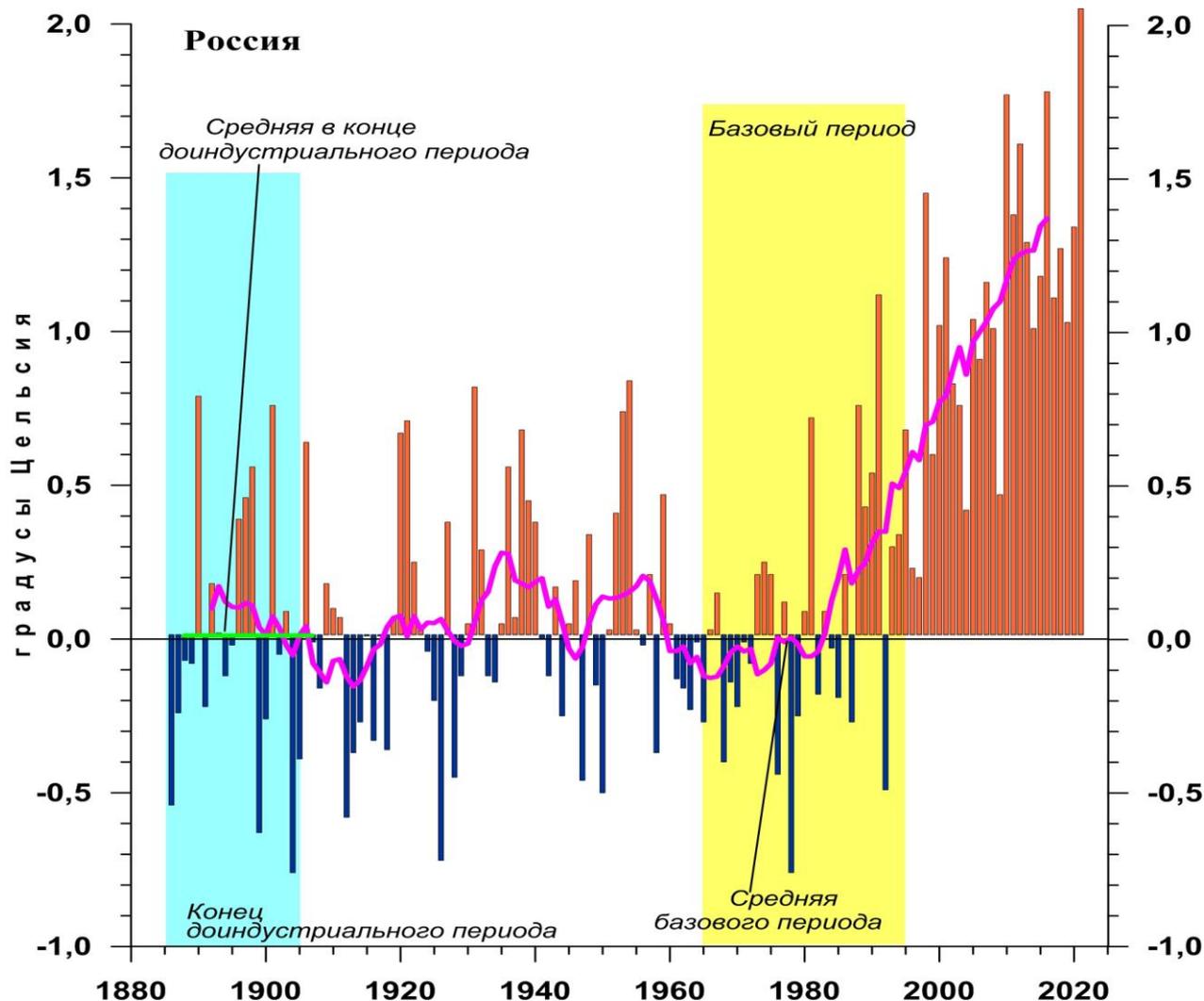


Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2021

ЛЕТО: июнь - август

Обзор состояния и тенденций изменения
климата России

★
Москва 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (летний сезон).....	6
2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕТА 2021 г. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	7
3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН.....	16
4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ, 1936-2021 гг.....	21
5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2021 гг. (летний сезон)	26
ВЫВОДЫ	28
ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности лета 2021 г. на территории Республики Беларусь	31

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2021 гг. (лето)
Аномалия температуры рассчитана как отклонение от средней температуры за базовый период 1961-1990 гг. Столбцы диаграммы представлены относительно средней за 1887 – 1905 гг. (конец «доиндустриального» периода)

ВВЕДЕНИЕ

Все приведенные в Бюллетене оценки для территории России получены по данным о средних месячных значениях температуры приземного воздуха и месячных суммах атмосферных осадков в базовых архивах ФГБУ «ИГКЭ». Архивы включают данные инструментальных наблюдений на 1383 (температура и осадки) и 3288 (только температура) станциях земного шара, в том числе 455 (702) станций стран СНГ и Балтии (из них 310 (577) станций России). В настоящем выпуске использованы данные 248 (для осадков по архиву R1383) и 395 (для температуры по архиву T3288) российских станций, по которым своевременно поступили сводки КЛИМАТ в оперативном потоке.

Под «нормой» в бюллетене понимается среднее многолетнее значение рассматриваемой климатической переменной за 1961-1990 гг. (базовый период). Аномалии температуры определяются как отклонения наблюденного значения от нормы. Аномалии осадков рассматриваются как в отклонениях от нормы (аналогично температуре), так и в процентах от нормы, то есть как процентное отношение количества выпавших осадков к соответствующему значению нормы. Вероятность превышения текущего значения климатической переменной (или ее аномалии) рассчитывается как доля наблюдений в прошлом, в которых значение этой переменной (или ее аномалии) было не больше текущего.

Регионально осредненные оценки приводятся в Бюллетене для физико-географических регионов России (рис. 1) и Федеральных округов РФ (рис. 2) по данным с 1936 г., так как до этого срока в архиве имеются массовые пропуски данных наблюдений. Следует заметить, что в соответствии с Указом Президента России от 3 ноября 2018 года №632 Республика Бурятия и Забайкальский край исключены из состава СФО и переданы в ДФО.



Рисунок 1 – Физико-географические регионы РФ, рассматриваемые в Бюллетене.

В качестве региональных климатических переменных анализируются регионально осредненные аномалии и индексы экстремальности и аномальности рассматриваемых метеорологических полей.

Для температуры воздуха все данные в тексте и на картах приведены по архиву Т3288, а осредненные по регионам данные на графиках и в таблицах – по двум архивам: Т3288 и Т1383. Для осадков все оценки приведены по базовому архиву R1383.

В качестве региональных климатических переменных анализируются регионально осредненные аномалии и индексы экстремальности и аномальности рассматриваемых метеорологических полей.

Аналогично, для каждого региона по данным о станционных нормах рассчитываются регионально осредненные нормы. Региональные средние значения самих климатических переменных рассчитываются суммированием регионально осредненных норм и регионально осредненных аномалий (такая процедура уменьшает смещение средних вследствие пропусков в рядах наблюдений).



Рисунок 2 - Федеральные округа Российской Федерации

Индексы экстремальности климата соответствуют площади под экстремальными аномалиями заданной обеспеченности. Это вероятностные индексы, в основе которых лежат значения эмпирической функции распределения $F(X_0)$, соответствующие наблюдаемым значениям рассматриваемой величины X_0 в точках поля или на станциях: $F(X_0) = P(x \leq X_0)$. Значение $F(X_0)$ часто называют вероятностью непревышения значения X_0 , как и обеспеченностью. Региональные индексы экстремальности определяются как доля площади региона, где вероятности непревышения $F(X_0) \leq \alpha\%$ или $F(X_0) \geq 100 - \alpha\%$ и $\alpha\%$ – обеспеченность искомых экстремумов.

Для характеристики степени аномальности полей температуры воздуха используется "коэффициент аномальности" (предложен Н.А. Багровым), равный среднему квадратическому значению нормированной аномалии температуры (осреднение по площади). Чем больше индекс аномальности климата, тем больше отличается от нормы анализируемое состояние климатической системы.

В Приложении приводятся данные мониторинга климата на территории Республики Беларусь*.

Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ»** с использованием материалов НИУ Росгидромета: ФГБУ «Гидрометцентр РФ», ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «ВНИИСХМ». Дополнительная информация по проблеме изменений климата и годовые и сезонные бюллетени мониторинга климата регулярно размещаются на Интернет-сайтах <http://climatechange.igce.ru>, <http://climatechange.su> (ФГБУ «ИГКЭ»).

* Раздел подготовлен в рамках программы Союзного государства "Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды"

** В выпуске принимали участие сотрудники Отдела мониторинга и вероятностного прогноза климата ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН»: М.Ю. Бардин (руководитель), Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Т.В. Платова, О.Ф. Самохина, Антипина У.И.

1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (летний сезон)

На рисунке 1.1 представлены временные ряды сезонных аномалий температуры у поверхности (лето 2021: июнь - август), осредненных по суше Северного полушария (СП) и по территории России. Временной ряд сезонных аномалий температуры над СП рассчитан по среднемесячным данным Университета Восточной Англии (массив crut4nh.txt на сайте www.cru.uea.ac.uk). Временной ряд для территории России рассчитан по стационарным данным о температуре приземного воздуха ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Представлен также линейный тренд за 1976-2021 гг.

Для характеристики неопределенности оценок трендов приводится 95%-я доверительная полоса Уоркинга-Хотеллинга, представляющая собой область, симметричную относительно м.н.к. - оценки линии тренда, с вероятностью 95% покрывающая истинную линию тренда.

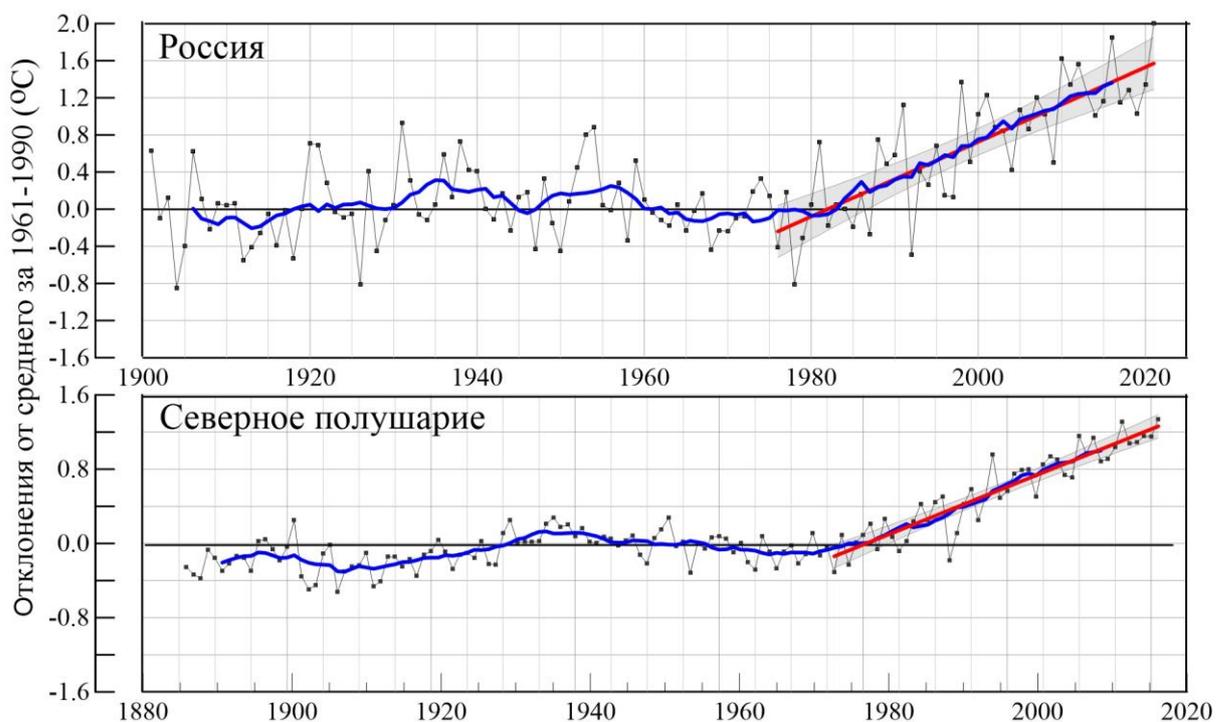


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (лето: июнь - август) температуры приземного воздуха, осредненная по Северному полушарию (суша) и территории России за 1886-2021 гг.

Аномалии рассчитаны как отклонения от средней за базовый период 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Показаны м.н.к. – оценка линейного тренда и 95% -я доверительная область для линии тренда за 1976-2021 гг. Использованы данные Университета Восточной Англии (СП) и данные ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (Россия).

Аномалия температуры воздуха над сушей СП летом составила $+1.337^{\circ}\text{C}$ (стандартное отклонение 0.20°C) – максимальная величина в упорядоченном по убыванию ряду с 1850 года).

Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила $+2.00^{\circ}\text{C}$ (при величине стандартного отклонения 0.33°C) – также максимальная величина в ряду с 1886 года.

Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений летних температур за период 1976-2021 гг. в среднем для суши СП и России, приведены в табл. 1.1. Увеличение летних температур в среднем по территории России происходит в 1.29 раза быстрее, чем по Северному полушарию. Сглаженная кривая на рис.1 показывает, что начало потепления для СП в целом и для России приходится на начало 1980-х гг.

Таблица 1.1

Сезонные (лето: июнь – август) аномалии температуры приземного воздуха относительно норм базового периода 1961-1990 гг. ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по суше СП и России и оценки линейного тренда за период 1976-2021 гг.

Регионы	νT_{2021}	$s_{1961-90}$	$b, ^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$	$D \%$
СП	1.337	0.20	0.31	86
Россия	2.00	0.33	0.40	67

Примечание: νT – аномалия температуры, s - стандартное отклонение за период 1961-1990, b – коэффициент линейного тренда, D - вклад тренда в дисперсию.

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕТА 2021 ГГ. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России лета 2021 г. На картах указано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го выше 95-го процентилей. Значения аномалий, осредненных по регионам, представлены в таблицах 2.1 и 2.2.

Температура воздуха. Лето - очень теплый сезон в году, осредненные по РФ в целом, ЕЧР и АЧР аномалии температуры составили 2.00°C , 2.92°C , 1.66°C – рекордная, вторая и рекордная величины в соответствующих рядах. 95%-е экстремумы отмечались на большей части ЕЧР (кроме северо-востока), на юге Западной Сибири, в западных областях ДФО (2.05°C – ранг 3). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на Среднесибирском плоскогорье (аномалии до -0.2°C), на Чукотке (аномалии на станциях до -0.9°C).

Во все месяцы сезона наблюдались обширные области с экстремальными температурами (в ЕЧР и в ДФО во все месяцы сезона, в Западной Сибири – в августе).

