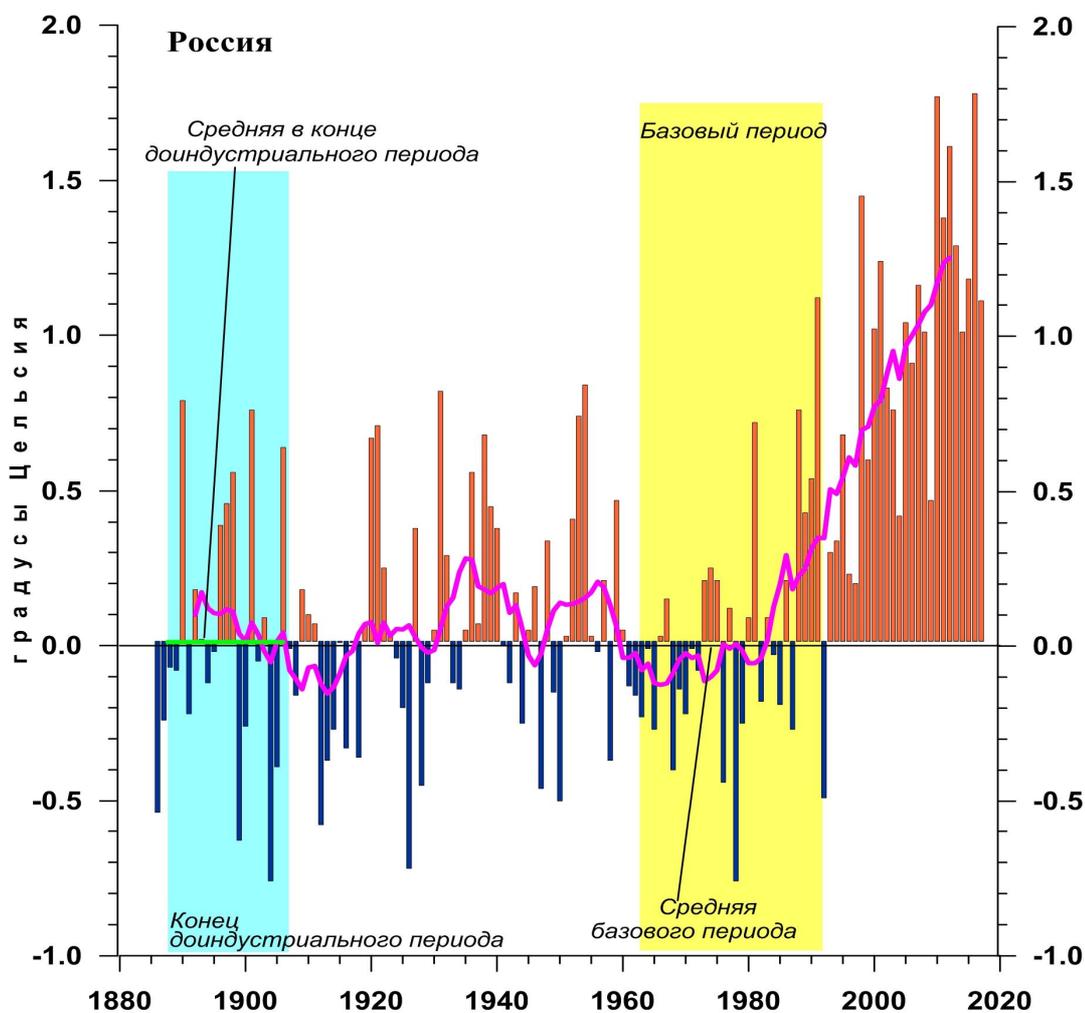


Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

Предварительный
Российская
Академия Наук

ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2017

ЛЕТО: июнь - август

Обзор состояния и тенденций изменения
климата России

★
Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

ВВЕДЕНИЕ.....		3
1.	ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (летний сезон).....	6
2.	КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕТА 2017 г. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	7
3.	ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН.....	15
4.	ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ, 1936-2017 гг.....	19
5.	ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2017 гг. (летний сезон)	24
ВЫВОДЫ		26
ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности лета 2017 г. на территории Республики Беларусь		29

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2017 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 базовом архиве ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Архив включает данные инструментальных наблюдений на 1383 станциях земного шара, в том числе 455 станций стран СНГ и Балтии (из них 315 станций России). В настоящем выпуске использованы данные 251 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 наблюдаемого 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. В качестве дополнительных характеристик аномалий используются показатели, основанные на функции распределения (вероятности непревышения, процентиля; при этом, вероятность непревышения 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) и порядковые статистики (ранги, т.е. порядковые номера в упорядоченном ряду значений).

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.



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.

Регионально осредненные аномалии рассчитываются в два этапа. На первом этапе территория региона покрывается регулярной сеткой 2.5° широты * 5.0° долготы, и в каждой ячейке сетки рассчитывается среднее арифметическое из попавших в эту ячейку станционных аномалий. Затем выполняется взвешенное осреднение ячейчных средних с весами, пропорциональными площади пересечения ячейки с территорией региона.

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 Росгидромета и РАН»** с использованием материалов НИУ Росгидромета: ФГБУ «Гидрометцентр РФ» и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 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 Росгидромета и РАН»).

* 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, Э.В. Рочева, Т.В. Платова, О.Ф. Самохина, Ю.Ю. Соколов, Е.С. Щичилина.

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 2017: 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 1976-2017 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% накрывающая истинную линию тренда.

