноза климата NOAA (США) об индексах циркуляции атмосферы – Североатлантическом колебании (САК), Арктической осцилляции (АО), Скандинавской осцилляции (СКАНД) и Атлантической Мультидекадной осцилляции (АМО) (<http://www.esrl.noaa.gov/>) [22].

Для построения карт использована программа ArcGIS Arcmap.

Результаты и их обсуждение

Анализ режима увлажнения холодного периода. В период 1966–2020 гг. сумма атмосферных осадков ХП, осредненная для территории РБ, составила 172 мм. Распределение атмосферных осадков на территории республики зависит, во-первых, от общих закономерностей распределения осадков в умеренных широтах, во-вторых, от барьерного эффекта Уральских гор, хребты которых имеют субмеридиональное направление и вызывают увеличение осадков на наветренных склонах. В равнинном Башкирском Предуралье сумма осадков ХП варьируется в пределах 120–200 мм, на Южном Урале – 180–220 мм, в Башкирском Зауралье – 90–110 мм.

Доля осадков ХП для 1966–2020 гг. является меньшей по сравнению с долей теплого периода и составляет 33% годовой суммы. При этом их соотношение для других периодов составляет: для 1966–1990 гг. 69 и 31%; 1981–2010 гг. – 67 и 33%; 1991–2020 гг. – 65 и 35%.

На рис. 1 показано территориальное распределение доли сумм осадков ХП в РБ в разные периоды. В 1966–2020 гг. наибольшая доля осадков ХП отмечалась на метеостанциях Кумертау (45%), Бирск (41%), Зилаир (39%). После 1980-х гг., когда тренды осадков ХП на территории РБ были положительными [4, 21], количество метеостанций с долей осадков ХП более 40% от годового количества начинает увеличиваться.

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

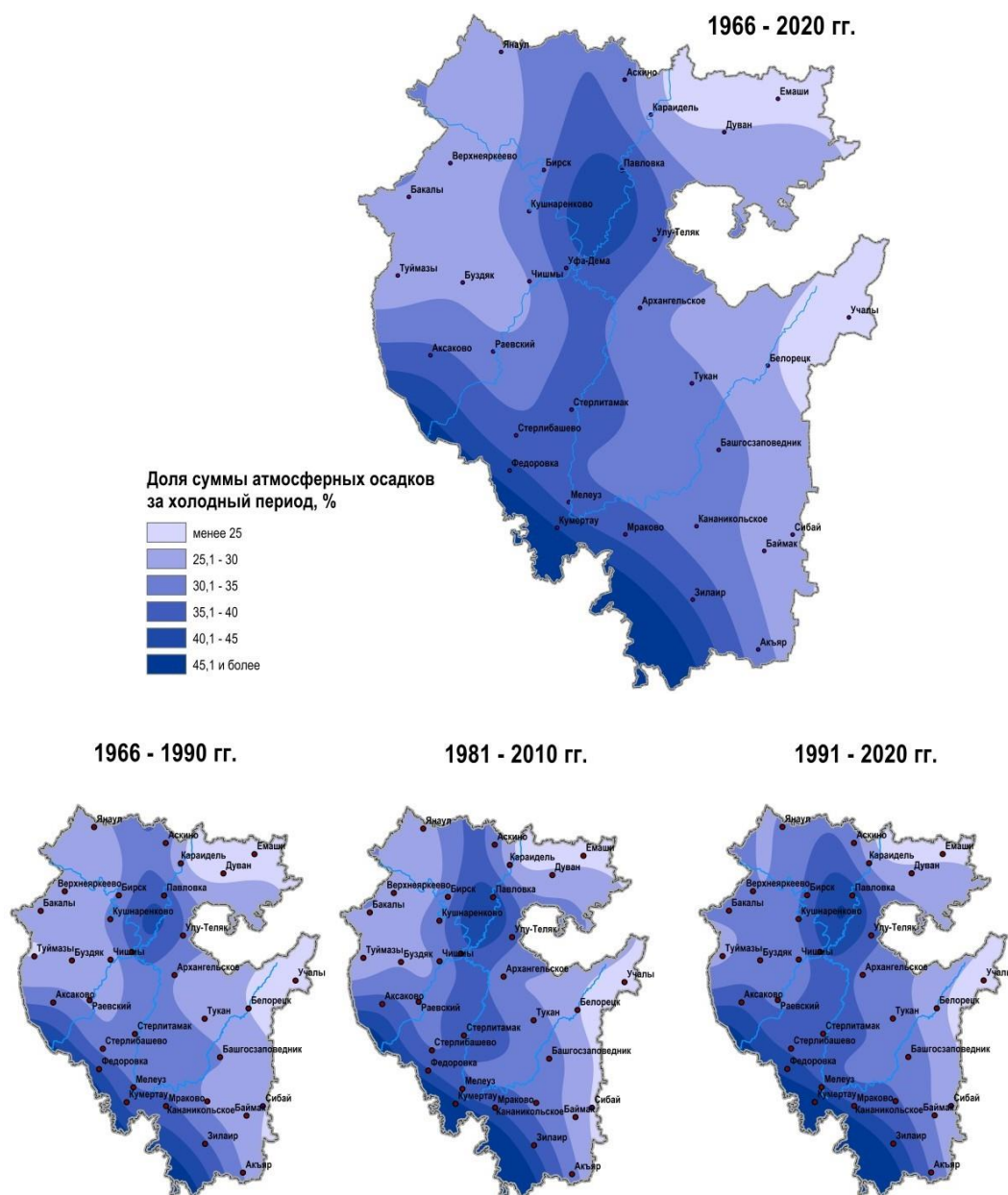


Рис. 1. Распределение суммы осадков холодного периода на территории Республики Башкортостан в процентах от годовой суммы