Распределение средних сезонных температур на рис. 2.2 позволяет проследить рассмотренные особенности сезона несколько под другим углом. Изотерма 25°C на юге

ЕЧР смещена на запад примерно на 10° долготы и на север примерно на 2° с.ш., а изотерма 20°C – смещена на север на $4\text{-}5^\circ$ широты. Изотерма 15°C на ЕЧР смещена на север примерно на 5° широты, в Западной Сибири - совпадает со своим климатическим положением, а на территориях АЧР от 100° до 140° в.д. наблюдается смещение на север на примерно 5° широты. Изотермы 5°C и 10°C на севере ЕЧР и АЧР смещены на север на 2° широты, а на Дальнем востоке изотерма 10°C смещена на восток от своего

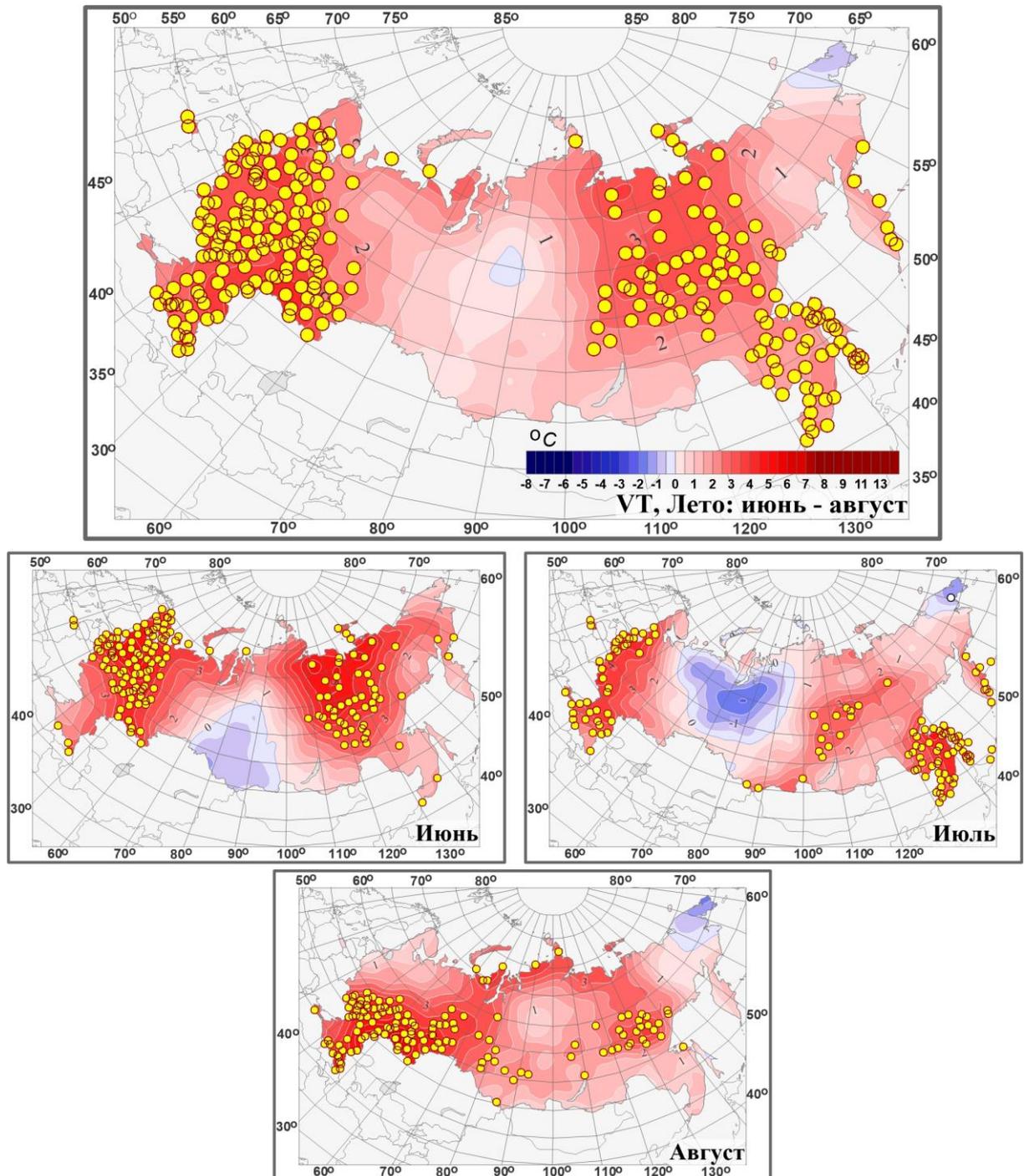


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^\circ\text{C}$) на территории России летом 2021 г. Кружками белого цвета показано местоположение станционных экстремумов ниже 5-го перцентиля, желтого – выше 95-го перцентиля. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за базовый период 1961-1990 гг.

Июнь. Осредненная по РФ аномалия температуры составила 2.32°C – вторая величина в ряду (рекордное значение наблюдалось в июне 2012 года: 2.73°C).

Температуры намного выше климатической нормы (аномалии температуры выше $2\text{-}3^{\circ}\text{C}$, повсеместно на станциях отмечались 95%-е экстремумы) наблюдались в ЕЧР (3.59°C – рекордная величина в ряду, температуры в СЗФО, ЦФО, ПФО – среди четырех самых крупных в соответствующих рядах), и к востоку от течения Енисея (осредненная аномалия температуры по ДФО: 2.71°C – рекордная величина в ряду).

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в среднем и верхнем течении Ишима, Иртыша, Оби и Енисея (аномалии до -1.3°C на Алтае и в предгорьях Саян).

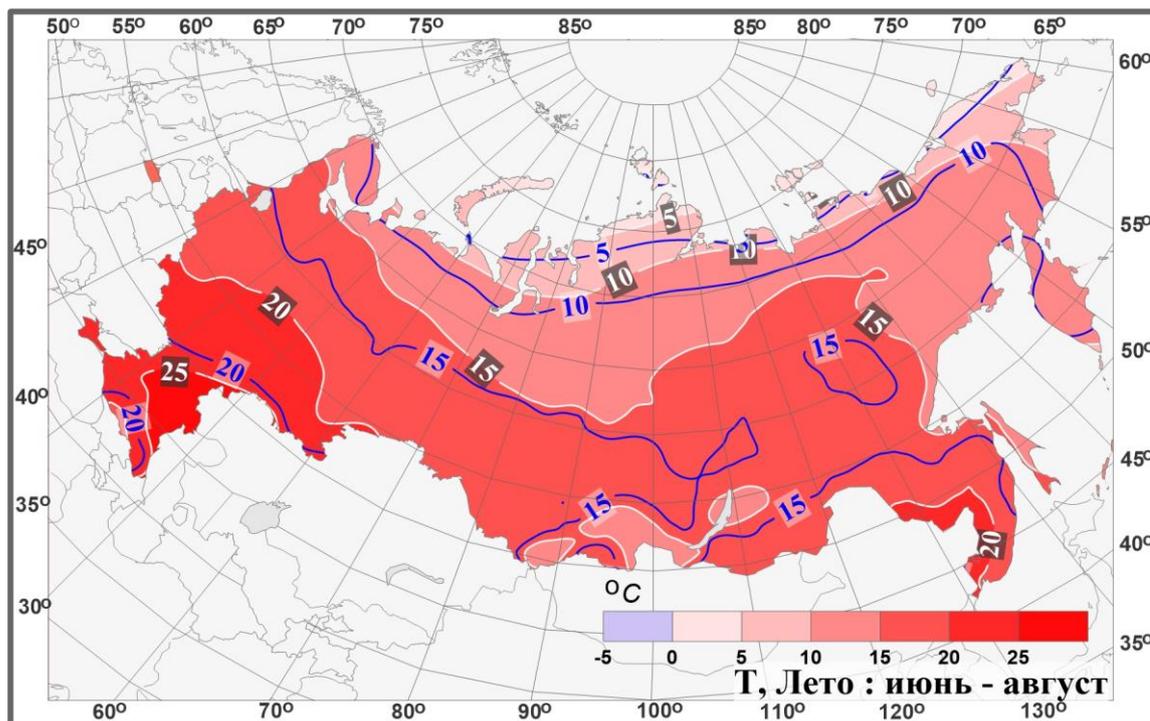


Рисунок 2.2 – Поля средней сезонной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России летом 2021 гг. Синие изолинии: средние изотермы за период 1961-1990 гг.

Июль. Осредненная по РФ аномалия температуры составила 1.57°C – третья величина в ряду. Экстремальные температуры (отмечались 95%-е экстремумы) на западе и юге ЕЧР (в ЮФО аномалия температуры составила 3.33°C (ранг 4)), а в АЧР (1.36°C – ранг 4) всюду восточнее 90° в.д. (кроме части Чукотки), в среднем по ДФО аномалия температуры составила 1.99°C – ранг 4. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке ЕЧР и, далее, в нижнем и среднем течении Оби и Енисея.

Август. Осредненные по РФ в целом, ЕЧР и АЧР аномалии температуры составили 2.11°C , 3.03°C , 1.76°C – рекордная, пятая и рекордная величины в соответствующих рядах. Экстремальные температуры (95%-е экстремумы) отмечались в центре и на юге ЕЧР (во всех федеральных округах ЕЧР (кроме СЗФО) аномалии температуры среди пяти самых крупных), в Западной Сибири (2.77°C – ранг 5), в

центральных районах СФО и ДФО. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке страны (аномалии до -1.8°C).

Атмосферные осадки. Осредненные по территории РФ осадки составили 93% (ранг 3-4 в ранжированном по возрастанию ряду), рекордный минимум осадков наблюдался летом 1983 и 1999 годов (92%), а в 1992 году выпало 93% нормы (как и летом нынешнего года).

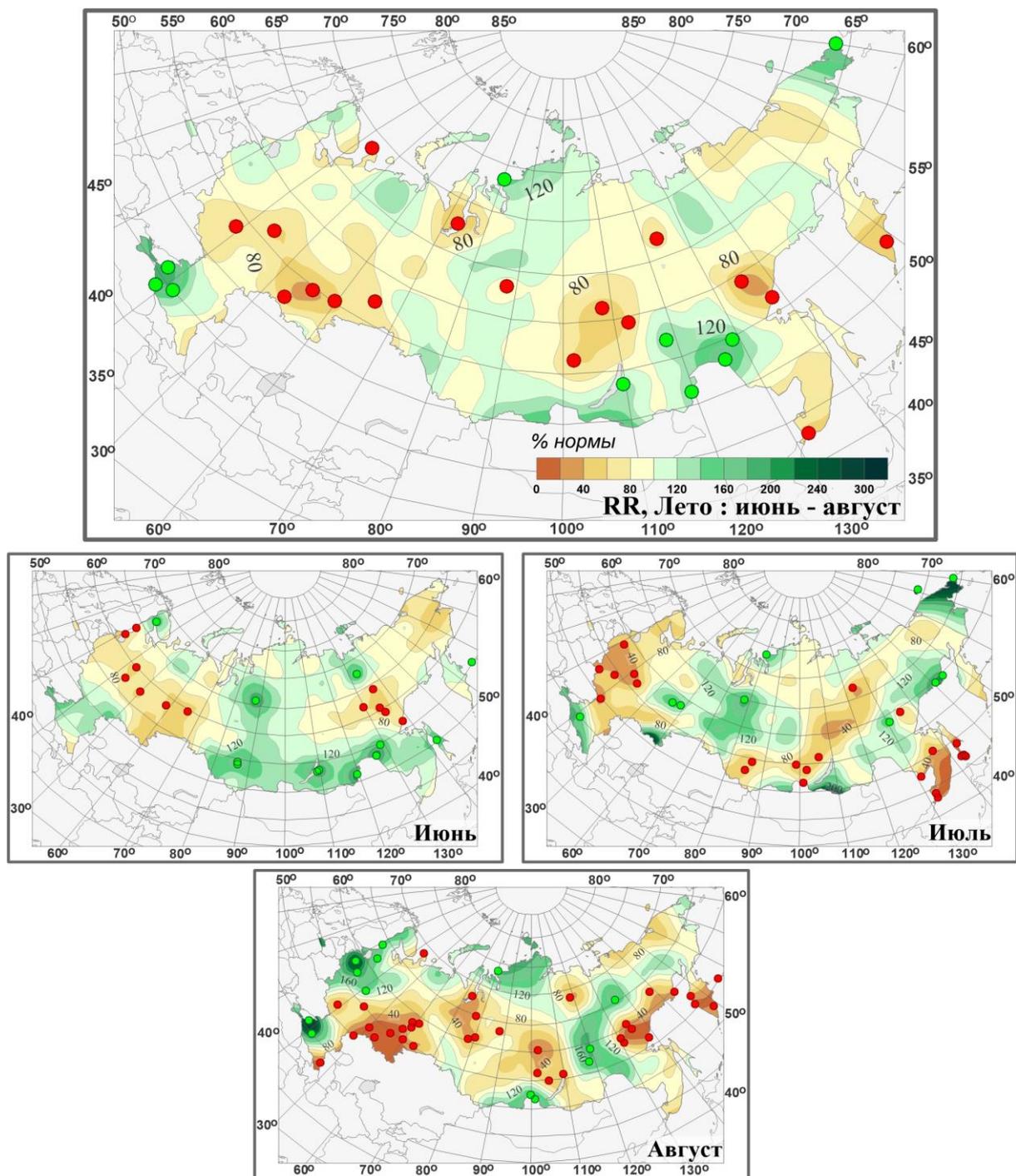


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России летом 2021 г. (июнь – август). Кружками красного цвета показаны стационарные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

Сильный дефицит осадков наблюдался в центре и на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало лишь 71% нормы), а также в центральных областях СФО и ДФО (в Восточной Сибири выпало 79% нормы – пятое самое «сухое» лето здесь). Избыток осадков наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО (136%) и СКФО (142% - ранг 4)), в Саянах, в Забайкалье и в бассейне Амура. Во все месяцы сезона наблюдались большие области с сильным дефицитом осадков, особенно сильный дефицит наблюдался в июле и в августе – в целом по РФ в эти месяцы выпало 89% (ранг 4-5 в упорядоченном по возрастанию ряду) и 91% (ранг 5-8 в упорядоченном по возрастанию ряду).

Летом атмосферные засухи наблюдались во многих областях ЮФО, ПФО и УФО, в ряде областей ЦФО. Этому способствовал сильный дефицит осадков и экстремальные температурные аномалии, наблюдавшиеся в течение всех трех месяцев сезона. В июле атмосферные засухи фиксировались на западе СЗФО, в июле и в августе - в ряде областей ДФО (особенно в Якутии).