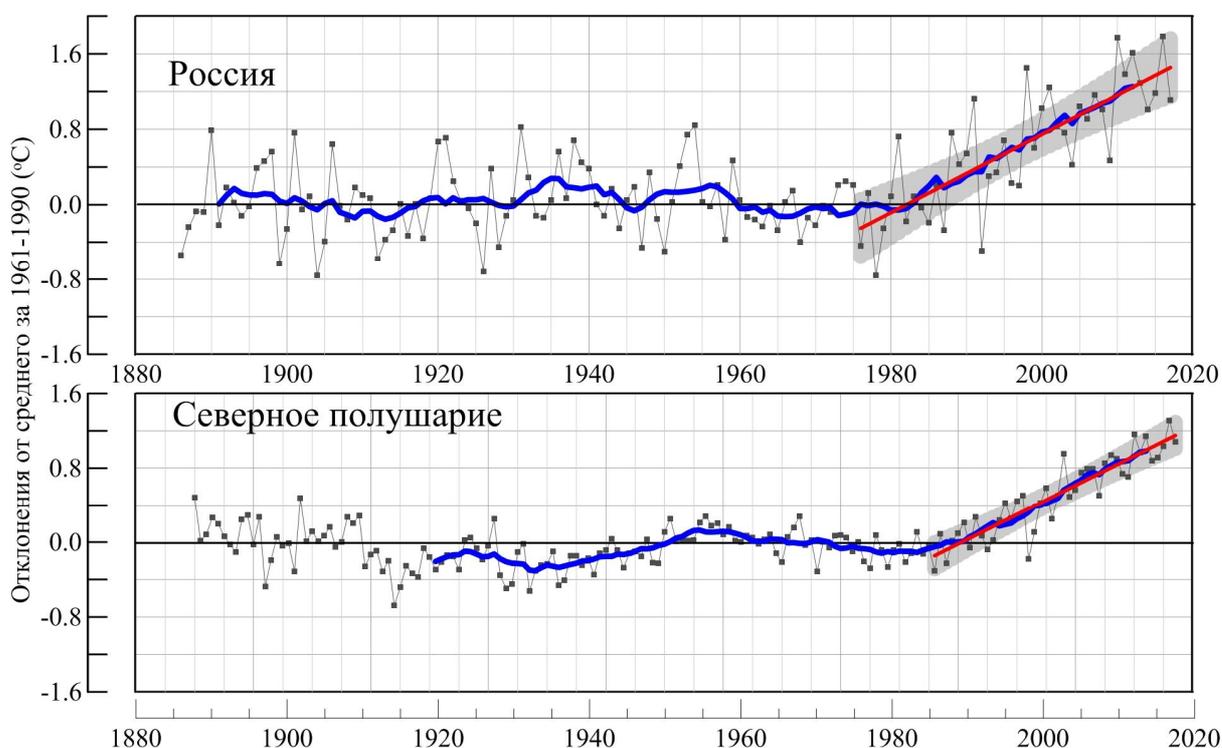


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (лето: июнь - август) температуры приземного воздуха, осредненная по Северному полушарию (суша) и территории России за 1886-2017 гг.

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 1976-2017 гг. Использованы данные Университета Восточной Англии (СП) и данные ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (Россия).

Аномалия температуры воздуха над сушей СП летом составила $+1.08^{\circ}\text{C}$ (стандартное отклонение 0.20°C) – ранг 4 (т.е. четвертая величина в упорядоченном по убыванию ряду с 1850 года).

Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила $+1.11^{\circ}\text{C}$ (при величине стандартного отклонения 0.33°C) – ранг 11.

Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений летних температур за период 1976-2017 гг. в среднем для суши СП и России, приведены в табл. 1.1. Увеличение летних температур в среднем по территории России происходит в 1.31 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 1976-2017 гг.

Регионы	νT_{2017}	$s_{1961-90}$	$b, ^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$	$D \%$
СП	1.08	0.20	0.32	82
Россия	1.11	0.33	0.42	64

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

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕТА 2017 ГГ. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России лета 2017 г. На картах указано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го выше 95-го перцентилей. Значения аномалий, осредненных по регионам, представлены в таблицах 2.1 и 2.2.

Температура воздуха. Осредненная по РФ аномалия температуры 1.11°C – ранг 11. Тепло на юге и северо-востоке ЕЧР и всюду в АЧР, особенно (на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) на юге Сибирского ФО (аномалия 1.53°C – ранг 5) и в центре ДВФО. Наибольшая сезонная аномалия зафиксирована на юге Якутии на станции Усть-Мая: 3.4°C .

На северо-западе и в центре ЕЧР температуры ниже климатической нормы, минимальная аномалия температуры зафиксирована в Костроме: -1°C .

На сезонный максимум в АЧР оказали влияние июнь (особенно) и август, а на минимум в ЕЧР – июнь (особенно) и июль.

Распределение средних сезонных температур на рис. 2.2 позволяет проследить рассмотренные особенности сезона несколько под другим углом. Изотерма 20°C на юге ЕЧР смещена на север примерно на 0.5°C . Изотерма 15°C на северо-западе страны

смещена к югу примерно на 2° , а далее на восток – смещена к северу на 2° - 3° . Изотерма 10°C на западе АЧР смещена к северу на 2°C , а далее на восток – практически совпадает со своим климатическим положением.