Fig. 1. Distribution of the amount of the cold-period precipitation on the territory of the Republic of Bashkortostan as a percentage of the annual amount

Так, в 1991–2020 гг. их число достигло 7: МС Кумертау (49%), Павловка (43%), Федоровка (43%), Зилаир (42%), Мелеуз (41%), Мраково (40%) и Sterlibashovo (40%). Кроме МС Павловка все указанные станции расположены в южной половине Предуралья и Южного Урала. При сравнении периодов 1966–1990 и 1991–2020 гг. выявлено, что увеличение доли осадков ХП произошло на 1–10%, при этом наибольшее изменение отмечается на МС Кумертау.

Наименьшей долей осадков ХП характеризуется восточная часть республики, что связано с переходом от умеренно континентального климата Восточно-Европейской равнины к континентальному климату Западной Сибири. При этом в 1991-2020 гг. их наименьшая доля наблюдалась на МС Учалы (23%), Емашы (24%), Белорецк (26%), Дуван

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

(27%), Сибай (27%). На зауральской МС Баймак в первых двух базовых периодах эта доля составила 27 и 28%, в то время как в последнем периоде она увеличилась до 30%.

В целом рост суммы осадков ХП происходит на фоне уменьшения суммы осадков теплого периода, которое выявлено на территории республики [4,8,10].

Внутрисезонное распределение сумм осадков ХП в базовые периоды отражено на рис. 2. Их наибольшее месячное количество приходится на ноябрь. В среднем в республике в этот месяц выпадает 43 мм (1966-2020 гг.), наибольшее количество характерно для Южного Урала (45 мм), наименьшее – для Башкирского Зауралья (21 мм).

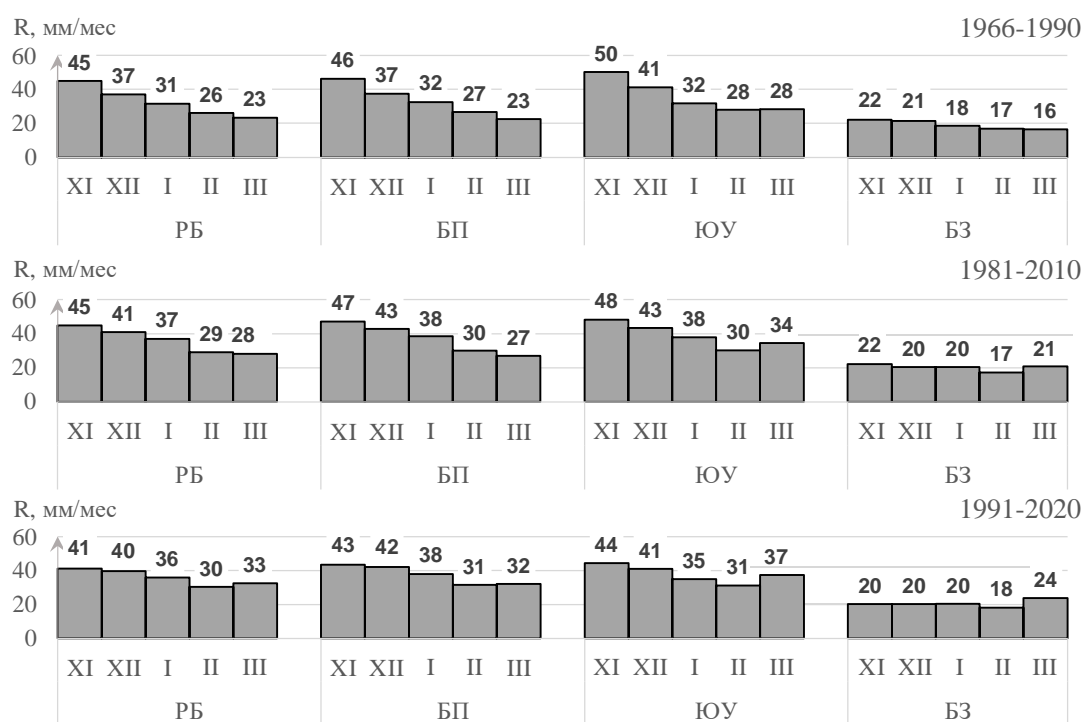


Рис. 2. Распределение по месяцам холодного периода сумм осадков в базовые периоды на территории Республики Башкортостан в целом и в ее регионах

Fig. 2. The precipitation amount distribution by months of the cold period in the base periods on the territory of the Republic of Bashkortostan as a whole and in its regions

Примечание: РБ – Республика Башкортостан, БП – Башкирское Предуралье, ЮУ – Южный Урал, БЗ – Башкирское Зауралье.

Note: РБ is the Republic of Bashkortostan, БП is the Bashkir Cis-Urals, ЮУ is the Southern Urals, БЗ is the Bashkir Trans-Urals.

В феврале и марте в Южном Урале выпадает минимальное количество осадков (по 28 мм). В последнее тридцатилетие структура распределения осадков в ХП не изменилась, за исключением того, что рост мартовских осадков обеспечил несколько большее их значение по сравнению с февральскими (табл. 1).