Июнь. Осредненные осадки по РФ – 100% нормы. Избыток осадков наблюдался на большей части СФО и на юге ДФО. Дефицит осадков наблюдался в ЕЧР (кроме ЮФО, в целом по ЕЧР выпало 87% месячной нормы), в Западной Сибири (93%), в Восточной Сибири (выпало 77% - среди шести самых «сухих» июней, июнь прошлого 2020 года (53% - ранг 2) был также «сухим»).

В июне во многих областях ПФО, УФО и ряде областей ЦФО и ДФО дефицит осадков (менее 60%, местами менее 40%) и экстремальные температурные аномалии (выше 95-го перцентиля) способствовали образованию атмосферных засух средней и сильной интенсивности (при этом засухи фиксировались в течение 2-3 недель месяца). В некоторых областях ЮФО и СКФО образованию атмосферных засух способствовали, в основном, экстремальные температурные аномалии.



Рисунок 2.4 – Атмосферные засухи в сельскохозяйственной зоне России в июне. *Источник: Центр мониторинга засух МГС СНГ ФГБУ «ВНИИСХМ»*

Июль. Осредненные осадки по РФ – 89% нормы – среди 4-5-ти самых «сухих» июлей. Сильный дефицит осадков (фиксировались 5% экстремумы) наблюдался на западе и в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 46% нормы – ранг 6), на Алтае, в Саянах, в Якутии, в Приморье. Избыток осадков наблюдался в Западной Сибири, в Забайкалье, на большей части Восточной Сибири.

В июле из-за погодных условий аналогичных июню (сильный дефицит осадков и экстремальные температурные аномалии) образование засух зафиксировано на западе СЗФО (в Ленинградской, Новгородской, Псковской областях, в Карелии) - преимущественно средней интенсивности и продолжительностью 2-3 недели месяца. Засухи продолжали фиксироваться в центре и на юге ЕЧР (в ряде областей ЦФО, ЮФО, СКФО, ПФО), на юге Урала (Челябинская, Курганская области) – при этом

засухи сильной и средней интенсивности фиксировались в течение 2-3 недели месяца; а также в ряде областей ДФО (Якутия (особенно), Хабаровский край, Еврейская АО).

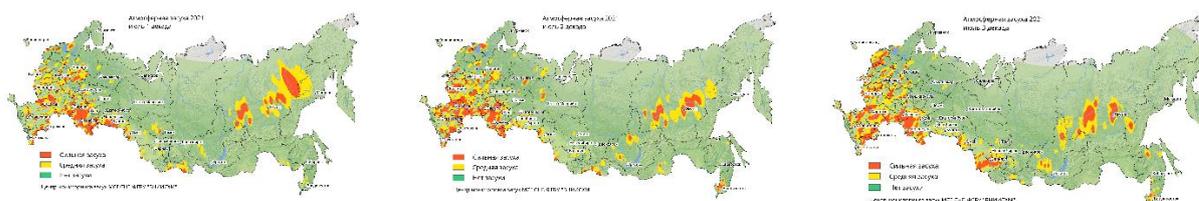


Рисунок 2.5 – Атмосферные засухи в сельскохозяйственной зоне России в июле. *Источник: Центр мониторинга засух МГС СНГ ФГБУ «ВНИИСХМ»*

Август. В августе осредненные осадки по РФ составили 91% (ранг 5-8 в упорядоченном по возрастанию ряду), а по АЧР - 85% нормы (ранг 3-4 также в упорядоченном по возрастанию ряду с 1936 года). Сильный дефицит осадков (на станциях отмечались 5%-е экстремумы) наблюдался на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало 41% нормы – среди пяти самых «сухих»), на Южном Урале (в УФО выпало 56% нормы- среди двух самых «сухих» (рекордный минимум наблюдался здесь в 1936 году (53%)), в центральных районах СФО, в Хабаровском крае, на Камчатке (в целом по Восточной Сибири выпало 61% - второй самый «сухой» август). Значительный избыток осадков наблюдался на западе и юге ЕЧР (в ЮФО выпало 175% нормы, в СКФО – 212% (ранг 2), в среднем течении Лены).

В августе экстремальные температуры и экстремальный дефицит осадков в центре на юго-востоке ЕЧР способствовал продолжению засух (в основном сильной интенсивности) в ряде областей ЦФО и в большинстве областей ПФО. Кроме того, атмосферные засухи продолжали фиксироваться во многих областях ЮФО и СКФО (в основном сильной интенсивности) и ряде областей СФО и ДФО (в основном средней интенсивности).



Рисунок 2.6 – Атмосферные засухи в сельскохозяйственной зоне России в августе. *Источник: Центр мониторинга засух МГС СНГ ФГБУ «ВНИИСХМ»*

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены регионально осредненные аномалии температуры и осадков, рассчитанные по значениям станционных аномалий летнего сезона; для характеристики масштаба аномалий приведены также средние квадратические отклонения региональных аномалий за базовый период 1961-90 гг. Оценки приведены для физико-географических регионов (рис. 1) и федеральных округов (рис. 2) Российской Федерации.

Таблица 2.1

Регионально осредненные аномалии температуры летом 2021 г.

Регионы	vT_{2021}	$s_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2021})$
Российская Федерация	2.00	0.33	100
Физико-географические регионы России			
Европейская часть России	2.92	1.00	98.8
Азиатская часть России	1.66	0.35	100
Западная Сибирь	1.04	0.80	82.4
Средняя Сибирь	2.10	0.65	97.6
Прибайкалье и Забайкалье	1.34	0.57	84.7
Приамурье и Приморье	1.98	0.75	100
Восточная Сибирь	1.81	0.56	97.6
Федеральные округа РФ			
Северо-Западный	2.41	1.17	97.6
Центральный	3.42	1.22	97.6
Приволжский	3.33	1.19	98.8
Южный	3.12	1.03	98.8
Северо-Кавказский	2.84	0.76	98.8
Уральский	1.47	1.02	87.1
Сибирский	1.02	0.47	83.5
Дальневосточный	2.05	0.48	100

Примечание: 1. Аномалии vT_{2021} (°C) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s (°C) – среднее квадратическое отклонение за базовый период; вероятности непревышения $P(t \leq T_{2021})$ рассчитаны по выборке за 1936-2016 гг. и выражены в %. Выделены экстремальные значения, попавшие в 5% максимальных.

Для осадков (табл. 2.2) дополнительно к отклонениям от нормы приведены относительные аномалии, т.е. отношение осредненной по территории региона сезонной суммы осадков к средней по региону сезонной норме, выраженное в процентах (о процедуре регионального осреднения см. во введении). Из-за выраженной асимметрии распределения осадков для характеристики масштаба аномалий разного знака приводятся величины разности между медианой и первым квартилем (25-й процентиль, т.е. точка, отсекающая 1-ю четверть распределения) функции распределения для характеристики величины дефицита осадков, а для оценки величины избытка осадков – разности между третьим квартилем и медианой, рассчитанные для базового периода (приводится также величина аномалии, соответствующая медиане распределения, что позволяет судить о величине асимметрии). Кроме того, в таблицах приведены значения эмпирической вероятности (вероятности непревышения) региональных аномалий по данным за 1936-2021 годы.

Временные ряды регионально осредненных аномалий температуры и осадков для каждого из рассматриваемых физико-географических регионов и Федеральных округов РФ представлены в Разделе 4.

Как уже отмечалось выше, лето для России в целом (см. табл. 2.1) было очень теплым, аномалия температуры составила +2.00°C – рекордная величина в ряду. В большинстве регионов и федеральных округах аномалии температуры среди трех самых крупных, исключение: Западная Сибирь (УФО), Прибайкалье и Забайкалье, СФО.

Все месяцы сезона (табл. 2.1.1) в целом по РФ были очень теплыми, особенно август: аномалия температуры составила +2.11°C – рекордная величина в ряду, во всех федеральных округах ЕЧР (кроме СЗФО) аномалии температуры среди пяти самых крупных. В АЧР (+1.76°C – ранг 1) экстремально тепло в Западной Сибири (+2.77°C – ранг 5) и Средней Сибири (+2.02°C – ранг 3).

В июле (осредненная по РФ аномалия +1.57°C (ранг 3)) экстремально тепло в АЧР (+1.36°C – ранг 4), особенно в ДФО (+1.99°C – ранг 4), а также в ЮФО (3.33°C – ранг 4).

В июне (осредненная по РФ аномалия +2.32°C (ранг 2)) экстремально тепло в ЕЧР (+3.59°C - ранг 2) и в ДФО (+2.71°C - ранг 1).

Таблица 2.1.1

Регионально осредненные аномалии температуры в летние месяцы.

Регионы	Июнь			Июль			Август		
	νT_{2021}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2021})$	νT_{2021}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2021})$	νT_{2021}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2021})$
Российская Федерация	2.32	0.60	98.8	1.57	0.45	97.6	2.11	0.40	100
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	3.59	1.50	100	2.13	1.30	87.1	3.03	1.25	95.3
Азиатская часть России	1.84	0.62	92.9	1.36	0.47	96.5	1.76	0.55	100
Западная Сибирь	0.59	1.41	61.2	-0.24	1.22	47.1	2.77	1.12	95.3
Средняя Сибирь	2.61	1.19	88.2	1.67	1.04	88.2	2.02	0.92	97.6
Прибайкалье и Забайкалье	1.12	1.09	72.9	1.61	0.85	83.5	1.29	0.98	78.8
Приамурье и Приморье	1.61	1.20	90.6	3.32	0.93	100	0.94	0.79	69.4
Восточная Сибирь	2.76	0.97	98.8	1.41	0.74	88.2	1.24	0.82	80.0
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	4.15	1.78	98.8	1.40	1.57	72.9	1.63	1.26	78.8
Центральный	3.45	1.81	96.5	3.65	1.47	92.9	3.16	1.43	95.3
Приволжский	3.73	1.81	96.5	1.78	1.59	84.7	4.46	1.59	97.6
Южный	2.02	1.45	80.0	3.33	1.30	96.5	4.01	1.42	95.3
Северо-Кавказский	2.55	1.11	91.8	2.19	1.10	94.1	3.91	1.14	98.8
Уральский	1.62	1.64	74.1	-0.62	1.37	38.8	3.42	1.31	96.5
Сибирский	0.28	1.10	41.2	1.03	0.87	76.5	1.75	0.81	92.9
Дальневосточный	2.71	0.80	100	1.99	0.64	96.5	1.42	0.66	91.8

Летом в целом по РФ (табл. 2.2 и табл. 2.2.1) выпало 93% нормы осадков (ранг 3-4 в упорядоченном по возрастанию ряду). Во всех регионах и федеральных округах отмечался дефицит осадков (исключение: ЮФО и СКФО). Сильный дефицит наблюдался в Восточной Сибири (в среднем по региону выпало 79% нормы- пятое «самое сухое» лето в ряду).

Значительный избыток осадков наблюдался в СКФО (142% нормы – ранг 4).

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков летом 2021 г.

Регионы	vR_{2021}	RR_{2021}	m	$m-q1$	$q3-m$	$P(r \leq R_{2021})$
Российская Федерация	-4.7	93	-0.8	1.4	2.6	2.4
Физико-географические регионы России						
Европейская часть России	-5.5	91	-1.4	1.8	6.3	22.4
Азиатская часть России	-4.4	93	-0.1	2.8	2.4	9.4
Западная Сибирь	-5.8	91	0.8	5.9	5.1	14.1
Средняя Сибирь	-5.4	90	-0.8	2.9	5.2	8.2
Прибайкалье и Забайкалье	5.8	107	-0.1	6.9	4.6	70.6
Приамурье и Приморье	-0.6	99	1.8	12.0	11.3	52.9
Восточная Сибирь	-10.8	79	-0.1	3.6	3.8	4.7
Федеральные округа РФ						
Северо-Западный	-3.0	96	0.2	4.9	5.9	37.6
Центральный	-17.2	76	-2.0	8.3	12.8	11.8
Приволжский	-17.3	71	-0.4	6.5	7.5	8.2
Южный	17.3	136	-2.4	5.7	10.0	94.1
Северо-Кавказский	26.1	142	-1.8	6.1	9.2	96.5
Уральский	-10.1	85	1.4	6.9	4.6	10.6
Сибирский	-3.8	94	-0.4	3.1	4.3	11.8
Дальневосточный	-3.6	95	-0.4	3.6	3.8	27.1

Примечание: 1. Аномалии vR_{2021} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за базовый период 1961-1990 гг.), RR_{2021} - отношение R_{2021} к норме, выраженное в %, $q1$, $q3$ и m – соответственно первый, третий квартиль и медиана аномалий (мм/месяц) за базовый период; вероятности превышения $P(r \leq R_{2021})$ – рассчитаны по выборке за 1936-2021 гг. и выражены в %. Выделены экстремальные значения, попавшие в 5% максимальных.

Таблица 2.2.1

Регионально осредненные аномалии осадков в летние месяцы.

Регионы	Июнь			Июль			Август		
	vR_{2021}	RR_{2021}	$P(r \leq R_{2021})$	vR_{2021}	RR_{2021}	$P(r \leq R_{2021})$	vR_{2021}	RR_{2021}	$P(r \leq R_{2021})$
РФ	0.0	100	40.0	-7.9	89	4.7	-6.0	91	8.2
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	-8.1	87	22.4	-12.5	81	14.1	4.7	108	67.1
Азиатская часть России	3.4	106	70.6	-5.7	92	17.6	-10.3	85	3.5
Западная Сибирь	-4.0	93	23.5	6.0	109	60.0	-18.5	71	5.9
Средняя Сибирь	0.8	102	43.5	-9.9	83	12.9	-6.5	89	17.6
Прибайкалье и Забайкалье	19.9	133	90.6	-9.2	91	36.5	5.4	106	57.6
Приамурье и Приморье	24.3	131	88.2	-27.6	76	16.5	1.6	101	50.6
Восточная Сибирь	-8.9	77	5.9	0.0	100	56.5	-23.1	61	1.2
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	-8.6	85	24.7	-17.2	75	10.6	16.9	123	87.1
Центральный	-15.4	78	28.2	-43.0	46	4.7	8.4	113	68.2
Приволжский	-15.8	73	24.7	-4.5	93	50.6	-31.1	41	4.7
Южный	19.1	134	88.2	2.7	106	62.4	31.2	175	94.1
Северо-Кавказский	-0.9	99	51.8	28.1	149	91.8	61.8	212	98.8
Уральский	-14.1	76	11.8	14.5	121	80.0	-29.2	56	1.2
Сибирский	10.4	120	76.5	-12.9	81	5.9	-8.9	86	12.9
Дальневосточный	3.1	106	68.2	-7.2	90	25.9	-6.5	91	21.2

Из месяцев сезона выделяется июль: в целом по РФ выпало 89% месячной нормы (ранг 4-5 в упорядоченном по возрастанию ряду), особенно сильный дефицит осадков наблюдался в ЦФО (46% - среди пяти самых «сухих» июлей здесь).