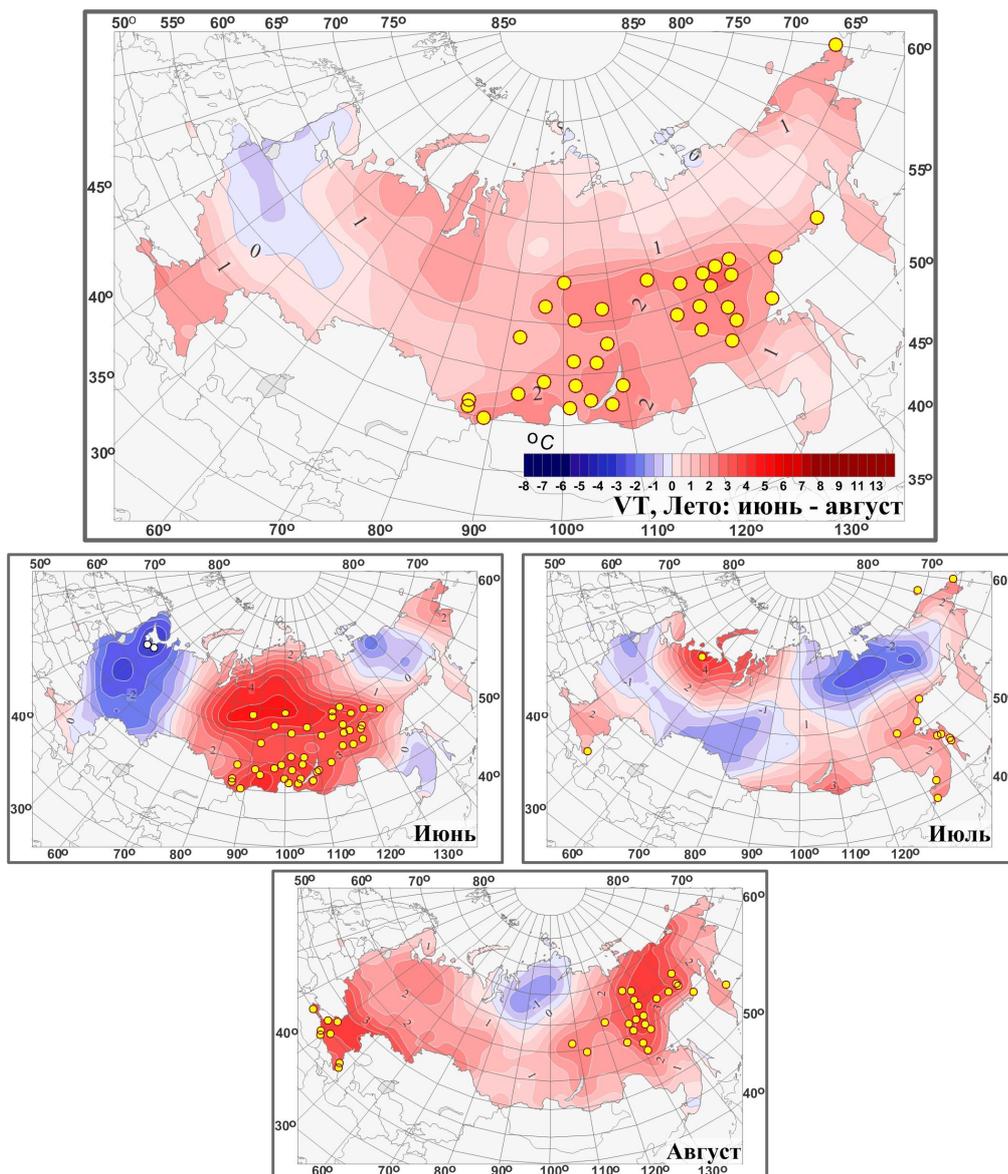


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России летом 2017 г. Кружками белого цвета показано местоположение станционных экстремумов ниже 5-го перцентиля, желтого – выше 95-го перцентиля. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за базовый период 1961-1990 гг.

Июнь. Осредненная по РФ июньская аномалия температуры: 1.09°C . Очень тепло на большей части АЧР (аномалия 2.11°C - ранг 4), особенно тепло в Сибирском ФО (3.2°C - ранг 2) - 95%-е экстремумы фиксировались на многих станциях в центральных и южных районах, аномалии на станциях более 4°C (наибольшая аномалия зафиксирована на станции Тура: 4.93°C). Из регионов РФ следует отметить Среднюю Сибирь (3.37°C – ранг 2) и в Прибайкалье и Забайкалье (3.19°C - ранг 3).

Осредненная по ЕЧР аномалия температуры: -1.44°C – 8-я минимальная величина в ряду, всюду (кроме отдельных областей Южного ФО) температуры были

ниже климатической нормы, аномалии до -3.5°C (в Костроме), особенно прохладно было в Северо-Западном ФО (-1.88°C) и Приволжском ФО (-1.73°C) – июнь здесь среди восьми самых холодных в соответствующих рядах.

Отрицательные аномалии температуры наблюдались также в Приамурье и Приморье (не менее -1°C) и на востоке Якутии (до -2.23°C (на станции Чокурдах)).

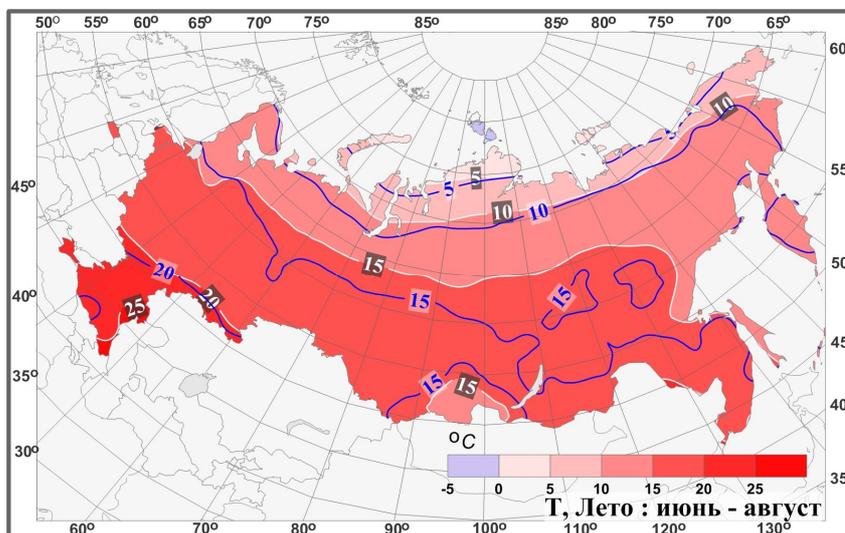


Рисунок 2.2 – Поля средней сезонной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России летом 2017 гг. Синие изолинии: средние изотермы за период 1961-1990 гг.

Июль. В июле осредненная по РФ аномалия температуры составила 0.42°C .

Очень тепло (аномалии на станциях до 4°C) на севере ЕЧР и севере Западной Сибири (максимальная аномалия зафиксирована на станции Нарьян - Мар республики Коми: 4.5°C); на юге ЕЧР, юге Сибирского ФО и Дальневосточного ФО (осредненная аномалия по региону Приамурье и Приморье: 1.65°C – ранг 5, на ряде станций зафиксированы 95-е экстремумы); на Чукотке и на Камчатке.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в вытянутой вдоль параллели $\sim 57^{\circ}$ с.ш. области, охватывающей центральные районы ЕЧР, Южный и Средний Урал, центр и юг Западной и Средней Сибири, север соседнего Казахстана (наименьшая аномалия зафиксирована в Омской области на станции Тара: -1.6°C). Еще одна крупная область отрицательных аномалий наблюдалась на севере Дальневосточного ФО (на востоке Якутии на станции Зырянка аномалия: -2.6°C).