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

Таблица 1

Статистические характеристики режима атмосферных осадков (мм) холодного периода на территории Республики Башкортостан за разные периоды
 Statistical characteristics of the precipitation regime (mm) of the cold period on the territory of the Republic of Bashkortostan for different periods

Характеристика_период	месяц					ХП
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	
R ₁₉₆₆₋₂₀₂₀	43	38	34	28	28	172
R ₁₉₆₆₋₁₉₉₀	45	37	31	26	23	160
R ₁₉₈₁₋₂₀₁₀	45	41	37	29	28	178
R ₁₉₉₁₋₂₀₂₀	41	40	36	30	33	182
MaxR ₁₉₆₆₋₂₀₂₀	95 (1990)	88 (2000)	67 (2007)	88 (1966)	63 (1997)	253 (2001)
MinR ₁₉₆₆₋₂₀₂₀	5 (2005)	7 (2008)	5 (2012)	1 (2012)	0,3 (1976)	87 (1967)
СКО R ₁₉₆₆₋₂₀₂₀	20	17	15	16	16	39
СКО R ₁₉₆₆₋₁₉₉₀	19	14	14	17	13	33
СКО R ₁₉₈₁₋₂₀₁₀	22	18	15	14	18	37
СКО R ₁₉₉₁₋₂₀₂₀	21	19	17	15	16	42
КНЛТ R ₁₉₆₆₋₂₀₂₀	-0,2	0,3	1,0	1,1	3,0	6,2
КНЛТ R ₁₉₆₆₋₁₉₉₀	7,5	2,5	3,6	-2,2	-3,0	5,6
КНЛТ R ₁₉₈₁₋₂₀₁₀	-0,6	0,6	-1,1	4,3	6,7	6,4
КНЛТ R ₁₉₉₁₋₂₀₂₀	0,4	-4,2	-3,3	1,0	4,8	-1,2

Примечание: R – сумма осадков; жирным шрифтом выделены статистически значимый КНЛТ (мм/10 лет) на уровне достоверности $p = 0,05$.

Note: R is the amount of precipitation; a statistically significant coefficient at the significance level $p=0.05$ is put in bold.

Наибольшей временной изменчивостью характеризуется сумма осадков ноября, наименьшей – сумма осадков января (табл. 1). При сравнении базовых периодов значение СКО осадков во все месяцы увеличивается, кроме февраля.

Экстремально высокие месячные суммы осадков в основном отмечались после 1990-х гг., кроме февраля 1966 г., в котором выпало их наибольшее значение (88 мм – более 3 месячных норм). Максимальное количество осадков наблюдалось в ХП 2000-2001 гг. (253 мм).

Сумма осадков ХП в целом для Республики Башкортостан имеет тенденцию к росту, что отражено в [4, 21]. В результате тренд-анализа настоящего исследования обнаружено, что во все периоды, за исключением последнего, осадки ХП имеют тенденцию к увеличению. Для периода 1966–1990 гг. выявлено, что статистически значимыми трендами характеризуются 20% метеостанций республики, в 1981–2010 гг. – 16%, в 1991–2020 гг. – 10%.

В период 1966–2020 гг. скорость роста суммы осадков составляет 6,2 мм/10 лет (табл. 1), несущественный отрицательный тренд проявляется только в ноябре. При этом выявлены статистически значимые КНЛТ суммы осадков марта за весь исследуемый период (3,0 мм/10 лет) и в 1981–2010 гг. (6,7 мм/10 лет).

Анализ распределения аномалий сумм осадков (рис. 3) обнаружил, что в периоды 1966–2020 и 1981–2010 гг. преобладали положительные аномалии, в то время как в последнее тридцатилетие отрицательных аномалий сформировалось в 2 раза больше, чем положительных (20 и 10% соответственно).

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

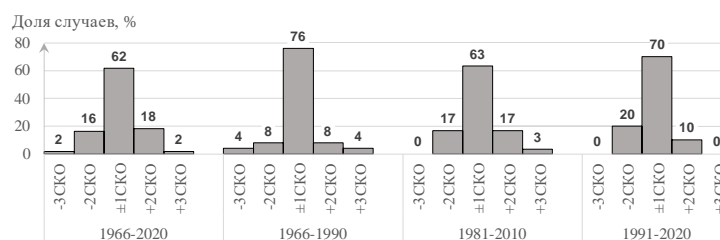


Рис. 3. Распределение аномальных случаев суммы осадков холодного периода на территории Республики Башкортостан в разные периоды

Fig. 3. Distribution of abnormal cases of the cold-period precipitation amount on the territory of the Republic of Bashkortostan in different periods

Анализ связей между суммой осадков и климатическими величинами холодного периода. В ходе исследования между суммами осадков и основными климатическими показателями были рассчитаны коэффициенты парной корреляции (табл. 2). Статистически значимые связи обнаружены между суммой осадков за весь XII и месячными суммами (за исключением марта).

Таблица 2

Парные коэффициенты корреляции между месячной суммой осадков и климатическими показателями холодного периода на территории Республики Башкортостан (1966-2020 гг.)

Paired correlation coefficients between monthly precipitation and climatic indicators of the cold period on the territory of the Republic of Bashkortostan (1966-2020)

Показатели	Сумма осадков					
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	XII
Сумма осадков за XII	0,51	0,57	0,52	0,55	0,20	1,00
Температура воздуха	0,06	0,28	0,54	0,42	0,43	0,45
Относительная влажность	-0,07	0,31	0,21	0,44	-0,01	0,30
Средняя за зиму высота снежного покрова						0,65
Максимальная за зиму высота снежного покрова						0,66

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции на уровне достоверности $p = 0,05$.

Note: Statistically significant correlation coefficients at the significance level $p = 0,05$ are put in bold.

