

УДК 551.524(470)(091)+551.577(470)(091)

Изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX–XXI веках

Ю. П. Переведенцев (Yuri.Perevedentsev@ksu.ru)¹, Б. Г. Шерстюков²
К. М. Шанталинский¹, Н. А. Мирсаева¹, Т. Р. Аухадеев¹, М. А. Мягков¹
Е. М. Парубова¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

² Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Обнинск, Россия

Аннотация. Рассматриваются пространственно-временные изменения приземной температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в 2 периода: 1966–2000 гг. и 2001–2019 гг. Показано, что в XXI в. на всей территории России средняя годовая температура превышает её значения, рассчитанные по выборке 1966–2000 гг. В январе понижение температуры выявлено в Западной Сибири и на Чукотке, в июле вновь в Западной Сибири и на Северной Земле. Выявлены территории с уменьшением и ростом количества осадков в XXI в. Если в центре и на юге Европейской части России (ЕЧР) произошел недобор осадков, то в Хабаровском крае, на юге Приморья выявлено их значительное увеличение. Установлена корреляционная связь между колебаниями температуры и циркуляционными модами.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, территория России, циркуляция атмосферы.

Введение

Современные климатические вызовы широко обсуждаются в научных и общественно-политических кругах в связи с их возможными последствиями негативного характера для природных и социально-экономических систем. С целью обезопасить государства от неблагоприятных климатических последствий и обеспечить их устойчивое развитие в декабре 2015 г. были подписаны Парижские соглашения, направленные на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу, с целью избежать прироста средней глобальной температуры воздуха на 2 °С. В последующем эта планка была снижена до 1,5 °С. В [2] обсуждаются последствия для природных и социально-экономических систем, которые могут возникнуть в мире в случае повышения средней глобальной температуры на 1,5 °С. В России с пониманием относятся к проблеме глобального потепления, так как на ее территории, особенно на Арктическом побережье, темпы потепления более высокие, чем в других регионах мира. В 2009 г. была принята Климатическая доктрина РФ, а обобщение результатов современных климатических исследований полученных российскими учеными было представлено в [1]. Следует отметить, что природа современных и будущих климатических изменений не совсем понятна и существуют различные предположения на этот счет [3]. Возможно, что ожидаемая в 2022 г. публикация очередного Оценочного доклада по климату МГЭИК поможет выяснить ряд вопросов связанных с генезисом климатических изменений.

В настоящей статье рассматриваются пространственно-временные изменения основных климатических параметров на территории России в период

1966–2019 гг. Она является развитием ранее опубликованных авторами [5; 6] региональных климатических исследований.

Данные и методика

В качестве исходных данных для расчета климатических характеристик на территории России использовались данные наблюдений на 1251 метеорологической станции в период 1966–2019 гг. Находились средние величины для температуры воздуха (\bar{T}) и атмосферных осадков (\bar{Q}) для двух периодов: 1966–2000 гг. и 2001–2019 гг. Затем между средними значениями находились разности (ΔT и ΔQ) для центральных месяцев сезонов и годовых значений. Анализ пространственно-временной изменчивости указанных характеристик по всей территории России проводился с помощью построенных карт и таблиц (из-за ограниченного объема статьи карты в ней приводятся лишь для годовых значений). С целью объяснения изменчивости термического режима в российских регионах находились коэффициенты корреляции между индексами атмосферной циркуляции и температурой воздуха (ТВ) 26 станций, расположенных на всей территории России.

Результаты и их обсуждение

Анализировались карты разностей между средней температурой за 2001–2019 гг. и температурой за 1966–2000 гг. по территории России, данные табл. 1. В январе на большей части территории России в XXI в. произошло потепление климата относительно более раннего периода. Наибольший прирост ТВ (больше 2 °C) произошел на севере и северо-востоке европейской части России (ЕЧР), на Арктическом побережье, включая острова, в Якутии и Амурской области. Похолодание произошло в двух регионах: в Южной Сибири и на Чукотке. Так, на ст. Диксон ТВ повысилась на 3,3 °C, а на ст. Барнаул понизилась на 0,9 °C.