В августе экстремально «сухо» в ПФО – выпало 41% месячной нормы (среди пяти самых «сухих»), а в АЧР (85% - ранг 3-4 в упорядоченном по возрастанию ряду с 1936 года) особенно «сухо» в УФО (56%- ранг 2 в упорядоченном по возрастанию ряду) и Восточной Сибири (61% - второй самый «сухой» август).

В СКФО в августе экстремальный избыток осадков, выпало 212% - ранг 2.

3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН

В этом разделе рассматриваются основные тенденции в изменении метеорологических величин с начала современного потепления, т.е. с середины 1970-х гг. На рис. 3.1 и 3.2 представлено географическое распределение коэффициента линейного тренда за 1976-2021 гг.: температуры приземного воздуха и атмосферных осадков на территории России для летнего сезона в целом и для каждого из месяцев лета.

Оценки получены по стационарным временным рядам аномалий в точках расположения станций и затем картированы. Представленные поля характеризуют направление и среднюю скорость изменений температуры и осадков летнего сезона на территории России с 1976 г.

На всей территории страны в летний сезон отмечается потепление, наиболее значительное на ЕЧР (до $+0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет на юго-западе) и в Средней и Восточной Сибири (до $+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет).

В отдельные летние месяцы наибольшее потепление наблюдается на ЕЧР в июле (на западе до $+1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет) и в августе (в южных районах $+1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет), в АЧР: в июне на Средне-Сибирской низменности и севере Среднесибирского плоскогорья (до $+1.4^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Для всех трех летних месяцев в Сибири отмечается область, где потепления либо нет, либо наблюдается незначительное похолодание, в июне эта область располагается на юге Урала и Западной Сибири и на севере соседнего Казахстана, в июле область расширилась до среднего течения Оби и Енисея, в августе – сместилась на северо-запад Среднесибирского плоскогорья (между $60-70^{\circ}\text{с.ш.}$). Эта перемещающаяся область проявляется для сезона в целом в виде области значительно ослабленного потепления (от 0 до $+0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) в Западной и Средней Сибири.

Существенных изменений по сравнению с оценками тренда за период 1976-2020 гг. не отмечено.

Тренд средней по России летней температуры за период 1976-2021 гг. положителен: он составляет $+0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 67% межгодовой изменчивости (табл. 3.1). Тренд примерно одинаков во все месяцы сезона и во всех случаях значим на 1%-м уровне. Сезонная температура с середины 1970-х гг. росла практически монотонно (сглаженная кривая на рис. 3.3). В *июле* с середины 1990-х гг. наблюдается

замедление роста температуры.

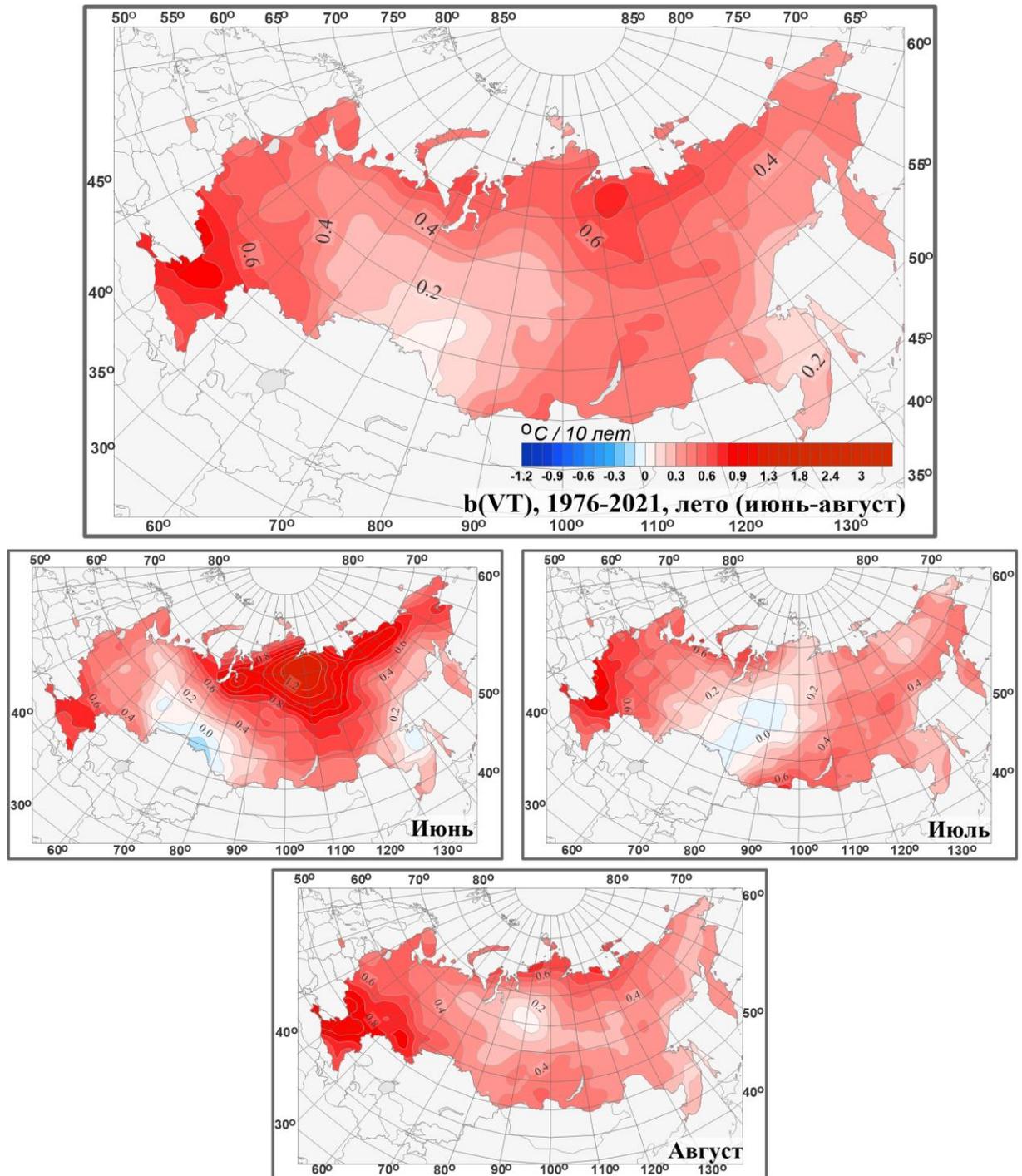


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры (°C/10 лет) на территории России по данным за 1976-2021 (лето)

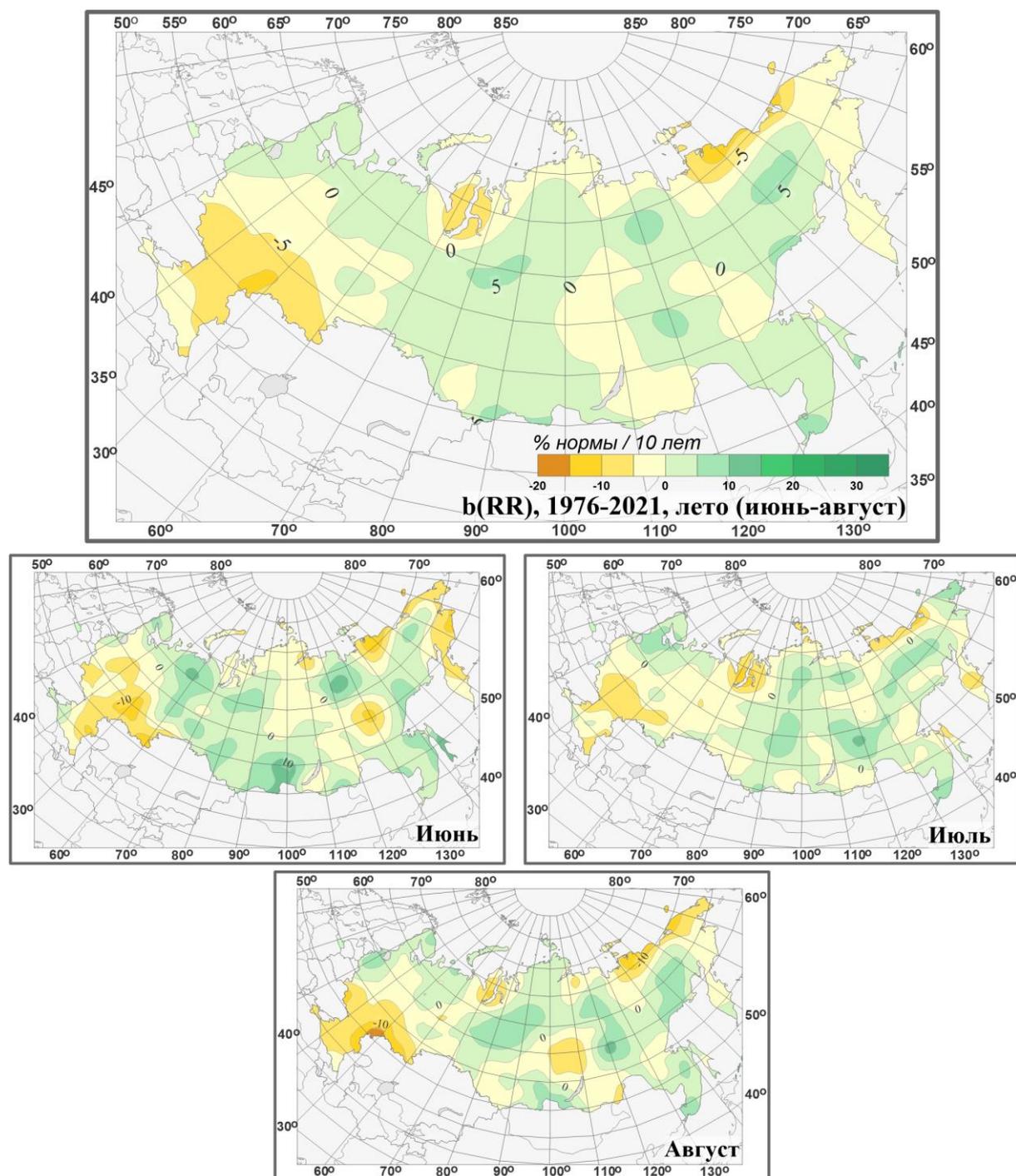


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы /10 лет) на территории России по данным за 1976-2021 (лето).

В изменении сумм осадков в течение всего летнего сезона (рис. 3.2) преобладает тенденция к их уменьшению на ЕЧР (центральные и южные области), и к увеличению в АЧР (кроме арктического побережья, Камчатки, Забайкалья).

Наиболее интенсивное уменьшение осадков отмечается в июле (до 10%/10 лет): на ЕЧР (кроме северных районов), в районе Обской губы, вдоль побережья Северного Ледовитого океана: от Таймыра до Чукотки; на Камчатке; в Забайкалье. В июне и августе эта тенденция выражена немного слабее.

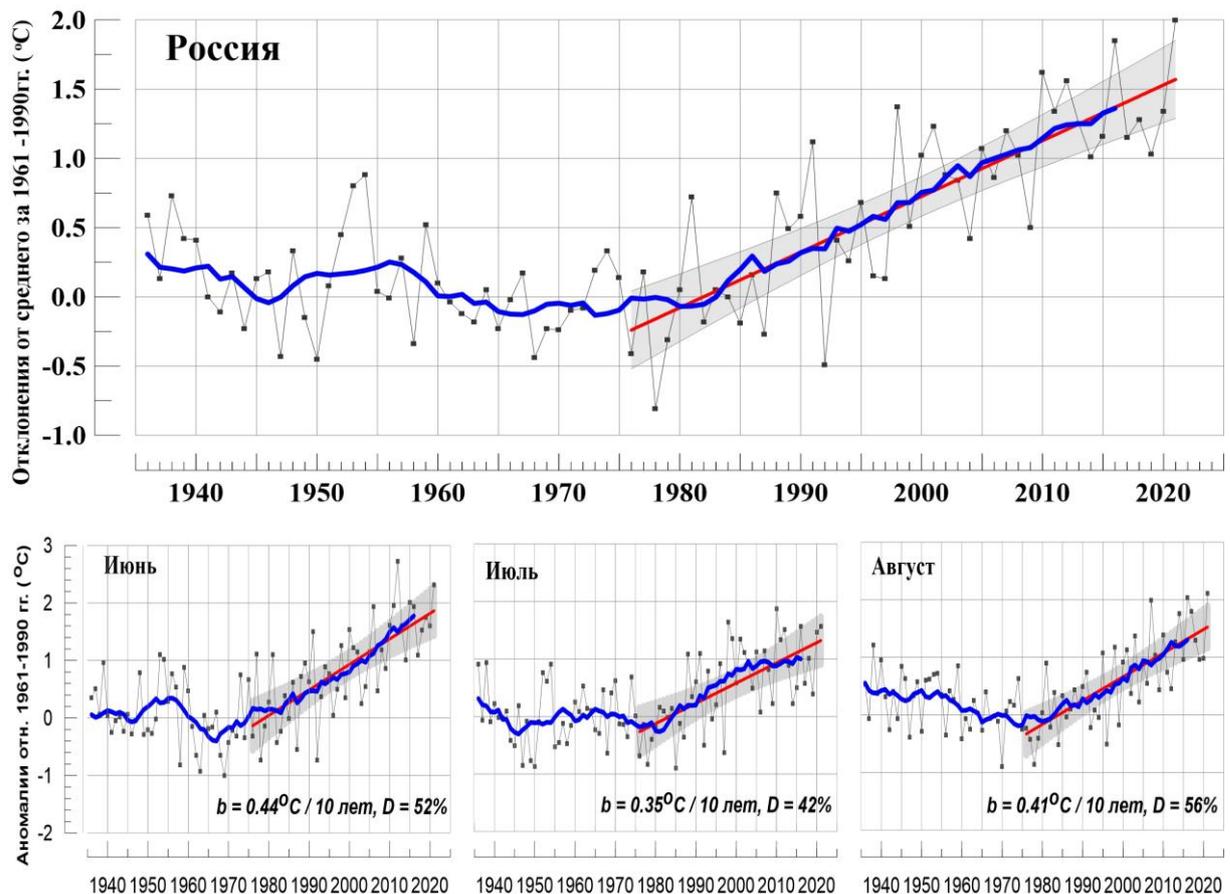


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) осредненная по территории РФ.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2021 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

Тенденция к увеличению осадков на АЧР (до 15%/10 лет) наиболее выражена в Якутии (во все месяцы сезона), в Западной Сибири и в Магаданской области (в июне и в августе).

Из-за экстремально «сухого» августа на Южном Урале увеличилась площадь с уменьшением осадков на юге УФО по сравнению с оценками за период 1976-2020 гг.