Корреляционный анализ также выявил значимые связи:

- 1) между осадками и температурой воздуха ($r = 0,45$), наибольшая теснота связи в январе ($r = 0,54$);
- 2) между осадками и относительной влажностью воздуха, максимум в феврале ($r = 0,44$);
- 3) между осадками и средней и максимальной за зиму высотой снежного покрова ($r = 0,65$ и $r = 0,66$ соответственно).

Анализ связей между суммой осадков и циркуляцией атмосферы. Для нахождения взаимосвязей осадков с атмосферной циркуляцией временные ряды были предварительно обработаны следующим образом: вычислены аномалии сумм осадков XII; временные ряды аномалий осадков (ΔR) и индексов циркуляции атмосферы (Североатлантическое колебание (САК), Арктическая осцилляция (АО), Скандинавская осцилляция (СКАНД) и Атлантическая мультитендектная осцилляция (АМО)) осреднялись (аппроксимировались) методом скользящей семилетней средней. Как указано в [1], климатическая система обладает «эффектом затухающей памяти». В силу этого влияние также могут оказывать климатические параметры нескольких предыдущих периодов. Поэтому обработанные временные ряды осадков и индексов циркуляции сопоставлялись синхронно (год в год) и со смещением на несколько лет, чтобы рассмотреть длительное воздействие макроциркуляционных условий на осадки XII в республике. Также по этому же принципу были построены графики коэффициентов корреляции. Указанные сопоставления приведены на рис. 4.

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

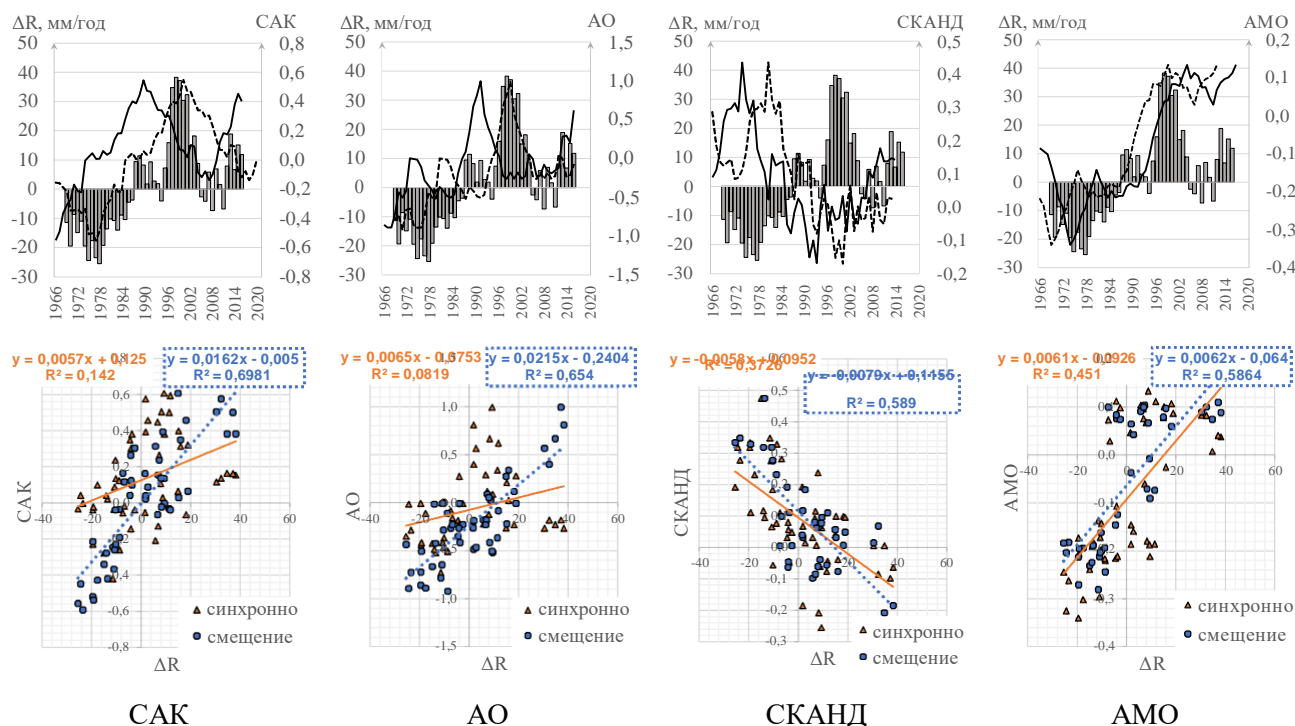


Рис. 4. Взаимосвязи аномалий суммы осадков холодного периода в Республики Башкортостан и индексов циркуляции атмосферы

Fig. 4. Interrelations of the precipitation amount anomalies of the cold period in the Republic of Bashkortostan and atmospheric circulation indices

Примечание: сверху – аппроксимированная многолетняя динамика аномалии суммы осадков холодного периода в РБ (столбчатая диаграмма) и индексов циркуляции атмосферы по синхронному ряду (сплошная линия), по ряду со смещением на несколько лет (пунктирная линия); снизу – графики их парной корреляции.

Note: above – the approximated long-term dynamics of the precipitation amount anomaly of the cold period in the Republic of Bashkortostan (bar chart) and atmospheric circulation indices along a synchronous series (solid line) and along a series with a shift of several years (dotted line); below – their paired correlation graphs.