Как следует из табл. 1, в апреле на территории России в XXI в. ТВ повысилась относительно последних десятилетий XX в. Так, на ст. Диксон $\Delta T = 2,8$ °C, в Якутске $\Delta T = 2,4$ °C и лишь в Крыму, в Краснодарском крае (ст. Сочи) ТВ понизилась на 0,1–0,2 °C. То же произошло и Хабаровском крае, на ст. Николаевске-на-Амуре $\Delta T = -0,2$ °C. В июле потепление произошло на всей ЕЧР, где выделяется её юго-западная часть, где повышение ТВ произошло в пределах 1,5–1,9 °C, на остальной части европейской территории ΔT составило 1,0–1,4 °C. В Западной Сибири и на о. Северная Земля наблюдается похолодание ($\Delta T = -0,5 \dots -0,9$ °C). В целом на территории Западной и Средней Сибири июльское потепление в XXI в. не существенно, оно более выражено на Северо-Востоке России, Камчатке и в Забайкалье. В октябре на всей территории России в XXI в. произошло потепление. ТВ значительно повысилась в Арктике (ст. Диксон, $\Delta T = 3,5$ °C), в Восточной Сибири ($\Delta T = 2,4$ °C) и лишь на Камчатке (ст. Петропавловск-на-Камчатке) произошло небольшое похолодание ($\Delta T = -0,2$ °C).

Таблица 1

Средняя температура воздуха в период 1966–2000 гг. (\bar{T} °C)
 и ее изменения в 2001–2019 гг. (ΔT °C)

№	Станция	Январь		Апрель		Июль		Октябрь		Год	
		\bar{T}	ΔT	\bar{T}	ΔT	\bar{T}	ΔT	\bar{T}	ΔT	\bar{T}	ΔT
1	Диксон	-26,4	3,3	-17,6	2,8	4,2	2,0	-8,8	3,5	-11,8	2,2
2	Мурманск	-11,0	1,2	-1,6	1,8	12,6	1,0	0,7	1,1	0,1	1,2
3	Архангельск	-14,2	2,6	-0,2	1,3	15,7	1,3	1,5	1,1	0,8	1,4
4	Санкт-Петербург	-7,1	1,7	4,3	1,1	17,9	1,7	5,6	0,6	5,2	1,3
5	Москва	-8,3	1,6	6,3	0,6	18,3	1,9	5,0	0,8	5,2	1,3
6	Екатеринбург	-14,1	1,1	4,4	0,2	18,4	0,6	2,2	1,1	2,4	1,0
7	Оренбург	-13,4	1,3	7,1	0,6	22	0,7	5,0	1,2	4,8	1,2
8	Цимлянск	-5,3	1,5	9,9	0,3	23,3	1,6	9,3	1,0	9,1	1,3
9	Симферополь	-0,3	0,9	10,3	-0,1	21,7	1,6	10,9	0,9	10,6	1,1
10	Сочи	5,9	0,6	12,3	-0,2	22,9	0,9	15,4	0,9	14	0,8
11	Махачкала	0,5	0,5	10,4	0,0	24,6	0,5	13,3	1,1	12,2	0,7
12	Омск	-17,5	-0,1	3,8	1,0	19,6	-0,6	2,5	1,0	1,4	0,9
13	Барабинск	-18,5	-0,4	2,2	1,5	19,3	-0,7	1,8	1,0	0,6	0,9
14	Томск	-18	-0,3	1,3	1,4	18,8	-0,3	1,1	0,9	0,3	0,9
15	Туруханск	-26,7	0,5	-8,0	2,1	16,5	0,2	-6,1	2,4	-6,5	1,3
16	Енисейск	-21,8	1,1	-0,3	1,6	18,7	-0,1	-0,5	1,1	-1,4	1,3
17	Иркутск	-18,7	1,0	2,0	1,6	17,8	1,3	1,2	0,9	0,4	1,1
18	Якутск	-40	2,9	-5,4	2,4	18,9	1,0	-8,4	1,6	-9,6	1,9
19	Николаевск-на-Амуре	-22,6	1,4	-2	-0,2	16,7	0,1	1,7	0,4	-2,0	0,6
20	Владивосток	-12	0,1	5,3	0,1	18,3	-0,3	9,2	0,1	5,2	0,0
21	Магадан	-16,7	0,9	-5,0	1,1	11,3	0,9	-1,5	0,8	-3,1	1,0
22	Петропавловск-Камчатский	-7,2	1,0	0,3	0,2	12,8	0,6	5,6	-0,2	2,8	0,5
23	Барнаул	-16,1	-0,9	3,6	1,5	20	-0,4	3,0	0,9	2,1	0,7
24	Усть-Кокса (Алт. край)	-20,3	-0,3	3,1	1,3	16,2	0,3	1,0	0,6	-0,5	0,8
25	Казань	-12,3	2,1	5,2	0,8	19,5	1,4	3,8	1,5	3,9	1,5
26	Нижний Новгород	-10,6	1,8	6,0	0,0	18,7	1,2	4,2	0,8	4,3	1,1
27	Самара	-11,8	1,9	7,0	0,5	20,8	1,3	5,0	1,4	5,0	1,3
28	Саратов	-9,3	1,1	8,3	0,4	22,1	0,9	6,3	0,8	6,5	1,0
29	Марково(Чук.)	-25,1	-1,4	-14,2	2,2	14,2	1,1	-8,7	3,2	-8,3	1,5