Август. Осредненная по РФ аномалия температуры 1.81°C – четвертая величина в ряду. Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны, кроме севера Сибирского ФО. Экстремально тепло (на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы) на юге ЕЧР (особенно в СКФО: аномалия 3.23°C – ранг 5) и в центральных районах ДВФО (2.16°C – ранг 2), аномалии на юге Якутии более 3.5°C (максимальная аномалия зафиксирована на станции Усть-Мома: 4.3°C).

Отрицательные аномалии (до -1.6°C) наблюдались лишь на севере Сибирского ФО (наименьшая аномалия температуры зафиксирована на севере Красноярского края на станции Игарка: -1.6°C).

Атмосферные осадки. Осредненные по РФ осадки 107% нормы – ранг 14. Распределение сезонных аномалий во многом похоже на июльское распределение.

Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался в центре и на севере ЕЧР (118% - ранг 8), особенно в Северо-Западном ФО (136% - ранг 3), на ряде станций СЗФО и Приволжского ФО выпало более полутора норм или более 95-го перцентиля осадков, наибольшее количество осадков зафиксировано в Новгороде: 202%. Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался в верхнем течении Оби и Иртыша и в бассейне Енисея (на станции Киселевск Кемеровской области выпало 186%); а также в Магаданской области и на севере Корякского АО (наибольшее количество зафиксировано на станции Омолон на границе Чукотского АО и Магаданской области: 209% нормы); на юге Хабаровского края и в Приморском крае.

Дефицит осадков (70%-80%) наблюдался на севере страны от п-ова Канин и далее на восток (исключая дельту Лены), в центральных районах Дальневосточного ФО, в районе Байкала (осредненные по Прибайкалью и Забайкалью осадки: 90% среди 12-ти самых «сухих» летних сезонов здесь) – на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы. Дефицит осадков (около 80%) наблюдался на юге ЕЧР: в Южном ФО и Северо-Кавказском ФО.

В августе в некоторых областях в Южном ФО и Северо-Кавказском ФО дефицит осадков (местами менее 40%) и крупные температурные аномалии (выше +3°C) способствовали образованию засух средней и сильной интенсивности.

Июнь. Осредненные осадки по РФ составили 112% нормы. Значительный избыток осадков (на ряде станций 95%-е экстремумы) наблюдался на большей части ЕЧР (осредненные по региону осадки: 135% - ранг 2, особенно много осадков выпало в Северо – Западном ФО: 156% – ранг 2 и Приволжском ФО: 143% - ранг 9); в Западной Сибири (132% -ранг 9). Из федеральных округов следует отметить Уральский ФО: выпало 143% - ранг 5, на многих станциях Среднего Урала выпало более двух норм осадков, на станции Ивдель (Свердловская область) - 301% нормы. Избыток осадков наблюдался на большей части Средней Сибири (в устье Енисея, на юге Красноярского края значительный: более 120%); в нижнем течении Лены, на западе Чукотке (на станции Омолон выпало 343%.), в Приморье.

Сильный дефицит осадков (40%-60% нормы) наблюдался в районе Байкала (в регионе Прибайкалье и Забайкалье выпало 72% нормы – июнь здесь среди семи самых сухих в ряду), в центральных районах Дальневосточного ФО. Дефицит осадков (60%-80% нормы) наблюдался на юго-западе ЕЧР.

Июль. Осредненные осадки по РФ – 112% нормы (ранг 9). Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался в ЕЧР (129% - ранг 2): в Центральном, Приволжском (139% нормы – ранг 2) и на большей части Северо-Западного ФО, на многих станциях выпало больше двух норм или более 95-го перцентиля осадков, максимальное количество осадков зафиксировано в Петрозаводске: 329%). Значительный избыток осадков наблюдался также в центре и на юге Сибири (на станции Тара Омской области выпало 357%); а также вдоль побережья морей Тихого океана, особенно севернее 60° с.ш. (на ряде станций выпало более двх с половиной норм или более 95-го перцентиля осадков, максимальное количество зафиксировано на станции Брюхово Магаданской области: 255% нормы).

Дефицит осадков наблюдался на севере страны, сильный (менее 40% нормы): на севере Западной Сибири (на многих станциях Ямало – Ненецкого АО фиксировались 5%-е экстремумы). Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался на юге ЕЧР, в районе Байкала, в верхнем и среднем течении Амура.