Результаты совмещения аппроксимированных рядов аномалий осадков ХП и индексов циркуляции выявили значимые связи между ними. При синхронном совмещении наиболее тесная положительная связь проявляется с индексом АМО, отрицательная – с индексом СКАНД. Если рассматривать ряды со смещением, то тесные связи обнаружены со всеми индексами (табл. 3): САК ($r = 0,84$), АО ($r = 0,82$), АМО ($r = 0,77$) и СКАНД ($r = -0,62$).

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции между аппроксимированными рядами аномалий суммы осадков холодного периода Республики Башкортостан и индексов циркуляции атмосферы
Paired correlation coefficients between the approximated series of anomalies of the cold-period precipitation amount in the Republic of Bashkortostan and atmospheric circulation indices

Коэффициент корреляции	«Синхронно»	«Смещение»
$\Delta R_{1966-2020}$	САК ₁₉₆₆ : $r = 0,32$	САК ₁₉₅₅ : $r = 0,84$ (смещение индекса на 11 лет вперед)
	АО ₁₉₆₆ : $r = 0,25$	АО ₁₉₅₈ : $r = 0,82$ (смещение индекса на 8 лет вперед)
	СКАНД ₁₉₆₆ : $r = -0,59$	СКАНД ₁₉₅₄ : $r = -0,62$ (смещение индекса на 12 лет вперед)
	АМО ₁₉₆₆ : $r = 0,72$	АМО ₁₉₇₄ : $r = 0,77$ (смещение индекса на 8 лет назад)

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции на уровне достоверности $p = 0,05$.

Note: Statistically significant correlation coefficients at the significance level $p = 0.05$ are highlighted in bold.

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

Таким образом, можно констатировать влияние макроциркуляционных процессов на многолетние изменения осадков ХП на территории РБ. Рост индексов циркуляции САК, АО и АМО приводит к увеличению осадков. Усиление процессов Скандинавского блокирования обуславливает уменьшение суммы осадков в республике.

Анализ случаев сильных снегопадов. Для холодного периода были выявлены случаи сильных снегопадов: в настоящем исследовании учитывались случаи с интенсивностью от 10 мм/12 ч. Кроме того, все выявленные сильные снегопады были отсортированы по количеству осадков каждого случая: 10,0–14,9 мм; 15,0–19,9 мм; более 20 мм.

Анализ расчетов по случаям сильных снегопадов показал (рис. 5), что в 1966–2020 гг. в РБ было зафиксировано 385 случаев сильных снегопадов, из них – 4 случая очень сильных снегопадов (≥ 20 мм/12 ч), относящихся к критерию опасного явления: по 2 случая на МС Тукан и МС Зилаир. На территории Башкирского Предуралья обнаружено наименьшее число случаев сильных снегопадов, что особенно проявляется в его северной части (МС Янаул – 9 случаев, МС Дуван – 19 случаев). Наибольшее число случаев зафиксировано на горных метеостанциях: на МС Тукан (81 случай) и на МС Зилаир (78 случаев). Территориальное распределение случаев сильных снегопадов показывает, что они увеличиваются в южном направлении.

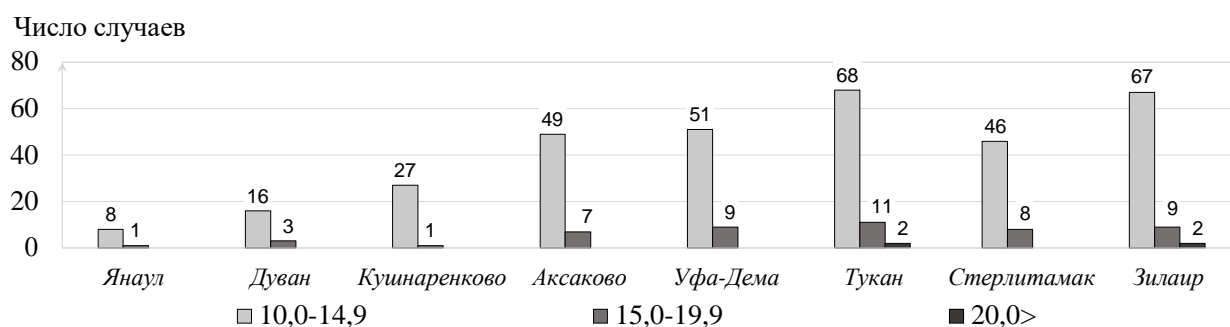


Рис. 5. Число случаев сильных снегопадов по сумме выпавших осадков (1966–2020 гг.)

Fig. 5. The number of heavy snowfall cases by the amount of precipitation (1966-2020)

Количество случаев сильных снегопадов с суммой осадков от 10,0 до 14,9 мм за 12 ч является преобладающим (86,2% общего числа случаев).

При рассмотрении случаев сильных снегопадов по месяцам (рис. 6) обнаружено, что в среднем наибольшее их количество приходится на ноябрь, декабрь и март, т.е. в предзимье и предвесенье. Наименьшее число случаев отмечается в январе. По всем метеостанциям структура по месяцам практически одинаковая, за исключением МС Уфа-Дема, на которой в марте количество сильных снегопадов наименьшее.