Примечание: \bar{T} – средняя температура в период 1966–2000 гг., ΔT – разность между средними температурами двух периодов: 2001–2019 гг. и 1966–2000 гг.

Рассмотрение распределения разностей между среднегодовыми температурами двух периодов показывает, что на всей территории России произошло потепление климата в XXI в. особенно заметное в Арктической полосе азиатской части РФ, всей ЕЧР и в северной части Сибири и Дальнего Востока (с 60° с. ш.), менее заметное потепление отмечается в южных районах Сибири и Дальнего Востока (рис. 1).

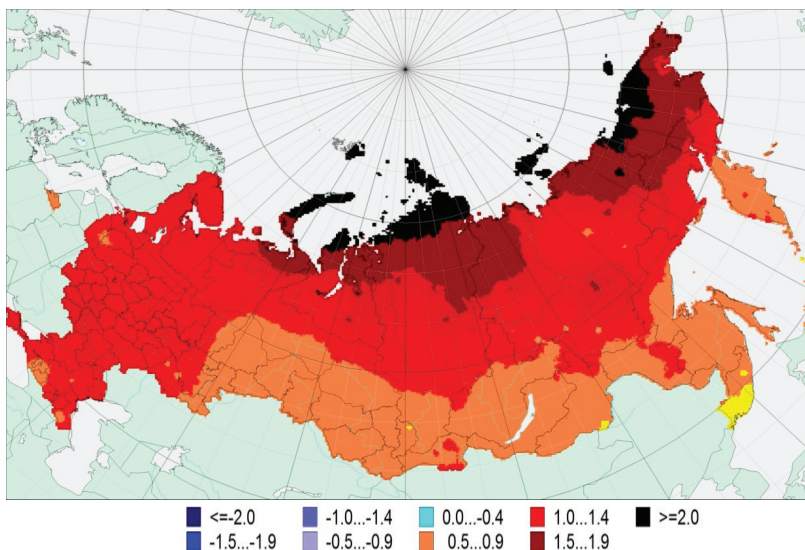


Рис. 1. Разности между среднегодовой температурой за 2001–2019 гг. и за 1966–2000 гг.

Пространственное распределение разностей между количеством атмосферных осадков осредненных за 2001–2019 гг. и 1966–2000 гг. имеет более сложную структуру, чем для температуры воздуха. В январе на ЕЧР осадков в XXI в. выпадало больше, чем в более ранний период 1966–2000 гг. Разность составила 4–7 мм, в отдельных местах (в Карелии, на Черноморском побережье Кавказа) она достигала 8–9 мм. В Западной Сибири, на юге Средней Сибири, на арктических островах, на Дальнем Востоке от Чукотки до Амура в XXI в. осадков выпадало меньше, чем в конце XX в. на 4–5 мм. В Средней Сибири в широкой полосе вдоль меридиана от Арктического побережья до границы с Китаем, наоборот, осадков выпадало в XXI в. больше, чем в XX в. на 2–3 мм. То же самое наблюдается на Сахалине ($\Delta Q = 6\text{--}7$ мм) и Приморье ($\Delta Q = 2\text{--}3$ мм). В июле картина распределения величины ΔQ более пестрая, чем в январе. Во многих регионах разность между осадками двух периодов имеет отрицательный знак. Это в центре и на юге ЕЧР ($\Delta Q < -8$ мм), в Западной Сибири ($\Delta Q < -8$ мм), на Чукотке, Камчатке, в Забайкалье. В то же время в Карелии, на юге Средней Сибири, в бассейне реки Амур, в Приморье осадки усилились в XXI в., их разница между двумя периодами составила > 10 мм.