Тренды сумм осадков за период с 1976 г., в целом для России, сезонных и каждого месяца, незначимы: объясняют не более 5% межгодовой изменчивости. В то же время стоит отметить рост сезонных осадков в последние два десятилетия; однако, следует иметь в виду, что в ряду осадков наблюдаются выраженные долгопериодные колебания с периодами в несколько десятилетий.

В таблице 3.1 приведены оценки линейного тренда температуры и осадков летнего сезона и каждого его месяца для территории РФ в целом.

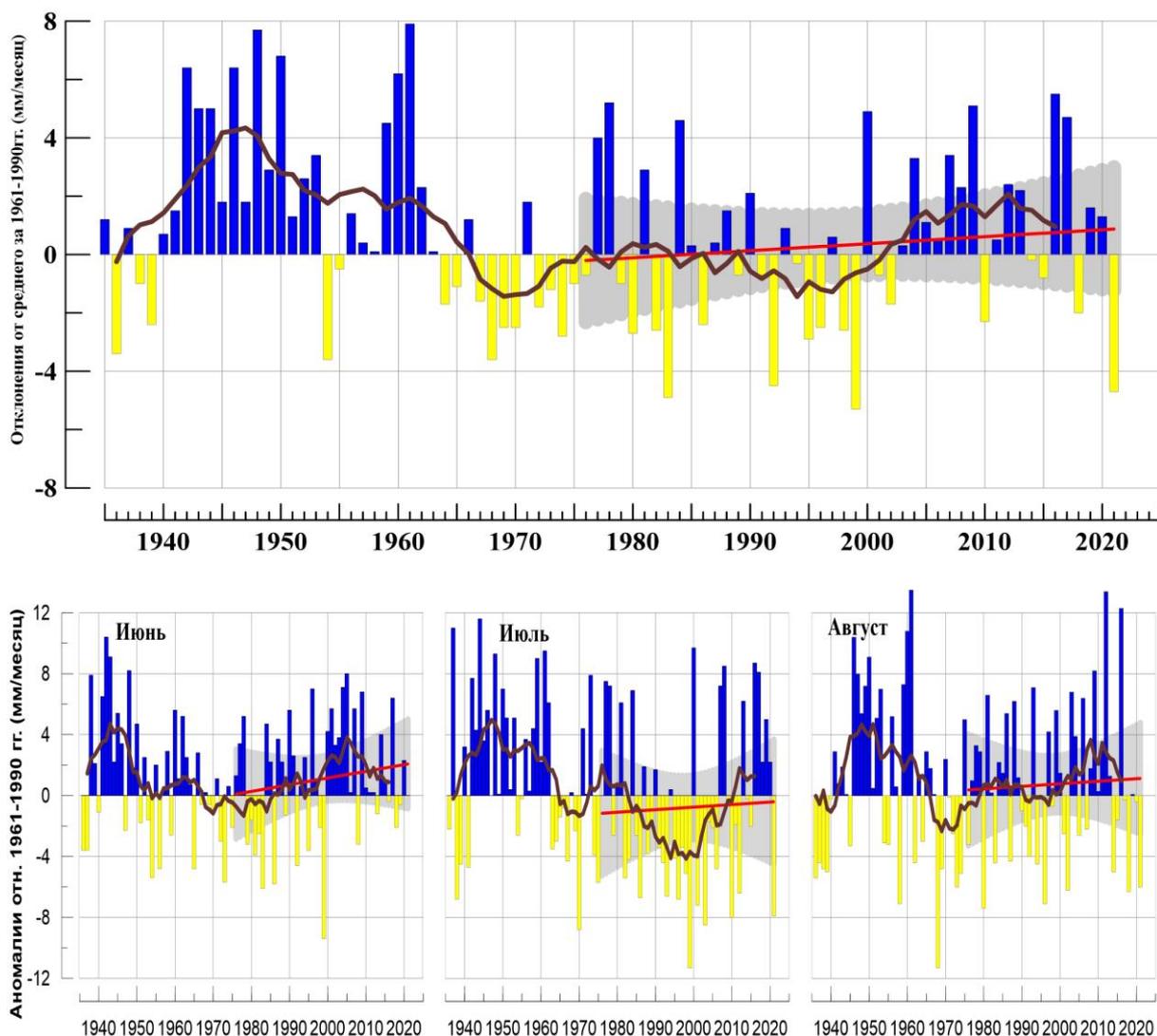


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/мес).

Таблица 3.1

Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха и суммы осадков, осредненных по территории России и за летний сезон, за 1976-2021 гг.
b – коэффициенты линейного тренда, *D* - вклад тренда в дисперсию ряда.

Регион Российская Федерация	Температура		Осадки	
	<i>b</i> °C/10 лет	<i>D</i> , %	<i>b</i> мм/мес/10 лет	<i>D</i> , %
<i>Лето</i>	0.40	67	0.2	1
Июнь	0.44	52	0.4	2
Июль	0.35	42	0.2	0
Август	0.41	56	0.2	0

4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ ЗА ПЕРИОД 1936-2021 гг.

В разделе анализируется характер изменения регионально-осредненных температур и осадков для физико-географических регионов России и Федеральных округов. На рис. 4.1 – 4.4 приведены временные ряды осредненных по регионам аномалий средней месячной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и месячных сумм осадков (мм/месяц) летнего сезона за 1936 – 2021 гг. На всех рисунках показаны линейные тренды за 1976-2021 гг., рассчитанные методом наименьших квадратов. Величины трендов и объясненные трендами доли дисперсии рядов представлены в таблице 4.1.

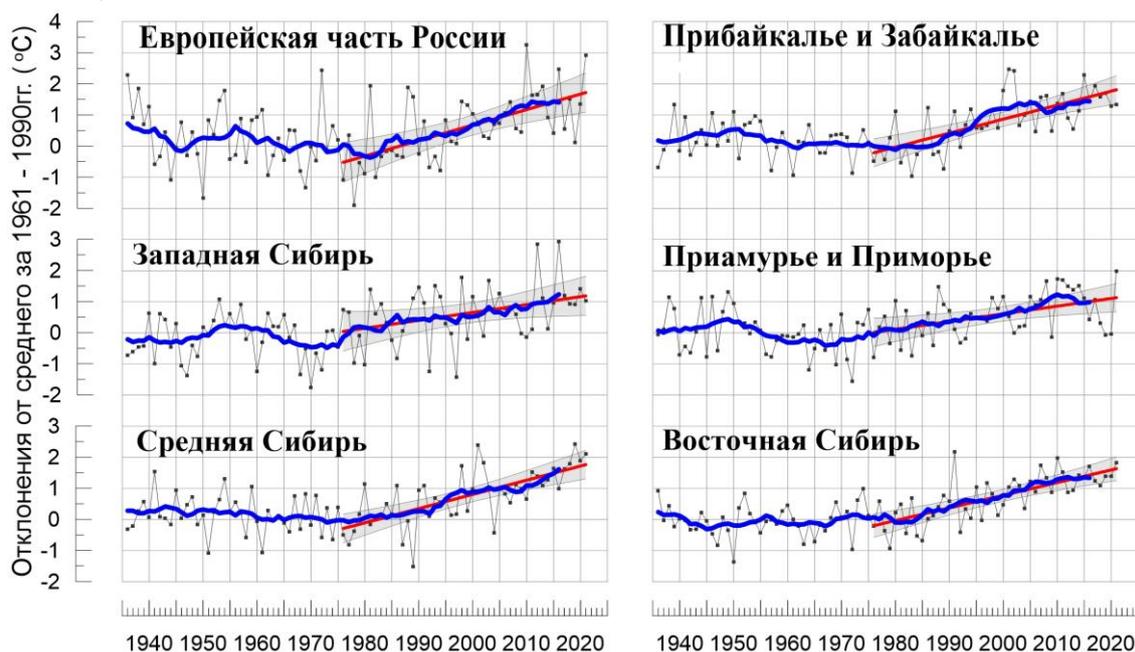


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, лето 2021 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2021 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

Во всех регионах в среднем за период 1976-2021 гг. наблюдается выраженное потепление летних сезонов. Исключение составляют Западная Сибирь (и Уральский ФО), где эта тенденция в 2 раза слабее, чем в других регионах (Таблица 4.1), и статистически незначима на 1% уровне (см. также соответствующую область минимума сезонного потепления на рис. 3.1). В большинстве регионов между 1940 – 1960 гг. наблюдался максимум температуры, который, однако, не достигал современного уровня.

В изменениях регионально осредненных аномалий осадков летнего сезона (рис. 4.3 - 4.4) монотонных тенденций за период современного потепления (с 1976 г.) четко не прослеживается.

Таблица 4.1

Оценки линейного тренда осредненных по территории России среднесезонных аномалий температуры приземного воздуха и сумм осадков за 1976-2021 гг. (летний сезон), b – коэффициенты линейного тренда, D – вклад тренда в дисперсию ряда.

Регионы	Температура		Осадки		
	b °C/10 лет	D , %	b мм/мес/10 лет	b , %/10 лет	D , %
Россия	0.40	67	0.2	0.4	1
Физико-географические регионы России					
Европейская часть России	0.50	38	-1.2	-1.9	4
Азиатская часть России	0.37	67	0.8	1.2	8
Западная Сибирь	0.25	14	0.6	1.1	1
Средняя Сибирь	0.46	49	1.1	2.1	6
Прибайкалье и Забайкалье	0.45	49	0.7	0.9	1
Приамурье и Приморье	0.25	22	2.4	2.3	4
Восточная Сибирь	0.41	53	-0.4	-0.8	1
Федеральные округа РФ					
Северо-Западный	0.42	30	1.0	1.6	1
Центральный	0.59	35	-3.1	-4.3	9
Приволжский	0.44	20	-2.6	-4.5	9
Южный	0.74	53	-2.0	-4.1	5
Северно-Кавказский	0.63	55	-0.7	-1.1	0
Уральский	0.31	14	0.5	0.8	1
Сибирский	0.32	39	1.1	1.9	7
Дальневосточный	0.40	62	0.6	0.9	2