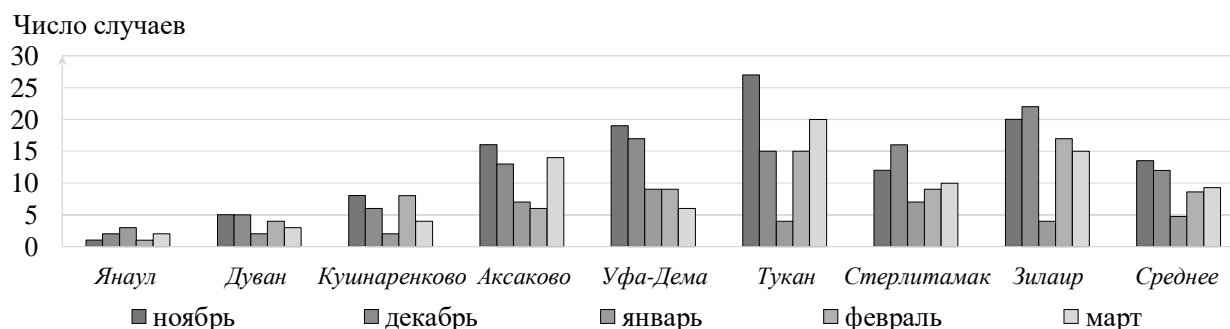


Рис. 6. Число случаев сильных снегопадов по месяцам (1966-2020 гг.)

Fig. 6. The number of heavy snowfall cases by month (1966-2020)

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

В ходе анализа распределения случаев по срокам метеорологических наблюдений (рис. 7) выявлено то, что их максимальное количество зафиксировано в сроки 03...15 и 15...03 ч (в среднем по республике 34 и 32% всех случаев). На метеостанциях, расположенных на Южном Урале, значительное количество сильных снегопадов также зафиксировано в сроки 18...06 ч.

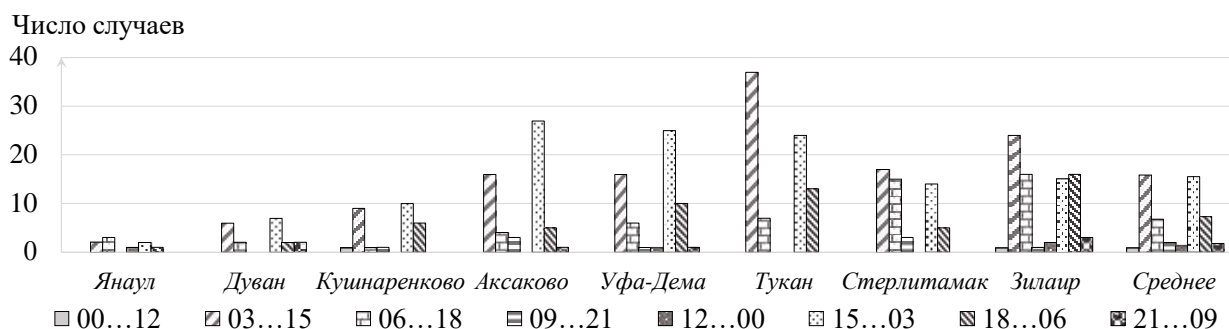


Рис. 7. Число случаев сильных снегопадов по срокам метеорологических наблюдений (1966–2020 гг.)

Fig. 7. The number of heavy snowfall cases by the timing of meteorological observations (1966–2020)

Причинами сильных снегопадов на территории РБ являются: 1) выход углубляющихся циклонов с Аральского и Каспийского морей или с северо-запада; 2) прохождение западных циклонов с Атлантики, приносящих на Урал теплый и влажный воздух; 3) прохождение северо-западных циклонов в весенние или осенние месяцы холодного периода; 4) перемещение окклюзированных фронтов (в том числе все случаи при весенних возвратах холодов). Также следует отметить, что из-за барьерного эффекта Урала увеличивается интенсивность осадков при прохождении циклонических образований или фронтов в горной части республики [13].

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие основные выводы.

Средняя многолетняя сумма осадков холодного периода, осредненная для территории РБ, составляет 172 мм (1966–2020 гг.). Наибольшая сумма осадков характерна для Южного Урала (185 мм), наименьшая – для Башкирского Зауралья (100 мм).

Доля осадков холодного периода на территории республики является меньшей по сравнению с долей осадков теплого периода, однако соотношение в разных базовых периодах показывает, что она несколько увеличивается: 1966–1990 гг. – 69 и 31%; 1981–2010 гг. – 67 и 33%; 1991–2020 гг. – 65 и 35%.

Наибольшая сумма осадков в период 1966–2020 гг. выпала в ноябре (43 мм), наименьшая – в феврале и марте (по 28 мм). Выявлена тенденция к росту суммы осадков холодного периода (6,2 мм/10 лет). Положительная тенденция этой величины наблюдалась в 1966–1990 и 1981–2010 гг., затем в 1991–2020 гг. она сменилась на отрицательную (–1,2 мм/10 лет). В последний базовый период наблюдается уменьшение осадков первой части холодного периода (ноябрь–январь) и их увеличение во второй части (февраль–март). В марте выявлен статистически значимый рост суммы осадков.

С использованием корреляционного анализа обнаружены значимые связи между осадками холодного периода и температурой воздуха ($r = 0,45$), относительной влажностью воздуха ($r = 0,30$) и высотой снежного покрова ($r = 0,65$).

При оценке влияния макроциркуляционных процессов на многолетние изменения осадков холодного периода на территории РБ установлено, что рост циркуляционных индексов САК, АО и АМО приводит к увеличению осадков, а усиление процессов Скандинавского блокирования – к их уменьшению в республике.