Картина выглядит более просто в случае пространственного распределения разностей между годовым количеством осадков двух рассматриваемых периодов (рис. 2). На большей части территории России в XXI в. осадков выпадало больше, чем в XX в. ΔQ меняется в широких пределах. Это особенно заметно в центральной и северной частях ЕЧР (исключением является юго-

запад и Северный Кавказ, Южный Урал). На территории Западной и Восточной Сибири преобладает увеличение осадков в южных и восточных районах. Выделяется недобором осадков Забайкалье, и узкая полоса вдоль Арктического побережья от устья Лены до Чукотки. Регионы, где годовое количество осадков уменьшилось в XXI в., имеют очаговый характер. Так, по данным ст. Иркутск они уменьшились на 11 мм, а южнее Читы ближе к границе с Китаем на 30 мм.

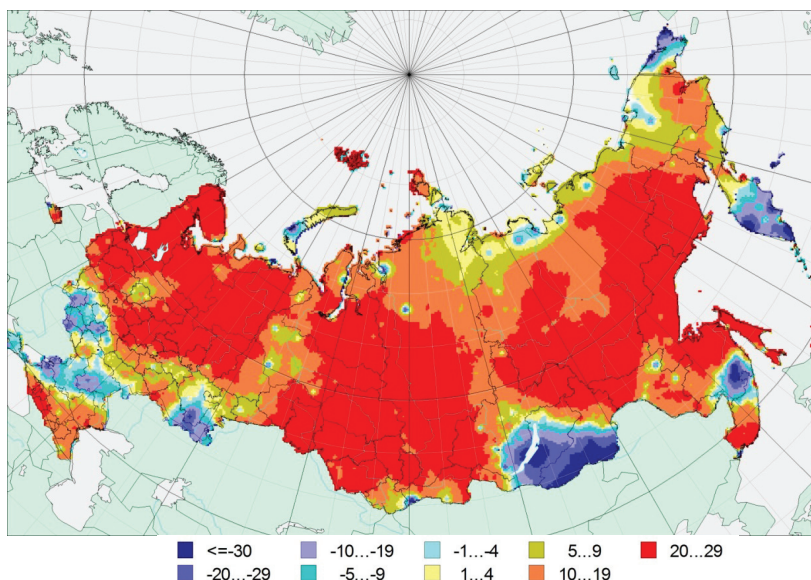


Рис. 2. Разности между годовыми суммами осадков за 2001–2019 гг. и за 1966–2000 гг.

К числу важнейших факторов, влияющих на характер атмосферных процессов, относится циркуляция атмосферы [4]. С целью оценки ее влияния на температурный режим регионов России рассчитывались коэффициенты парной корреляции между среднемесячными значениями температуры воздуха 26 станций и индексами атмосферной циркуляции: NAO, AO, EAWR, SCAND, POL, EA, WP, PNA в 1966–2019 гг. Достаточно тесные положительные связи выявлены для многих Европейских и Азиатских регионов в холодное время года с индексами NAO и AO, значимые отрицательные связи с индексом EAWR в теплое время года, с индексом SCAND значимые отрицательные связи для Сибирских городов на протяжении всего года и с индексом WP хорошо коррелирует температура воздуха Восточной Сибири.

Таблица 2

Атмосферные осадки в период 1966–2000 гг. (\bar{Q} мм)
 и их аномалии в 2001–2019 гг. (ΔQ мм)