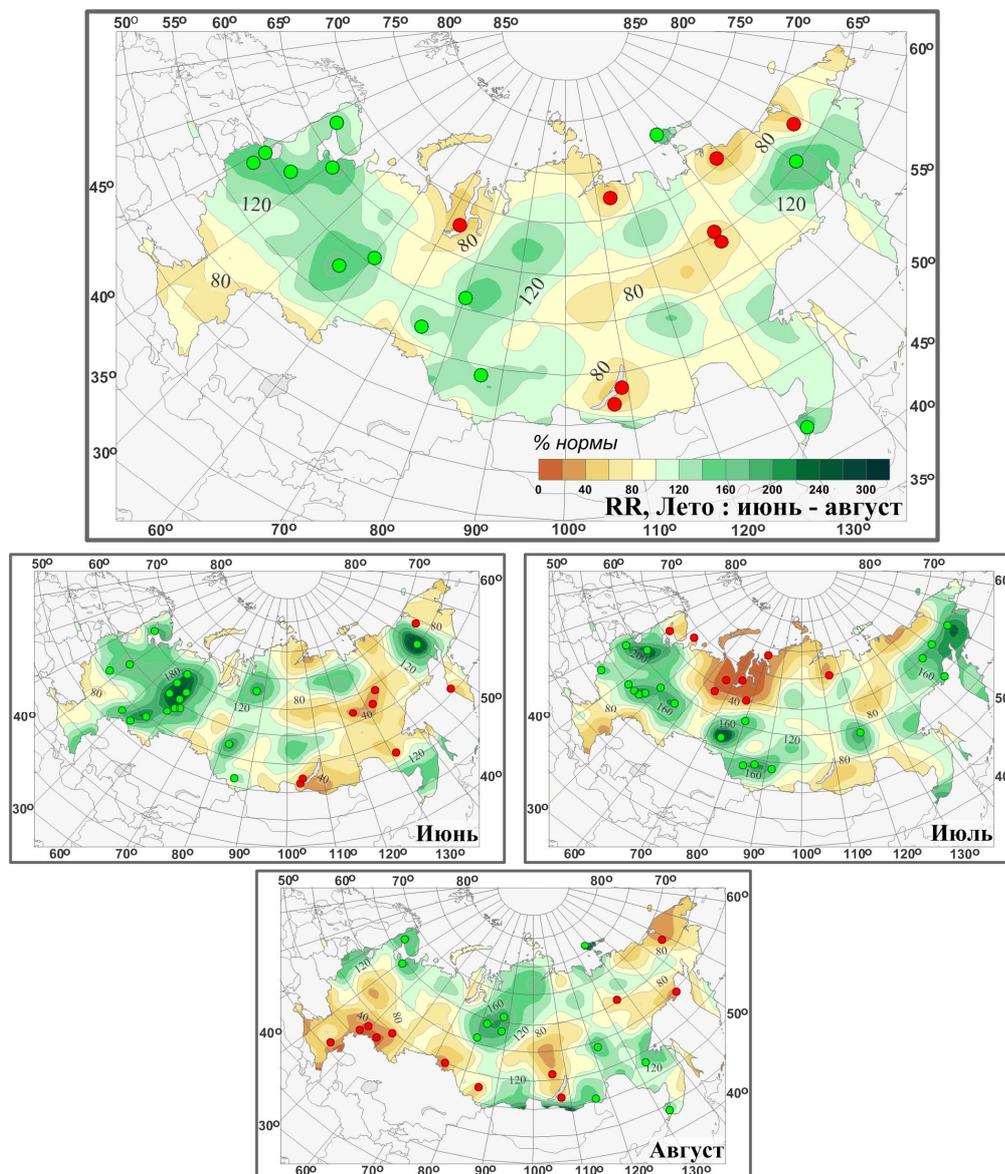


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России летом 2017 г. (июнь – август). Кружками красного цвета показаны станционные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

Август. Осредненные по РФ осадки 100% нормы. В ЕЧР преобладал дефицит осадков, в АЧР – избыток осадков. Дефицит осадков (40%-80% нормы) наблюдался всюду на ЕЧР, кроме севера и запада Северо-Западного ФО, особенно мало осадков (на ряде станций отмечались 5%-е экстремумы) выпало в Южном ФО (37% нормы – среди трех самых «сухих» августов здесь), в Приволжском ФО (57% - среди 11-ти самых «сухих» августов) и далее на юге Уральского ФО. Дефицит осадков (60:-80%)

наблюдался также в верхнем течении Лены, в центральных и северных районах Дальневосточного ФО.

Значительный избыток осадков (120%-160% нормы) наблюдался на Таймыре и далее в междуречье Оби и Енисея, на ряде станций среднего течения Енисея выпало около двух норм осадков или более 95-го перцентиля.

Избыток осадков (более 120%) наблюдался также на западе и севере Северо-Западного ФО (в Кандалакше и в Архангельске выпало более двух с половиной месячных норм); а также в Саянах, в Забайкалье, на юге Дальневосточного ФО (на ряде станций выпало более полутора норм).

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 2017 г.

Регионы	νT_{2017}	$s_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2017})$
Российская Федерация	1.11	0.33	87.7
Физико-географические регионы России			
Европейская часть России	0.46	1.00	53.1
Азиатская часть России	1.37	0.35	93.8
Западная Сибирь	1.12	0.80	86.4
Средняя Сибирь	1.63	0.65	95.1
Прибайкалье и Забайкалье	1.96	0.57	96.3
Приамурье и Приморье	1.06	0.75	80.2
Восточная Сибирь	1.14	0.56	87.7
Федеральные округа РФ			
Северо-Западный	0.20	1.17	48.1
Центральный	0.23	1.22	43.2
Приволжский	0.17	1.19	45.7
Южный	1.61	1.03	81.5
Северо-Кавказский	1.62	0.76	90.1
Уральский	1.09	1.02	80.2
Сибирский	1.53	0.47	95.1
Дальневосточный	1.29	0.48	91.4

Примечание: 1. Аномалии νT_{2017} (°C) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s (°C) – среднее квадратическое отклонение за базовый период; вероятности непревышения $P(t \leq T_{2017})$ 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 неперевышения) региональных аномалий по данным за 1936-2017 годы.

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

Таблица 2.1.1

Регионально осредненные аномалии температуры в летние месяцы.

Регионы	Июнь			Июль			Август		
	vT_{2017}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2017})$	vT_{2017}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2017})$	vT_{2017}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2017})$
Российская Федерация	1.09	0.60	86.4	0.42	0.45	61.7	1.81	0.40	96.3
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	-1.44	1.50	8.6	0.46	1.30	51.9	2.34	1.25	90.1
Азиатская часть России	2.11	0.62	96.3	0.40	0.47	63.0	1.59	0.55	98.8
Западная Сибирь	2.33	1.41	85.2	-0.16	1.22	51.9	1.18	1.12	79.0
Средняя Сибирь	3.37	1.19	98.8	0.13	1.04	46.9	1.36	0.92	88.9
Прибайкалье и Забайкалье	3.19	1.09	97.5	1.29	0.85	77.8	1.38	0.98	81.5
Приамурье и Приморье	0.48	1.20	61.7	1.65	0.93	95.1	1.04	0.79	70.4
Восточная Сибирь	0.54	0.97	61.7	0.10	0.74	45.7	2.86	0.82	98.8
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	-1.88	1.78	8.6	0.74	1.57	61.7	1.72	1.26	77.8
Центральный	-1.61	1.81	16.0	-0.08	1.47	37.0	2.39	1.43	90.1
Приволжский	-1.73	1.81	8.6	-0.07	1.59	40.7	2.27	1.59	85.2
Южный	-0.16	1.45	39.5	1.41	1.30	70.4	3.56	1.42	92.6
Северо-Кавказский	0.21	1.11	51.9	1.43	1.10	85.2	3.23	1.14	95.1
Уральский	1.81	1.64	75.3	0.23	1.37	59.3	1.23	1.31	76.5
Сибирский	3.21	1.10	98.8	0.36	0.87	60.5	1.07	0.81	82.7
Дальневосточный	1.20	0.80	82.7	0.47	0.64	60.5	2.16	0.66	98.8

Как уже отмечалось выше, лето для России в целом (см. табл. 2.1) было теплым, аномалия температуры составила +1.11°C. Тепло было во всех регионах. В ЕЧР (+0.46°C) температура была близка к климатической норме; в АЧР было очень тепло (+1.37°C – ранг 6), особенно в Средней Сибири (+1.63°C - ранг 5) в Прибайкалье и

Забайкалье (+1.96°C – ранг 4), из федеральных округов следует отметить Сибирский ФО (+1.53°C – ранг 5).