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

Анализ случаев сильных снегопадов показал, что в Башкортостане было зафиксировано на рассматриваемых метеостанциях 385 случаев сильных снегопадов (сумма осадков от 10 мм/12 ч и более), из них – 4 случая очень сильных снегопадов (≥ 20 мм/12 ч), относящихся к критерию опасного явления: по 2 случая на метеостанциях Тукан и Зилаир (Южный Урал). При рассмотрении территориального распределения случаев сильных снегопадов установлено, что их количество увеличивается в южном направлении. Наибольшее число случаев сильных снегопадов приходится на ноябрь, декабрь и март. Максимальное их количество выявлено в сроки метеорологических наблюдений 03...15 и 15...03 ч (в среднем по республике 34 и 32% всех случаев). На метеостанциях, расположенных на Южном Урале, значительное количество сильных снегопадов также зафиксировано в сроки 18...06 ч.

Таким образом, результаты представленной исследовательской работы показывают, что в условиях глобального потепления климата наблюдаются изменения в режиме осадков холодного периода на территории Республики Башкортостан.

Список источников

1. Аптуков В.Н., Митин В.Ю. Статистические модели прогнозирования среднемесячной температуры и месячной суммы осадков в г. Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. №2 (57). С. 84-95. doi:10.17072/2079-7877-2021-2-84-95.
2. Архив погоды с 1929 года. URL: http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php (дата обращения: 15.03.2022).
3. Галимова Р.Г. Климат Республики Башкортостан. Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. С. 96.
4. Галимова Р.Г. Современный климатический режим атмосферных осадков на территории Республики Башкортостан // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №2 (53). С. 111-119. doi: 10.17072/2079-7877-2020-2-111-119.
5. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. СПб.: ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», 2017. 106 с.
6. Камалова Р.Г., Нурмухаметова Э.З., Исмагилова А.И. Климатическая характеристика холодного периода в городе Уфа // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31, № 4. С. 443-454. doi: 10.35634/2412-9518-2021-31-4-443-454.
7. Нурмухаметова Э.З. Анализ случаев сильных снегопадов на метеостанциях Уфа-Дёма и Тукан // Современные проблемы естественных наук: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 189-191.
8. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Мирсаева Н.А., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В. Тенденции изменения основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в XIX-XXI веках // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8. № 2. С. 209-237. doi: 10.21513/2410-8758-2022-2-209-237.
9. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX-XXI веках // Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36-46.
10. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Аухадеев Т.Р., Мягков М.А., Парубова Е.М. Изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX-XXI веках // Климатические риски и космическая погода: мат. Межд. конф. Иркутск, 2021. С. 292-298.
11. Перечень и критерии опасных явлений и комплекс неблагоприятных явлений на территории Республики Башкортостан. URL: <http://www.meteorb.ru/perechen-i-kriterii-opasnykh-yavleniy-i-kompleksovnepblagopriyatnykh-yavleniy-po-territorii-respubliki-bashkortostan> (дата обращения: 28.04.2022).
12. Петров А.И., Петров В.И. Влияние атмосферных осадков на загруженность улиц и дорог и устойчивость транспортного процесса в крупнейших городах России в зимний период // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 194-200.
13. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Пермь: Изд-во «Раритет-Пермь», 2014. 296 с.
14. РД 52.04.563-2013. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. СПб.: ГГО им. А.И. Воейкова, 2013. 58 с.
15. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М. Современные тенденции изменения климата в бассейне реки Урал // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 106-117. doi: 10.26516/2073-3402.2022.41.106.
16. Специализированные массивы: Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 15.03.2022).

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

17. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание технологий, 2022. 124 с.
18. Удмуртский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Верхне-волжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <http://udmpogoda.ru/> (дата обращения: 15.03.2022).
19. Фондовые материалы БашУГМС.
20. Cities and Climate Change: Global Human Settlements Report (UN-Habitat). London: Washington, 2011. 300 p. URL: <https://www.unhabitat.org> (дата обращения: 15.12.2021).
21. Galimova R., Silantyev K. The analysis of the long-term dynamic of the amount of atmospheric precipitation on the territory of the republic of Bashkortostan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 012020. doi: 10.1088/1755-1315/321/1/012020.
22. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) [Сайт]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/> (дата обращения: 8.10.2022).
23. Sixth Assessment Report IPCC [Сайт]. URL: <https://www.ipcc.ch> (дата обращения: 10.02.2022).