№	Станция	Январь		Апрель		Июль		Октябрь		Год	
		\bar{Q}	ΔQ	\bar{Q}	ΔQ	\bar{Q}	ΔQ	\bar{Q}	ΔQ	\bar{Q}	ΔQ
1	Диксон	31,7	7,1	18,2	5,2	37,7	-4,5	31,6	5,8	353	46
2	Мурманск	29,3	4,8	21,6	5	61,8	8,2	46,5	10,3	471	59
3	Архангельск	33	8,8	32,3	-3	62,7	6,9	63,8	3,3	572	61
4	Санкт-Петербург	3,9	7,6	36,3	0,8	79,8	7,6	67,7	-4,6	639	53
5	Москва	47,1	5,6	41,7	-2,7	88,2	-5,7	66	4	702	8
6	Екатеринбург	22,9	1,6	26,6	7,5	95,3	-14,1	40,1	3,1	507	24
7	Оренбург	28,3	-2,1	24,8	2,2	38,7	3,6	34,3	2,5	362	-3
8	Цимлянск	37,2	8,7	37,3	-10,4	42	-37,	30,6	15,7	462	10
9	Симферополь	40,9	7,2	36,6	-5,8	52,1	-9	36,3	11,7	522	-45
10	Сочи	181,3	-6,5	111,8	-0,9	112,3	-3	153,6	29,5	1628	35
11	Махачкала	25,9	12,9	18,5	1,7	24,1	-4,4	37,2	10,9	344	40
12	Омск	22,2	-1,8	21,2	7,2	61,1	6,8	32,2	4,1	398	34
13	Барабинск	20,7	-1,8	20,9	0,8	62,1	4	33,5	2,1	384	6
14	Томск	34,3	-1,3	29,9	6,6	67,6	11,2	51,4	-0,4	549	39
15	Туруханск	32,8	0,7	32,3	3,4	61,9	-3,3	70,1	9,8	561	81
16	Енисейск	28,3	-2,4	25,4	5,4	50,6	22	45,9	-0,8	471	42
17	Иркутск	12,2	3,8	18	4,7	116,3	-10,6	25,2	-3	474	-11
18	Якутск	8,8	0,6	9	-1,2	37,8	4	19,6	-1,5	238	-3
19	Николаевск-на-Амуре	36,5	12,3	35,8	3,5	70,4	-17,9	79,8	-1,5	647	45
20	Владивосток	11,3	2,8	48,9	0,7	127,6	50,8	69,3	-2	811	69
21	Магадан	15,8	2,1	30,7	-3,8	64,4	9,7	74,6	-2,5	534	92
22	Петропаловск-Камчатский	112,3	-8,5	98,3	-12	64,6	-9,9	186,5	-34,5	1155	65
23	Барнаул	26,1	-4,2	24,9	4,7	61,2	15,9	40,2	-1	421	20
24	Усть-Кокса (Алт. край)	14,9	-2,5	28,1	7	79	-1	42	-6,5	477	-6
25	Казань	34,7	14,3	33,6	-1,2	67	0,7	52,8	0,4	542	40
26	Нижний Новгород	39	-2,4	35,8	-0,7	75,6	-1,3	61,2	-3,1	599	-20
27	Самара	46,3	10,8	39,1	1	57,2	-10,5	49,8	4,9	555	-9
28	Саратов	41,3	7,6	29,2	8	50,7	-5,8	33,1	10,1	471	27
29	Марково (Чук.)	31,8	-7,4	19,4	-1,5	48,1	-3,4	34,5	8,4	401	17

Заключение

Сравнительный анализ изменчивости температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в 1966–2000 гг. и 2001–2019 гг. выявил следующие особенности:

1. В январе XXI в. температура воздуха на территории России значительно повысилась, особенно на севере ЕЧР, арктическом побережье Евразии, в Якутии. Понижение температуры воздуха отмечено лишь на юге Западной Сибири и на северо-востоке страны. В июле вновь отмечается пониженный температурный фон на юге Западной Сибири. Разности среднегодовых значений температуры воздуха рассматриваемых периодов показывают, что на

всей территории России в XXI в. повысилась температура воздуха особенно на ЕЧР и в северной половине Азиатской территории.

2. Разности сумм атмосферных осадков в рассматриваемые периоды выявили их пятнистую структуру в распределении на территории России. В январе на ЕЧР количество осадков увеличилось, а на большей части Сибири и Дальнего Востока уменьшилось. В июле выявились регионы с увеличением осадков: это Карелия, южные регионы Сибири и Приморье. На ЕЧР и в Западной Сибири, в Забайкалье, на Чукотке, Камчатке количество осадков уменьшилось. В годовом плане картина упростилась – на большей части территории России в XXI в. количество осадков возросло.

3. Корреляционный анализ между индексами атмосферной циркуляции и температурой воздуха на отдельных станциях выявил степень влияния атмосферной циркуляции на термический режим географических регионов России.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 20-55-00014).

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М. : Росгидромет, 2014. 1009 с.
2. Гладильщикова А. А., Дмитриева Т. М., Семенов С. М. Специальный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата «Глобальное потепление на 1,5 °C» // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 4. С. 5–18.
3. Логинов В. Ф., Лысенко С. А. Современные изменения глобального и регионального климата. Минск : Беларуская навука, 2017. 318 с.
4. Мордвинов В. И., Латышева И. В. Теория общей циркуляции атмосферы, изменчивость крупномасштабных движений. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. 197 с.
5. Опасные гидрометеорологические явления на территории Приволжского федерального округа / Ю. П. Переведенцев, А. В. Шумихина, К. М. Шанталинский, В. В. Гурьянов // Метеорология и гидрология. 2019. № 12. С. 20–30.
6. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX–XXI веках / Ю. П. Переведенцев, Б. Г. Шерстюков, К. М. Шанталинский, В. В. Гурьянов, Т. Р. Аухадеев // Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36–46.