В июне было экстремально тепло в АЧР (+2.11°C – ранг 4), особенно в Сибирском ФО (+3.21°C – ранг 2). В июле экстремально тепло в Приамурье и Приморье (+1.65°C – ранг 5); в ЕЧР, в Западной Сибири, в Средней Сибири, в Восточной Сибири температуры были близки к климатической норме. В августе экстремально тепло в России в целом (+1.81°C – ранг 4), особенно в АЧР (+1.59°C – ранг 2) – особенно в Восточной Сибири (+2.86°C – ранг 2).

Летом в целом по РФ (табл. 2.2 и табл. 2.2.1) выпало 107% нормы осадков – ранг 14. Экстремальные осадки летом наблюдались в Северо-Западном ФО (136% - ранг 3), в Прибайкалье и Забайкалье выпало 90% нормы – среди двенадцати самых «сухих» летних сезонов. Июнь и июль – достаточно «влажные» месяцы в сезоне, особенно в ЕЧР (выпало 135% и 129% нормы – вторые величины в соответствующих рядах). В июне экстремально влажно в Северо-Западном ФО (156% - ранг 2) и в Уральском ФО (ранг 5), в июле – в Приволжском ФО (139% - ранг 2). В августе в ЕЧР (87%), в Западной Сибири (92%), в Восточной Сибири (91%) наблюдался дефицит осадков, особенно сильный в Южном ФО (37% нормы – третья минимальная величина в ряду).

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков летом 2017 г.

Регионы	vR_{2017}	RR_{2017}	m	$m-q1$	$q3-m$	$P(r \leq R_{2017})$
Российская Федерация	4.7	107	-0.8	1.4	2.6	85.2
Физико-географические регионы России						
Европейская часть России	11.0	118	-1.4	1.8	6.3	91.4
Азиатская часть России	2.2	103	-0.1	2.8	2.4	56.8
Западная Сибирь	6.0	110	0.8	5.9	5.1	69.1
Средняя Сибирь	2.7	105	-0.8	2.9	5.2	49.4
Прибайкалье и Забайкалье	-8.1	90	-0.1	6.9	4.6	13.6
Приамурье и Приморье	6.2	106	1.8	12.0	11.3	66.7
Восточная Сибирь	1.9	104	-0.1	3.6	3.8	61.7
Федеральные округа РФ						
Северо-Западный	23.7	136	0.2	4.9	5.9	97.5
Центральный	5.5	108	-2.0	8.3	12.8	66.7
Приволжский	9.3	116	-0.4	6.5	7.5	80.2
Южный	-10.1	79	-2.4	5.7	10.0	17.3
Северо-Кавказский	-0.3	100	-1.8	6.1	9.2	54.3
Уральский	5.3	108	1.4	6.9	4.6	69.1
Сибирский	1.2	102	-0.4	3.1	4.3	46.9
Дальневосточный	2.6	104	-0.4	3.6	3.8	63.0

Примечание: 1. Аномалии vR_{2017} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за базовый период 1961-1990 гг.), RR_{2017} – отношение R_{2017} к норме, выраженное в %, $q1$, $q3$ и m – соответственно первый, третий квартиль и медиана аномалий (мм/месяц) за базовый период; вероятности неперевышения $P(r \leq R_{2017})$ – рассчитаны по выборке за 1936-2017 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		
	νR_{2017}	RR_{2017}	$P(r \leq R_{2017})$	νR_{2017}	RR_{2017}	$P(r \leq R_{2017})$	νR_{2017}	RR_{2017}	$P(r \leq R_{2017})$
Российская Федерация	6.4	112	88.9	8.1	112	90.1	-0.3	100	38.3
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	21.0	135	98.8	19.8	129	98.8	-7.9	87	25.9
Азиатская часть России	0.5	101	44.4	3.4	105	63.0	2.8	104	58.0
Западная Сибирь	18.4	132	90.1	4.4	107	54.3	-4.8	92	25.9
Средняя Сибирь	-0.4	99	33.3	1.6	103	45.7	6.8	112	56.8
Прибайкалье и Забайкалье	-17.2	72	7.4	-9.2	91	37.0	3.1	104	55.6
Приамурье и Приморье	-0.7	99	49.4	-2.7	98	53.1	22.0	118	82.7
Восточная Сибирь	-5.8	85	21.0	16.5	129	92.6	-5.4	91	27.2
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	31.7	156	98.8	25.2	137	91.4	14.3	120	82.7
Центральный	9.8	114	70.4	17.2	121	84.0	-10.4	84	29.6
Приволжский	24.6	143	90.1	26.2	139	98.8	-23.0	57	11.1
Южный	0.3	101	54.3	-5.0	90	43.2	-25.9	37	2.5
Северо-Кавказский	2.1	103	58.0	12.1	121	77.8	-14.9	74	27.2
Уральский	25.7	143	95.1	-10.2	85	27.2	0.4	101	55.6
Сибирский	-0.3	99	33.3	4.3	106	56.8	-0.8	99	34.6
Дальневосточный	-5.4	89	27.2	7.6	111	76.5	6.2	109	69.1

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 1976-2017 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 $+1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет на юго-западе) и в Средней и Восточной Сибири

(до $+0.6^{\circ}\text{C}/10$ 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 $+1.2^{\circ}\text{C}/10$ лет), в АЧР: в июне (в дельте Оби до $+1.3^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Для всех трех летних месяцев в Сибири отмечается область незначительного похолодания, которая в июне располагалась на севере соседнего Казахстана, в июле область расширилась до среднего течения Оби и Енисея, в августе – сместилась на север до Среднесибирского плоскогорья между $60-73^{\circ}$ с.ш. Наименьший тренд отмечается в августе (до $-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет). Эта перемещающаяся область похолодания 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. Из-за экстремально теплого августа на юге ЕЧР и в Восточной Сибири увеличилась интенсивность потепления на $+0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет по сравнению с оценками тренда за период 1976-2016 гг.