References

1. Aptukov V.N., Mitin V.Yu. (2021), Statistical models for forecasting average monthly temperature and monthly precipitation amount in Perm, *Geograph. bulletin*, no. 2(57), pp. 84-95.
2. *Weather archive since 1929* [Site], URL: http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php/ (accessed date: 15.03.2022).
3. Galimova R.G. (2017), *Climate of the Republic of Bashkortostan*, Ufa, Publishing of Bashkir State University.
4. Galimova R.G. (2020), Modern climatic regime of precipitation in the territory of the Republic of Bashkortostan, *Geograph. Bulletin*, vol. 53, no. 2, pp. 111-119.
5. *Report on climate risks on the territory of the Russian Federation* (2017), St. Petersburg, Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikova.
6. Kamalova R.G., Nurmukhametova E.Z., Ismagilova A.I. (2021), Climatic characteristics of the cold period in the city of Ufa, *Bulletin of the Udmurt University. Series Biology. Science and Earth*, vol. 31, no. 4. pp. 443-454.
7. Nurmukhametova E.Z. (2021), Analysis of cases of heavy snowfall at the Ufa-Dema and Toukan weather stations, Ufa, *Bashkir State University*, pp. 189-191.
8. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Mirsaeva N.A., Shantalinsky K.M., Guryanov V.V. (2022), Trends in main climate indicators on the territory of the Volga Federal District in the XIX-XXI centuries, *Fundamental and applied climatology*, vol. 8, no. 2, pp. 209-237.
9. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Shantalinskiy K.M., Gur'yanov V.V., Aukhadeev T.R. (2020), Climatic changes in the Volga Federal District in the XIX-XXI centuries, *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6. pp. 36-46.
10. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Shantalinsky K.M., Mirsaeva N.A., Aukhadeev T.R., Myagkov M.A., Parubova E.M. (2021), Changes in air temperature and atmospheric precipitation on the territory of Russia in the XX-XXI centuries, Irkutsk, *Irkutsk State University*, pp. 292-298.
11. *The list and criteria of dangerous phenomena and a complex of adverse phenomena on the territory of the Republic of Bashkortostan* [Site], URL: <http://www.meteorb.ru/perechen-i-kriterii-opasnykh-yavleniy-i-kompleksove-nblagopriyatnykh-yavleniy-po-territorii-respubliki-bashkortostan> (accessed date: 28.04.2022).
12. Petrov A.I., Petrov V.I. (2015), Influence of atmospheric precipitation on the congestion of streets and roads and the stability of the transport process in the largest cities of Russia in the winter period, *Bulletin of Civil Engineers*, no. 1 (48), pp. 194-200.
13. Pyankov S.V., Shikhov A.N. (2014), Dangerous hydrometeorological phenomena: regime, monitoring, forecast, Perm, *Rarity-Perm*.
14. Working Document 52.04.563-2013 (2013), *Instructions for the preparation and transmission of storm messages by observation units*, St. Petersburg, Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikova.
15. Sivokhip Zh.T., Pavleychik V.M. (2022), Current climate change trends in the Ural River basin, *Izvestiya Irkutsk State University, Series: Earth Sciences*, vol. 41, pp. 106-117.
16. *All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center*, [Site], URL: <http://meteo.ru/data> (accessed date: 17.05.2021).
17. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary (2022), St. Petersburg, *Science-intensive technologies*.
18. *Udmurt Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – Branch of the Federal State Budgetary Institution «Upper Volga Hydrometeorology and Environmental Monitoring Department»* [Site], URL: <http://udmpogoda.ru/> (accessed date: 22.09.2022).
19. Stock materials of the Bashkir Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring.
20. *Cities and Climate Change: Global Human Settlements Report* (UN-Habitat) (2011), London-Washington, URL: <https://www.unhabitat.org> (accessed date: 15.12.2022).

Метеорология

Камалова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Фатхутдинова Р.Ш., Нурмухаметова Э.З.

21. Galimova R., Silantyev K. (2019), The analysis of the long-term dynamic of the amount of atmospheric precipitation on the territory of the republic of Bashkortostan, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, С. 012020.

22. *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA) [Site], URL: <http://www.esrl.noaa.gov/> (accessed date: 8.10.2022).

23. *Sixth Assessment Report IPCC* [Site], URL: <https://www.ipcc.ch> (accessed date: 10.02.2022).

Статья поступила в редакцию: 28.02.2023; одобрена после рецензирования: 16.04.2023; принята к опубликованию: 12.09.2023.

The article was submitted: 28 February 2023; approved after review: 16 April 2023; accepted for publication: 12 September 2023.

Информация об авторах

Камалова Рита Галимьяновна

старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Уфимский университет науки и технологий; 450076, Россия, г. Уфа, ул. З. Валиди, 32
старший научный сотрудник лаборатории мониторинга климатических изменений и углеродного баланса экосистем, Уфимский государственный нефтяной технический университет; 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

e-mail: galim-rita@yandex.ru

Переведенцев Юрий Петрович

профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Казанский федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

e-mail: yuri.perevedentsev@kpfu.ru

Фатхутдинова Регина Шамилевна

старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Уфимский университет науки и технологий; 450076, Россия, г. Уфа, ул. З. Валиди, 32

e-mail: regishka1503@yandex.ru

Нурмухаметова Эльмира Зульфировна

бакалавр направления «Гидрометеорология» Уфимский университет науки и технологий; 450076, Россия, г. Уфа, ул. З. Валиди, 32

e-mail: elmira18.01.02@gmail.com

Information about the authors

Rita G. Kamalova

Senior Lecturer, Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Ufa University of Science and Technology; 32, Z. Validi st., Ufa, 450076, Russia; Senior Researcher, Laboratory for Monitoring Climate Change and Ecosystem Carbon Balance, Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov st., Ufa, 450064, Russia

Yuri P. Perevedentsev

Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Kazan Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

Regina Sh. Fatkhutdinova

Associate Professor, Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Ufa University of Science and Technology; 32, Z. Validi st., Ufa, 450076, Russia

Elmira Z. Nurmukhametova

Bachelor of Hydrometeorology, Ufa University of Science and Technology; 32, Z. Validi st., Ufa, 450076, Russia

Вклад авторов:

Камалова Р.Г. – формулировка идеи, написание статьи, валидация результатов.

Переведенцев Ю.П. – формулировка идеи, научное редактирование текста.

Фатхутдинова Р.Ш. – подготовка картографических материалов, работа с ГИС, обработка статистических материалов.

Нурмухаметова Э.З. – сбор, систематизация и анализ статистических материалов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors:

Rita G. Kamalova – formulation of the idea; writing the article; validation of the results.

Yuri P. Perevedentsev – formulation of the idea; scientific editing of the text.

Regina Sh. Fatkhutdinova – creation of the maps; work with the GIS; data processing; processing of statistical material.

Elmira Z. Nurmukhametova – collection, systematization, and analysis of statistical material.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest related to the publication of this article