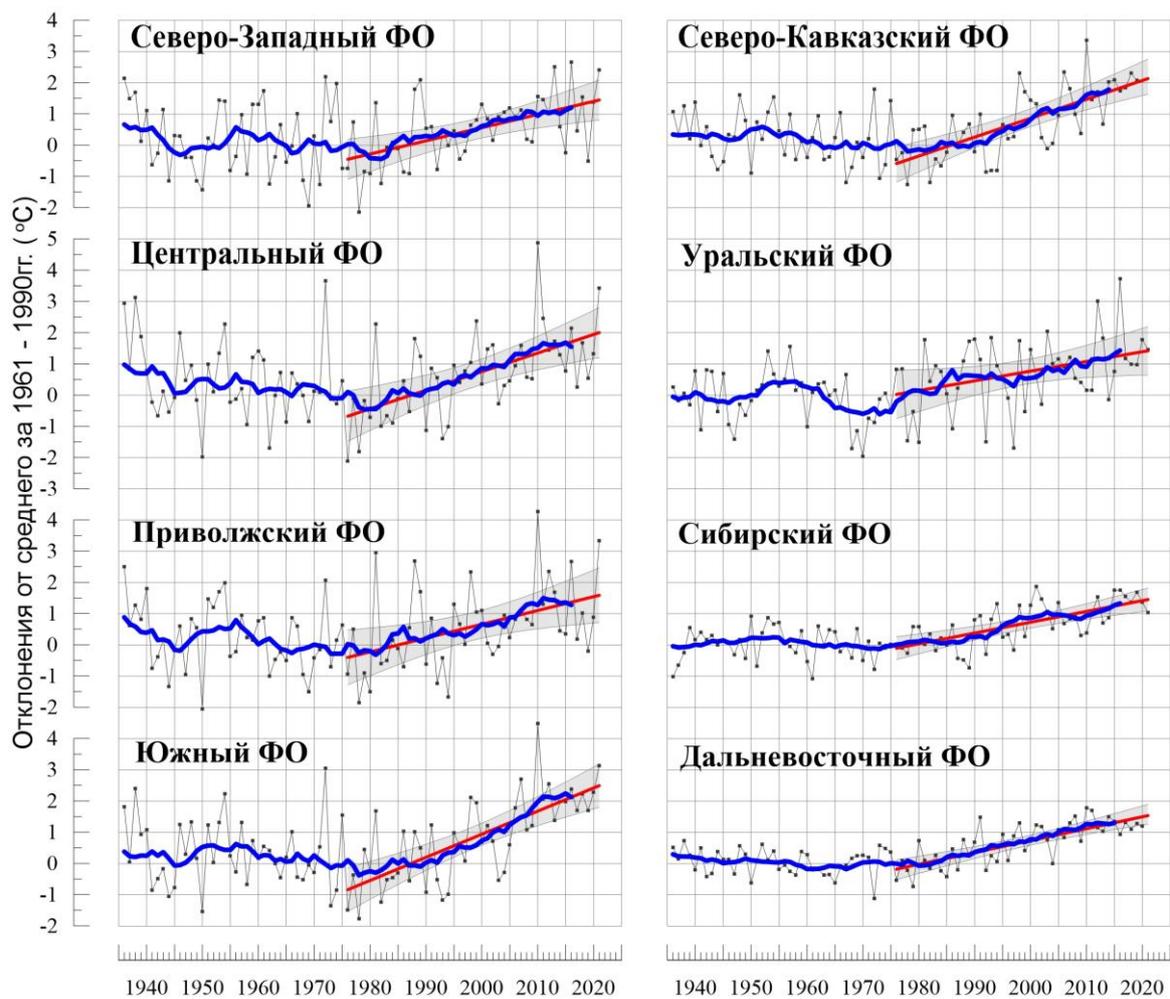


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

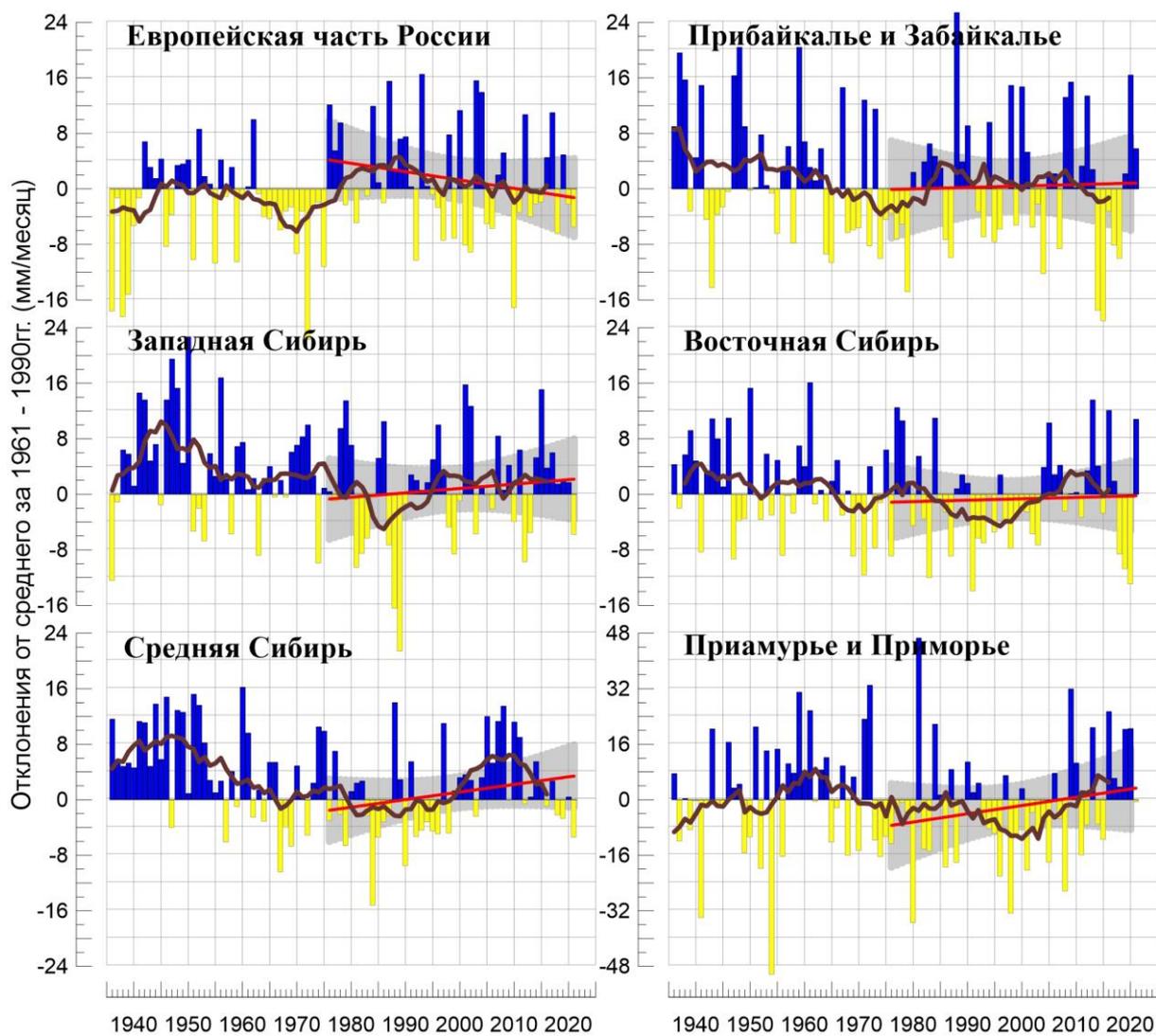


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, лето 2021 гг.
Условные обозначения см. на рис. 4.1.

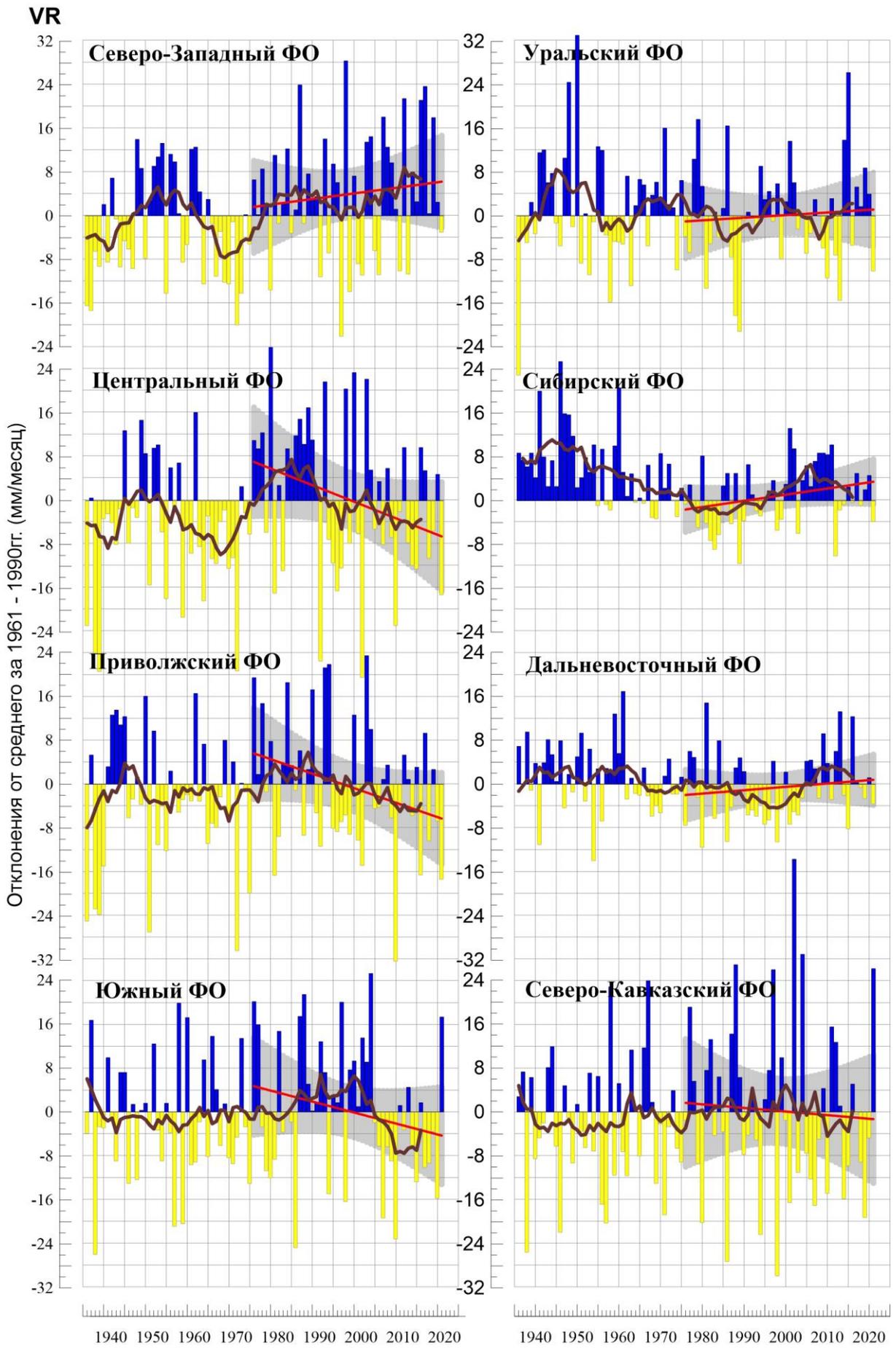


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2021 гг. (летний сезон)

В разделе приведены некоторые индексы экстремальности и аномальности для летнего сезона в целом по территории России за период 1936 -2021 гг. (рис. 5.1. – 5.4). В качестве индексов экстремальности рассматриваются доли площади под крупными аномалиями температуры и осадков (вероятности превышения ниже 20% и выше 80%), а также экстремальными (абсолютная величина превосходит 2 стандартных отклонения) аномалиями температуры.

Температура. Летом 2021 года 70% площади территории России (ранг 1-2) были заняты крупными положительными аномалиями (выше 80-го перцентиля) (такой же процент площади страны занимали крупные положительные аномалии летом 2016 года. Областей отрицательных аномалий (ниже 20-го перцентиля) летом 2021 года не наблюдалось (рис. 5.1). В изменении площади под крупными положительными аномалиями тренд за период 1976-2021 составляет 11.6%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 59%). Рост суммарной площади с крупными аномалиями обоих знаков составляет 4.0%/10 лет (15%)

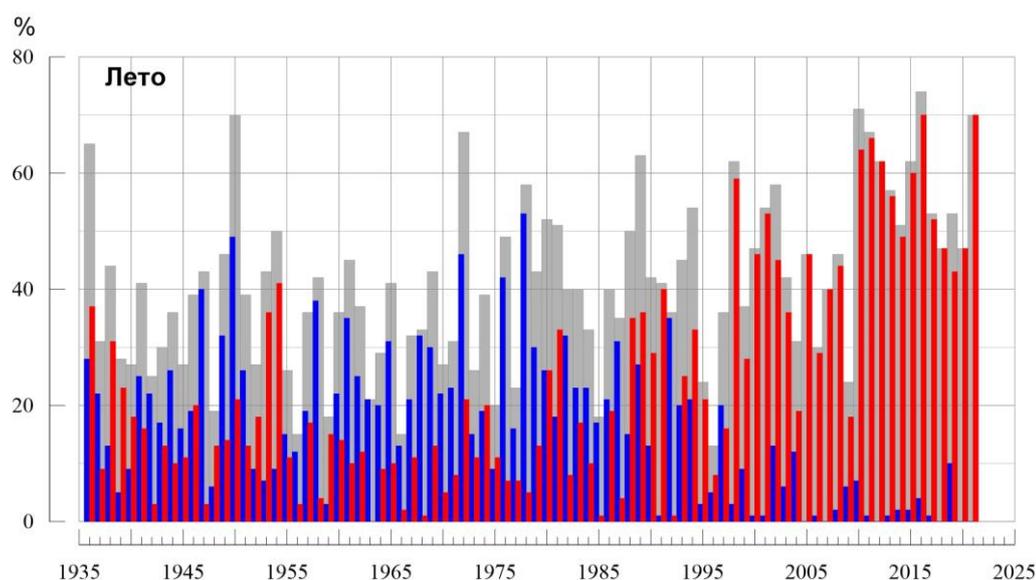


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2021 гг. (лето):

— ниже 20-го перцентиля, — выше 80-го перцентиля,
— суммарная площадь с крупными аномалиями обоих знаков.

На рис.5.2 представлены ряды доли площади под экстремальными (выше $+2\sigma$ и ниже -2σ) аномалиями сезонной температуры (в предположении гауссовой распределения это соответствует вероятности примерно 2.3% процента для каждого хвоста распределения).

Летом 2021 года доля площади РФ, занятая экстремально теплыми аномалиями (выше $+2\sigma$) составила 30% (максимальная величина в ряду), а площади с экстремально

холодными аномалиями (ниже -2σ) не было совсем. Экстремально холодные летние сезоны наблюдались: в 1950 (13% площади под аномалиями ниже -2σ), в 1972 (14%), в 1989 (10%). После 1997 г. преобладают экстремумы тепла. Наиболее экстремальные летние сезоны наблюдались: в 2010 (28% площади под аномалиями выше $+2\sigma$), в 2016 (24%), в 2012 (22%), в 1998 (19%), в 2001 (18%), в 1972 г. (13%), в 1991 (11%).

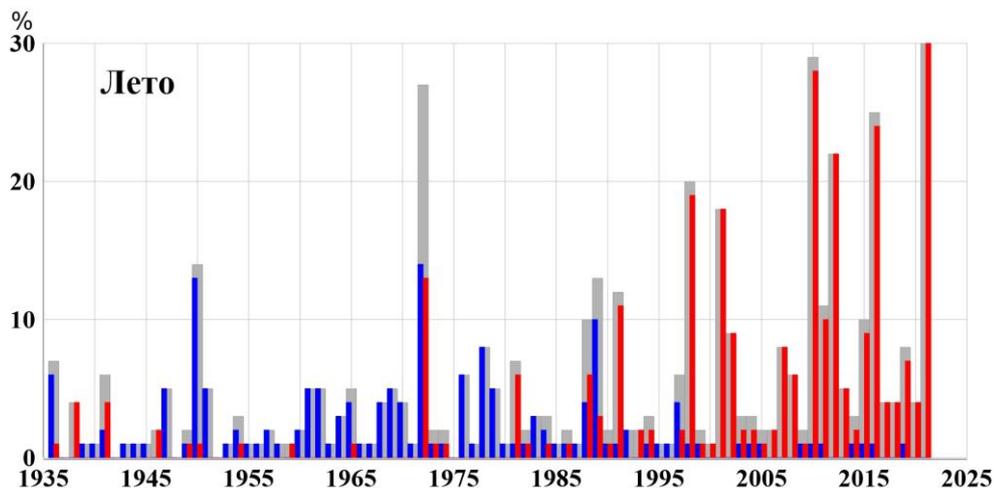


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры летом, 1936-2021 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

Индекс аномальности Багрова (рис. 5.3) в 2021 году составил 2.3 – ранг 1-2 (такая же величина индекса экстремальности Багрова зафиксирована летом 2010 года). Аномальность температурного режима на территории РФ в летний сезон растет: тренд за 1976-2021 гг. объясняет 50% общей дисперсии ряда.

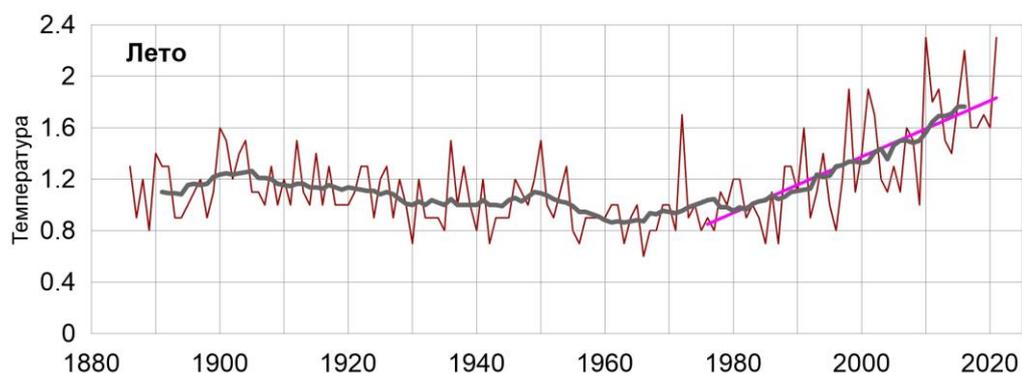


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России летом 1886-2021 гг.

Осадки. Летом 2021 года площадь, занятая экстремальными аномалиями осадков меньше 20-го перцентиля, составила 23% (7-8-ая величина в упорядоченном по возрастанию ряду), а занятая аномалиями больше 80-го перцентиля - 7% (рис. 5.4).

Для осадков характерно чередование периодов преобладания областей избытка (1940-1960 гг.) и дефицита (1965-1986 гг.) осадков. С начала 2000-х гг. преобладают крупные аномалии осадков больше 80 перцентиля. Явного роста суммарной площади с крупными аномалиями после 1976 г. не наблюдается.