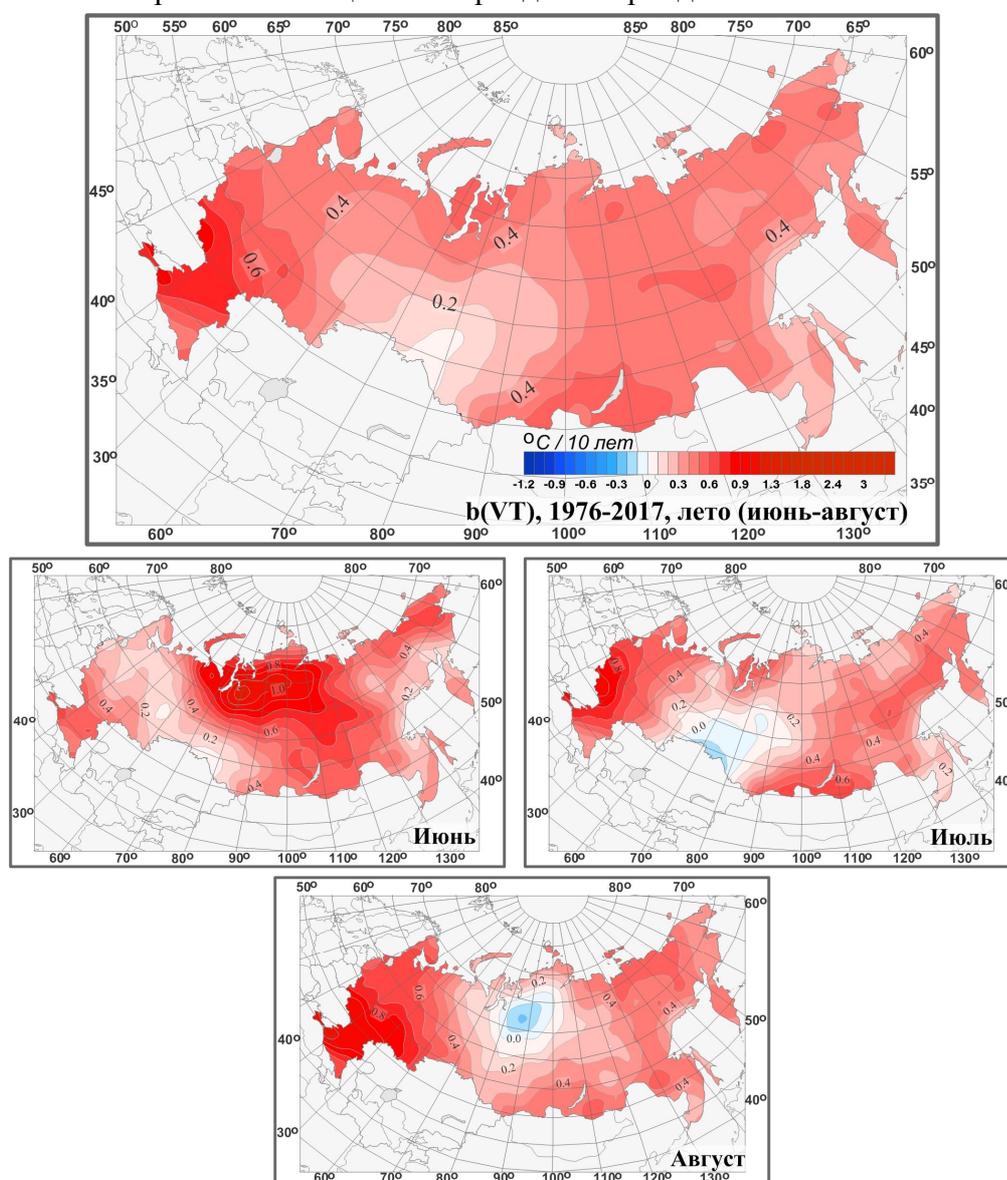


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) на территории России по данным за 1976-2017 (лето)