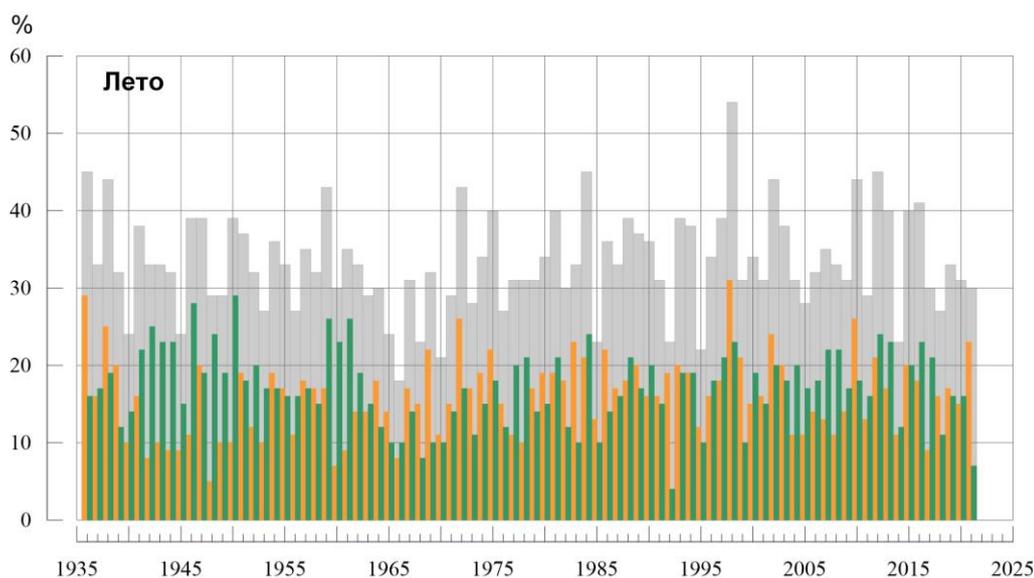


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2021 гг. (лето):

— ниже 20-го перцентиля, — выше 80-го перцентиля,
 — суммарная площадь с крупными аномалиями обоих знаков.

ВЫВОДЫ

1. Лето для Северного полушария в целом было экстремально теплым: аномалия температуры воздуха над сушей СП составила $+1.337^{\circ}\text{C}$ (при стандартном отклонении 0.20°C) – максимальная величина в ряду с 1850 г. и выше, чем ожидаемая при потеплении (разность между величиной сезонной аномалии и величиной тренда составляет $+0.074^{\circ}\text{C}$).

2. Лето в России - очень теплый сезон в году, осредненные по РФ в целом, ЕЧР и АЧР аномалии температуры составили 2.00°C , 2.92°C , 1.66°C – рекордная, вторая и рекордная величины в соответствующих рядах. 95%-е экстремумы отмечались на большей части ЕЧР (кроме северо-востока), на юге Западной Сибири, на большей части ДФО (2.05°C – ранг 3) (кроме района Байкала и Восточной Сибири). Температуры ниже

климатической нормы наблюдались на Среднесибирском плоскогорье (аномалии до -0.2°C), на Чукотке (аномалии на станциях до -0.9°C).

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными среднесезонными аномалиями температуры (выше 80-го перцентиля), составила 70% (ранг 1-2, такой же процент площади страны занимали крупные положительные аномалии летом 2016 года, летняя аномалия температуры, осредненная по РФ составила тогда 1.85°C (предыдущий максимум)); а под экстремальными положительными аномалиями (выше 2σ) 30% (ранг 1).

4. Во все месяцы сезона наблюдались обширные области с экстремальными температурами (в ЕЧР и в ДФО во все месяцы сезона, в Западной Сибири – в августе).

5. Особенно теплым был август: осредненная по РФ аномалия температуры составила $+2.11^{\circ}\text{C}$ – рекордная величина в ряду, во всех федеральных округах ЕЧР (кроме СЗФО) аномалии температуры среди пяти самых крупных. В АЧР ($+1.76^{\circ}\text{C}$ – ранг 1) экстремально тепло в Западной Сибири ($+2.77^{\circ}\text{C}$ – ранг 5) и Средней Сибири ($+2.02^{\circ}\text{C}$ – ранг 3). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке страны (аномалии до -1.8°C).

6. В июне (осредненная по РФ аномалия $+2.32^{\circ}\text{C}$ (ранг 2)) экстремально тепло в ЕЧР ($+3.59^{\circ}\text{C}$ - ранг 2) и в ДФО ($+2.71^{\circ}\text{C}$ - ранг 1). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в среднем и верхнем течении Ишима, Иртыша, Оби и Енисея (аномалии до -1.3°C).

7. В июле (осредненная по РФ аномалия $+1.57^{\circ}\text{C}$ (ранг 3)) экстремально тепло в АЧР ($+1.36^{\circ}\text{C}$ – ранг 4, особенно тепло в ДФО ($+1.99^{\circ}\text{C}$ – ранг 4)), а также на западе и юге ЕЧР (в ЮФО аномалия температуры составила 3.33°C - ранг 4). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке ЕЧР и, далее, в нижнем и среднем течении Оби и Енисея.

8. Лето было достаточно засушливым, в среднем по РФ выпало 93% нормы осадков (ранг 3-4 в упорядоченном по возрастанию ряду). Сильный дефицит осадков наблюдался в центре и на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало лишь 71% нормы), а также в центральных областях СФО и ДФО (в Восточной Сибири выпало 79% нормы – пятое самое «сухое» лето здесь). Избыток осадков наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО (136%) и СКФО (142% - ранг 4)), в Саянах, в Забайкалье и в бассейне Амура.

9. Во все месяцы сезона наблюдались большие области с сильным дефицитом осадков. Площадь, занятая экстремальными аномалиями осадков меньше 20-го перцентиля, составила 23% (7-8-ая величина в упорядоченном по возрастанию ряду), а занятая аномалиями больше 80-го перцентиля лишь 7%.

10. Из месяцев сезона особо выделяется июль: в целом по РФ выпало 89% месячной нормы (ранг 4-5 в упорядоченном по возрастанию ряду), особенно сильный дефицит осадков наблюдался западе и в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 46% - среди пяти самых «сухих» июлей здесь), на Алтае, в Саянах, в Якутии, в Приморье. Избыток осадков наблюдался в Западной Сибири, в Забайкалье, на большей части Восточной Сибири.

11. В августе осредненные осадки по РФ составили 91% (ранг 5-8 в упорядоченном по возрастанию ряду), а по АЧР - 85% нормы (ранг 3-4 также в упорядоченном по возрастанию ряду с 1936 года). Сильный дефицит осадков (на

станциях отмечались 5%-е экстремумы) наблюдался в ПФО (41% нормы – среди пяти самых «сухих»), в УФО (56% нормы- среди двух самых «сухих»), в центральных районах СФО, в Хабаровском крае, на Камчатке (в целом по Восточной Сибири выпало 61% - второй самый «сухой» август). Значительный избыток осадков наблюдался на западе и юге ЕЧР (в ЮФО (175%), в СКФО – 212% (ранг 2)), в среднем течении Лены.

12. В июне в среднем по РФ выпало 100% нормы. Избыток осадков наблюдался на большей части СФО и на юге ДФО. Дефицит осадков наблюдался в центральных районах ЕЧР, в Западной Сибири, в Восточной Сибири.

13. Летом атмосферные засухи наблюдались во многих областях ЮФО, ПФО и УФО, в ряде областей ЦФО. Этому способствовал сильный дефицит осадков и экстремальные температурные аномалии, наблюдавшиеся в течение всех трех месяцев сезона. В июле атмосферные засухи фиксировались на западе СЗФО, в июле и в августе - в ряде областей ДФО (особенно в Якутии).

10. В целом по России линейный тренд летней температуры воздуха за период 1976-2021 гг. положителен и составляет $+0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 67% межгодовой изменчивости. Тренд примерно одинаков во все месяцы летнего сезона и значим на 1%-м уровне.

Наиболее значительное потепление летних сезонов отмечается на юго-западе ЕЧР (до $+0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Средней и Восточной Сибири (до $+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наиболее слабое потепление (от 0 до $+0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) отмечается в Западной и Средней Сибири и связано либо с отсутствием потепления (август), либо с незначительным похолоданием (июнь, июль), однако локализация этой области от месяца к месяцу существенно менялась.

11. В изменении сумм осадков летнего сезона преобладает тенденция к их слабому уменьшению на ЕЧР (центральные и южные области во все месяцы сезона), и к увеличению в АЧР (кроме арктического побережья и Камчатки).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Предварительный

Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии»

Обзор состояния и тенденций изменения климата на территории Республики Беларусь



ВВЕДЕНИЕ

В настоящем Приложении* приводится информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) летом 2021 г. и о наиболее значительных климатических аномалиях этого периода на территории Республики Беларусь. Работа выполняется в рамках сотрудничества по программе Союзного государства "Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды".

Все оценки получены по данным о средних месячных значениях температуры приземного воздуха и месячных суммах атмосферных осадков в базовом архиве ИГКЭ, содержащем данные гидрометеорологических наблюдений на 455 станциях стран СНГ и Балтии (из них 7 станций Республики Беларусь, табл. 1).

Таблица 1.

Список используемых станций Республики Беларусь.

	Название	№ ВМО	широта	Долгота	Высота
1	Витебск	26666	55.20	30.20	169
2	Минск	26850	53.90	27.50	234
3	Брест	33008	52.10	23.70	144
4	Пинск	33019	52.10	26.10	144
5	Василевичи	33038	52.30	29.80	140
6	Гомель	33041	52.40	31.00	138

Под аномалиями температуры в бюллетене понимаются отклонения наблюдаемого значения от нормы, то есть от средней за базовый период 1961-1990 гг. Аномалии осадков рассматриваются как в отклонениях от нормы (аналогично температуре), так и в процентах от нормы (процентное отношение количества выпавших осадков к соответствующему значению нормы). Дополнительно приводится «вероятность неперевышения» текущего значения во временном ряду рассматриваемой переменной за некоторый период с 1936 по 2021 гг. (доля значений временного ряда, меньших либо равных текущему значению).

Осреднение по регионам выполняется по станционным данным об аномалиях климатических переменных с использованием двухступенчатой процедуры. На первом этапе территория региона покрывается регулярной сеткой (разрешением 2.5 градуса

* Материалы подготовлены в ФГБУ ИГКЭ Росгидромета и РАН с использованием данных НИУ Росгидромета: ФГБУ «Гидрометцентр РФ» и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

широты на 5 градусов долготы), и в каждой ячейке сетки рассчитывается «ячеечное» среднее (среднее арифметическое из значений аномалий на попавших в эту ячейку станциях). На втором этапе выполняется взвешенное осреднение «ячеечных» средних с весами, пропорциональными площади пересечения ячейки с территорией региона. Все расчеты, включая определение принадлежности ячейки к региону, площади их пересечения и ячеечных весовых множителей, выполняются автоматически, на основании заданной замкнутой ломаной, ограничивающей территорию региона.

Аналогичным образом, по данным о станционных «нормах» (средних многолетних за базовый период) рассчитываются регионально осредненные «нормы». Регионально осредненные значения самих климатических переменных рассчитываются суммированием регионально осредненных «норм» и регионально осредненных аномалий (этот алгоритм уменьшает смещение средних, вызываемое пропусками в рядах наблюдений).

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЛЕТОМ 2021 г.

В таблицах 2 и 3 приведены станционные данные о наблюдаемой температуре и осадках для каждого месяца рассматриваемого летнего сезона и для сезона в целом, а на рисунках 1 и 2 – соответствующие этим данным распределения аномалий (поля изолиний), также для сезона и для каждого из месяцев. В таблицах 4 и 5 приведены аномалии температуры и осадков, а также оценки трендов, в среднем по всей территории республики Беларусь.

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси летом 2021 г.

	<i>Витебск</i>	<i>Минск</i>	<i>Брест</i>	<i>Пинск</i>	<i>Василевичи</i>	<i>Гомель</i>
	26666	26850	33008	33019	33038	33041
а) температура (град. Цельсия)						
<i>Лето</i>	20.43	19.33	20.43	20.73	20.27	21.80
Июнь	20.3	19.2	20.5	21.1	19.9	21.2
Июль	23.1	21.9	23.2	23.4	22.6	24.2
Август	17.9	16.9	17.6	17.7	18.3	20.0
б) аномалия температуры (град. Цельсия)						
<i>Лето</i>	4.14	2.68	3.06	3.69	2.82	4.04
Июнь	4.35	3.04	3.75	4.47	2.76	3.86
Июль	6.05	4.59	5.18	5.79	4.54	5.77
Август	2.02	0.4	0.24	0.81	1.15	2.48

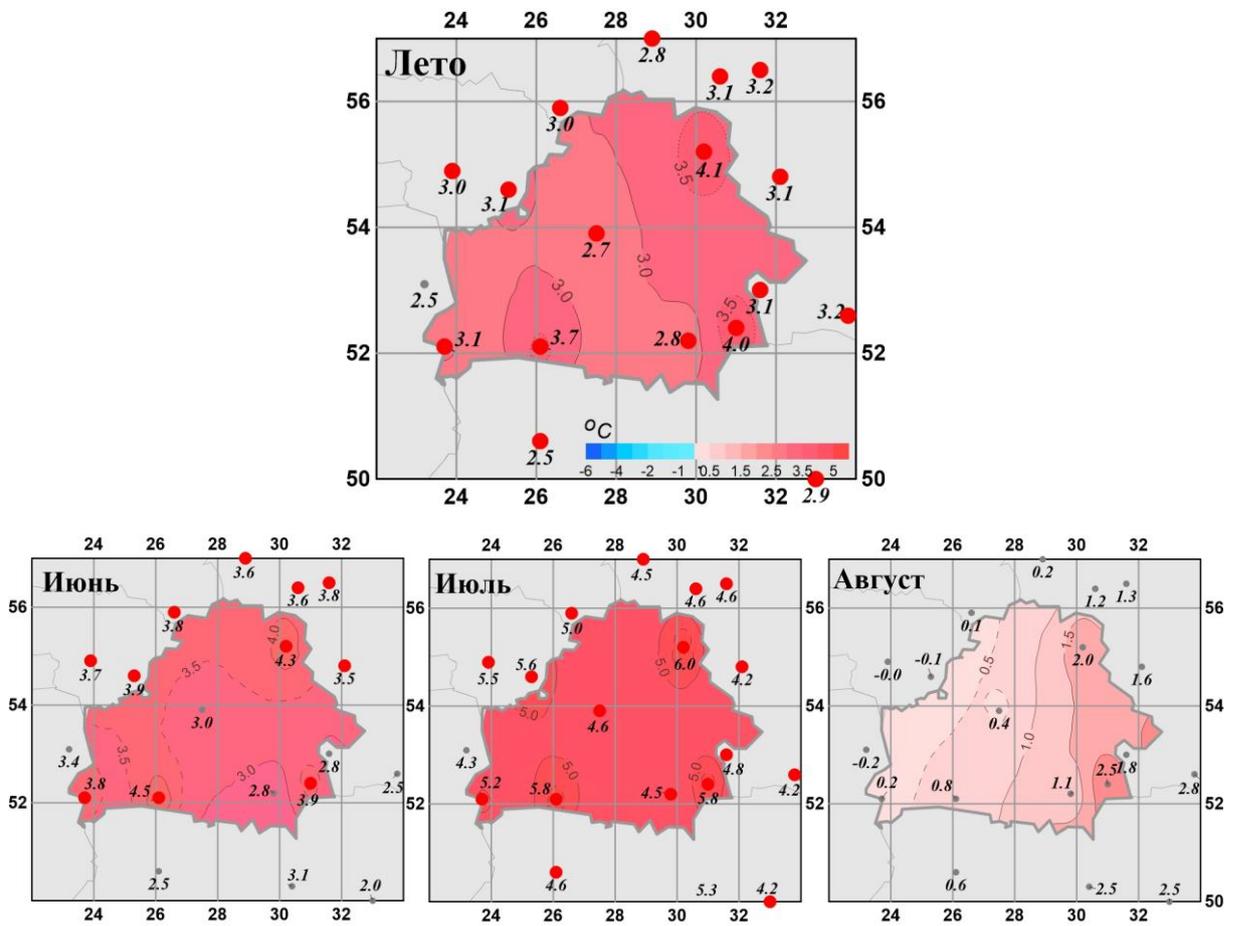


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры (°C) приземного воздуха на территории республики Беларусь летом. Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1990 гг. Цифрами приведены значения аномалий температуры (в градусах Цельсия) на станциях. Красными кружками показаны станционные экстремумы – выше 95-го процента

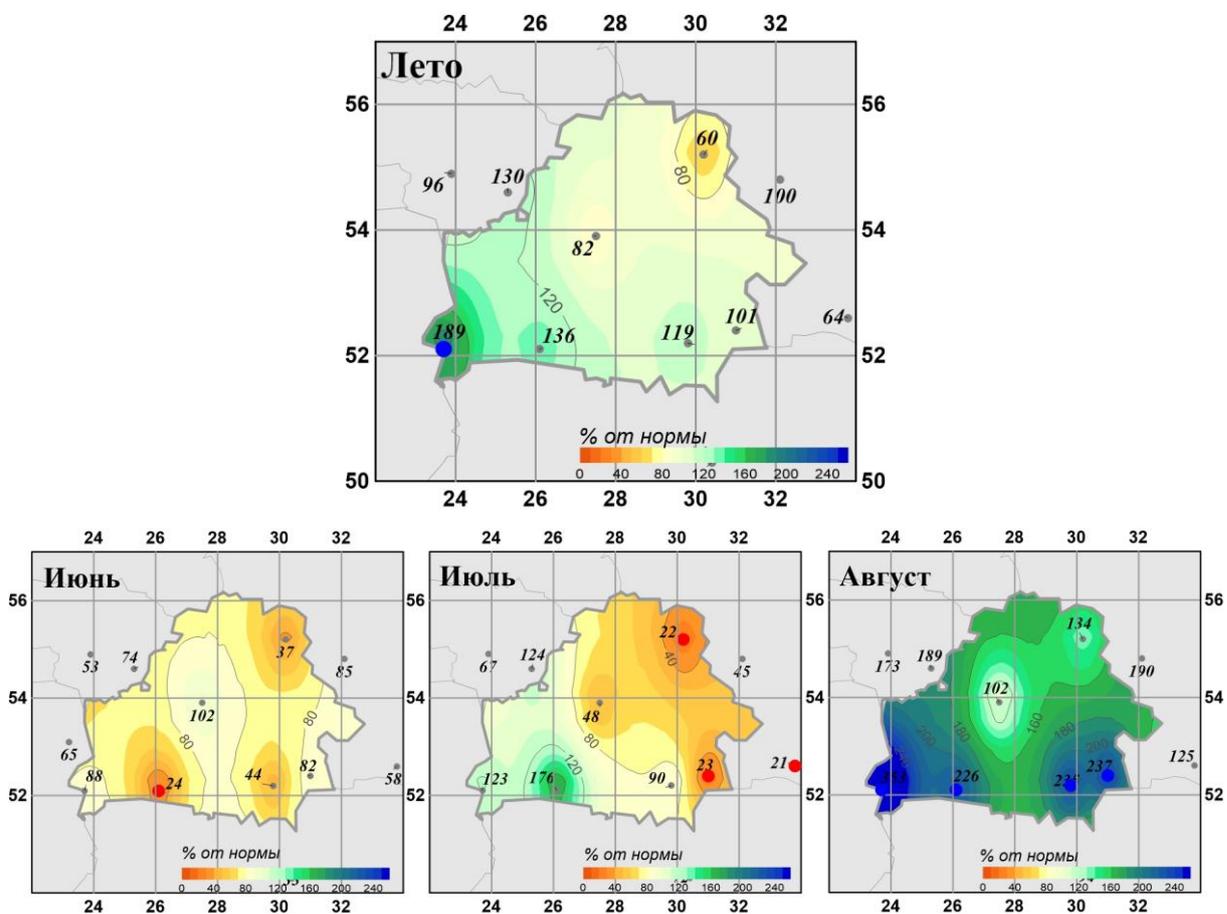


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь летом.
 Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1990 гг. Цифрами приведены значения аномалий температуры (в градусах Цельсия) и осадков (в % от нормы) на станциях.
 Красным кружком показан стационарный экстремум – ниже 5-го перцентиля

Таблица 3

Характеристики режима осадков на станциях Беларуси летом 2021 г.

	<i>Витебск</i>	<i>Минск</i>	<i>Брест</i>	<i>Пинск</i>	<i>Василевичи</i>	<i>Гомель</i>
	26666	26850	33008	33019	33038	33041
а) Сумма осадков (мм/месяц)						
<i>Лето</i>	49.3	66.7	143.7	98.3	96.0	76.0
Июнь	29	84	63	19	35	69
Июль	21	42	99	131	80	19
Август	98	74	269	145	173	140
б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц)						
<i>Лето</i>	-32.3	-14.4	67.7	25.8	15.4	0.8
Июнь	-49.4	1.3	-8.5	-60.2	-44.4	-15.4
Июль	-72.5	-46.1	18.8	56.7	-8.7	-63.1
Август	24.9	1.6	192.8	80.9	99.4	80.8
в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы)						
<i>Лето</i>	60	82	189	136	119	101
Июнь	37	102	88	24	44	82
Июль	22	48	123	176	90	23
Август	134	102	353	226	235	237

На рисунках 3, 4 показаны временные ряды осредненных по территории Беларуси сезонных и месячных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 по 2021 гг.

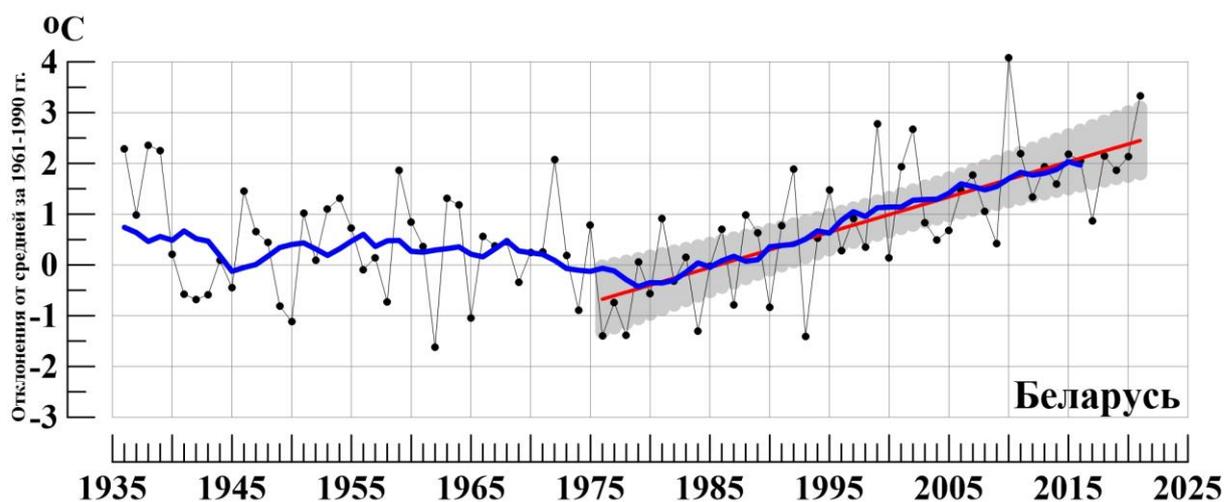


Рисунок 3 - Сезонные (июнь - август) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2021 гг.

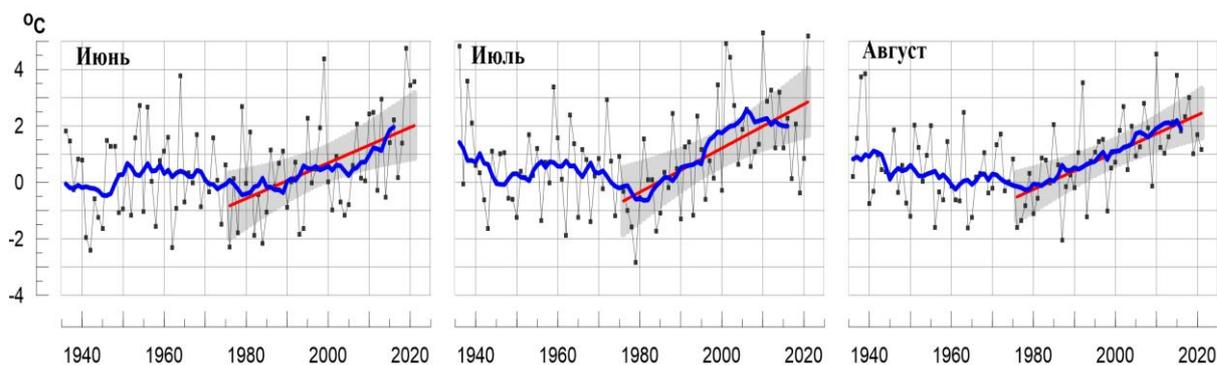


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

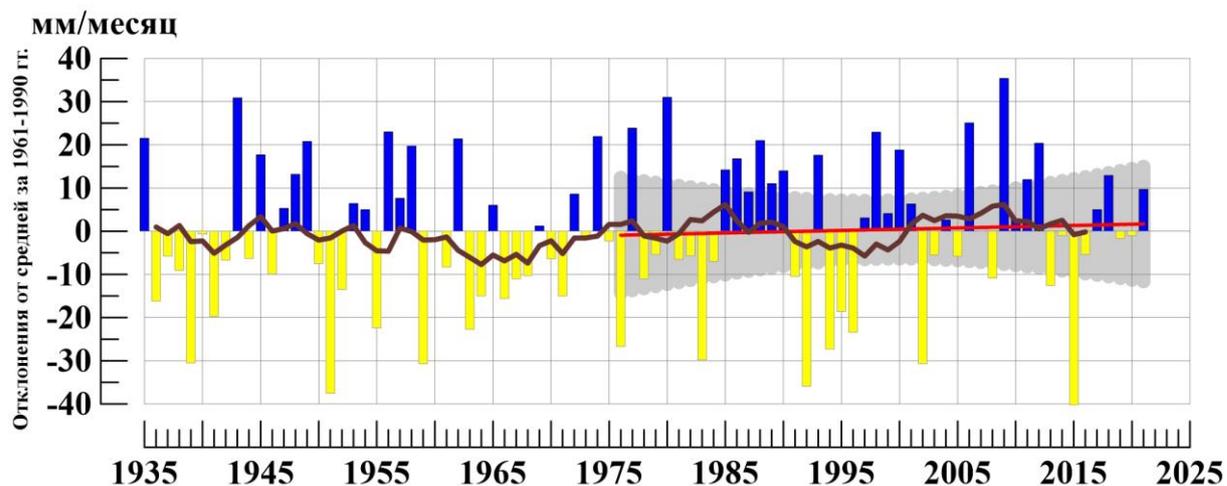


Рисунок 5 - Сезонные (июнь - август) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рис. 3

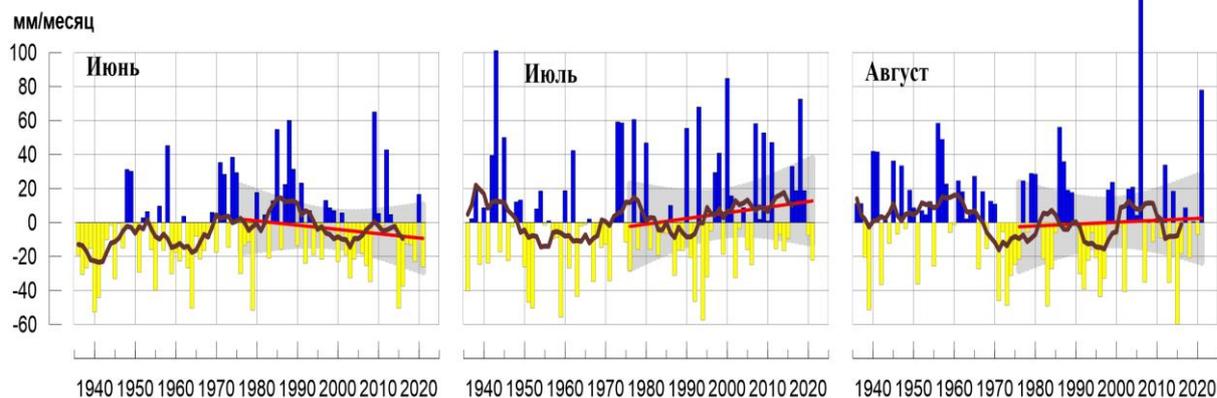


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

Таблица 4

Осредненные аномалии температуры и осадков по территории республики Беларусь за летний сезон и в отдельные месяцы сезона.

	νT_{2021}	s	RR_{2021}	νR_{2021}	s
Лето	3.33	0.91	112	9.7	15.9
Июнь	3.57	1.49	121	-26	28.1
Июль	5.18	1.38	91	-22.2	30.3
Август	1.17	1.10	90	78	26.9

Примечание: Аномалии νT_{2021} ($^{\circ}C$), νR_{2021} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за период 1961-1990 гг.), s ($^{\circ}C$, мм/месяц), – среднее квадратическое отклонение

Таблица 5

Оценки линейного тренда 1976-2021 гг. в среднем по Республике Беларусь

Сезон	Температура		Осадки	
	$b_{1976-2021}$ $^{\circ}C/10$ лет	$D_{1976-2021}$ %	$b_{1976-2021}$ мм/мес/10лет	$D_{1976-2021}$ %
Лето	0.69	53	0.6	0
Июнь	0.63	24	-2.5	2
Июль	0.78	31	3.3	2
Август	0.66	38	1.1	0