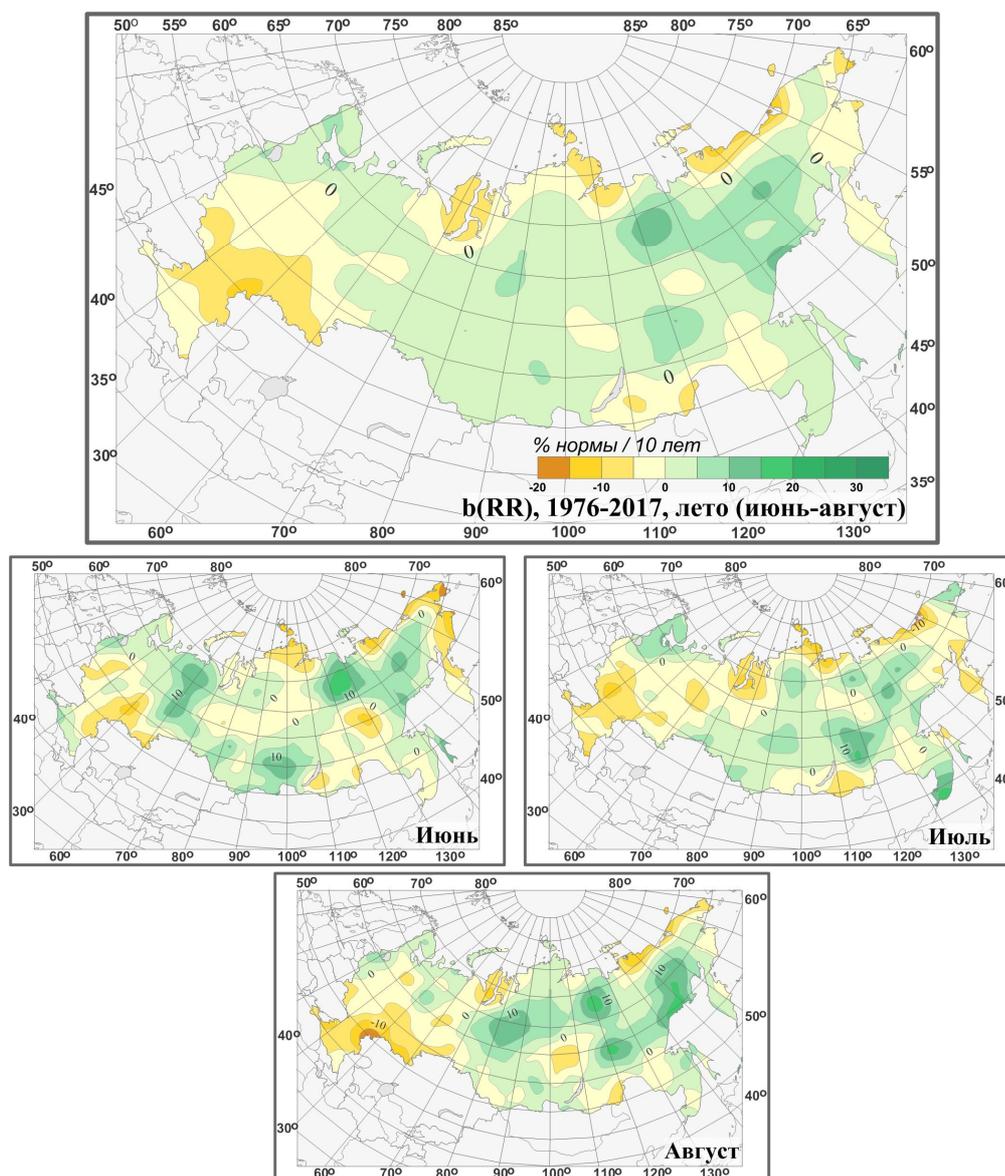


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы /10 лет) на территории России по данным за 1976-2017 (лето).

Тренд средней по России летней температуры за период 1976-2017 гг. положителен: он составляет $+0.42^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 64% 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.

В изменении сумм осадков в течение всего летнего сезона (рис. 3.3) 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: на ЕЧР (кроме северных районов), в районе Обской губы, вдоль побережья Северного Ледовитого

океана: от Таймыра до Чукотки; в Магаданской области, на Камчатке; в Забайкалье (до 10%/10 лет). В июне и августе эта тенденция выражена слабее.

Тенденция к увеличению осадков на АЧР наиболее выражена в июне и августе (Якутия и Магаданская область: до 15%/10 лет).

Из-за экстремально влажного июня в Уральском ФО увеличилась интенсивность роста осадков в районе Урала по сравнению с оценками за период 1976-2016 гг. Из-за экстремально сухого августа в Южном ФО увеличилась интенсивность уменьшения осадков в районе на юге ЕЧР по сравнению с оценками за период 1976-2016 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.

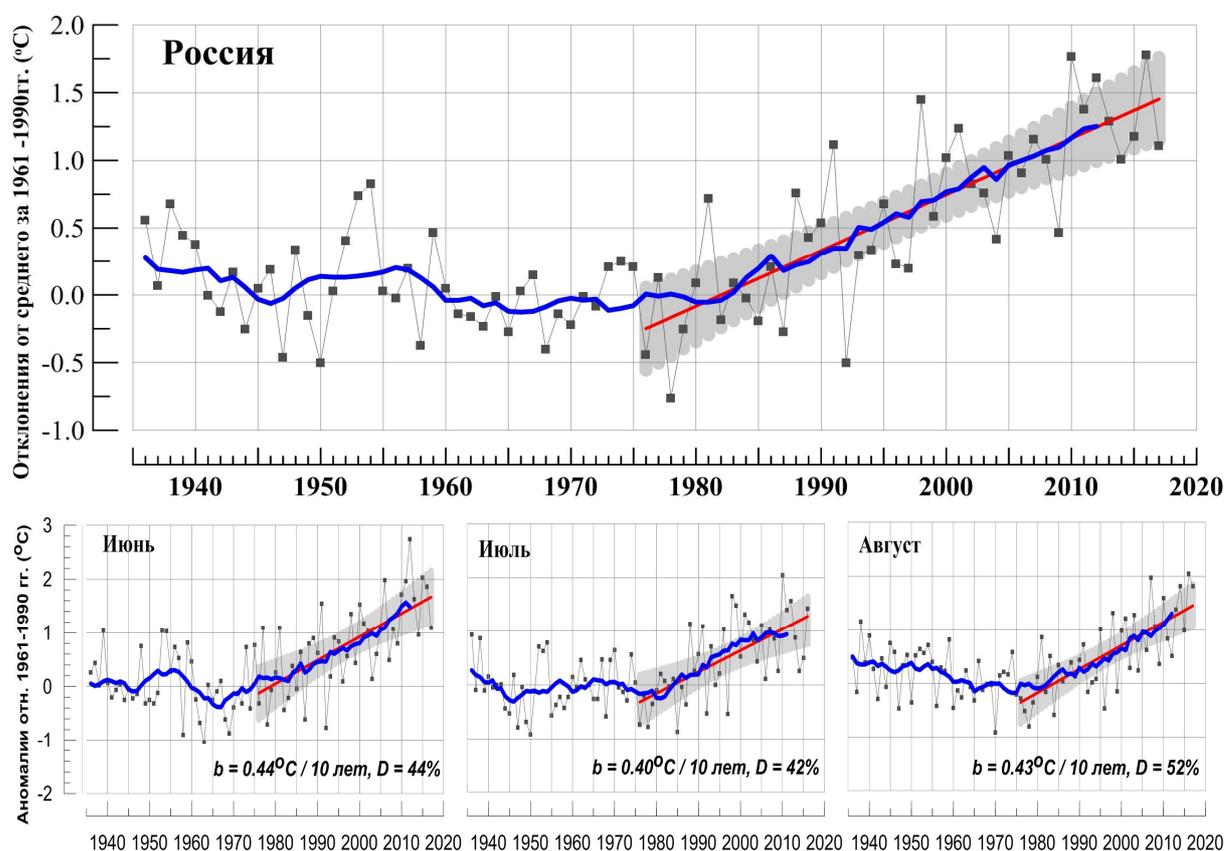


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) осредненная по территории РФ.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2017 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

Таблица 3.1

Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха и суммы осадков, осредненных по территории России и за летний сезон, за 1976-2017 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>	0.42	64	0.4	3
Июнь	0.44	44	0.7	5
Июль	0.37	38	0.1	0
Август	0.44	55	0.8	4

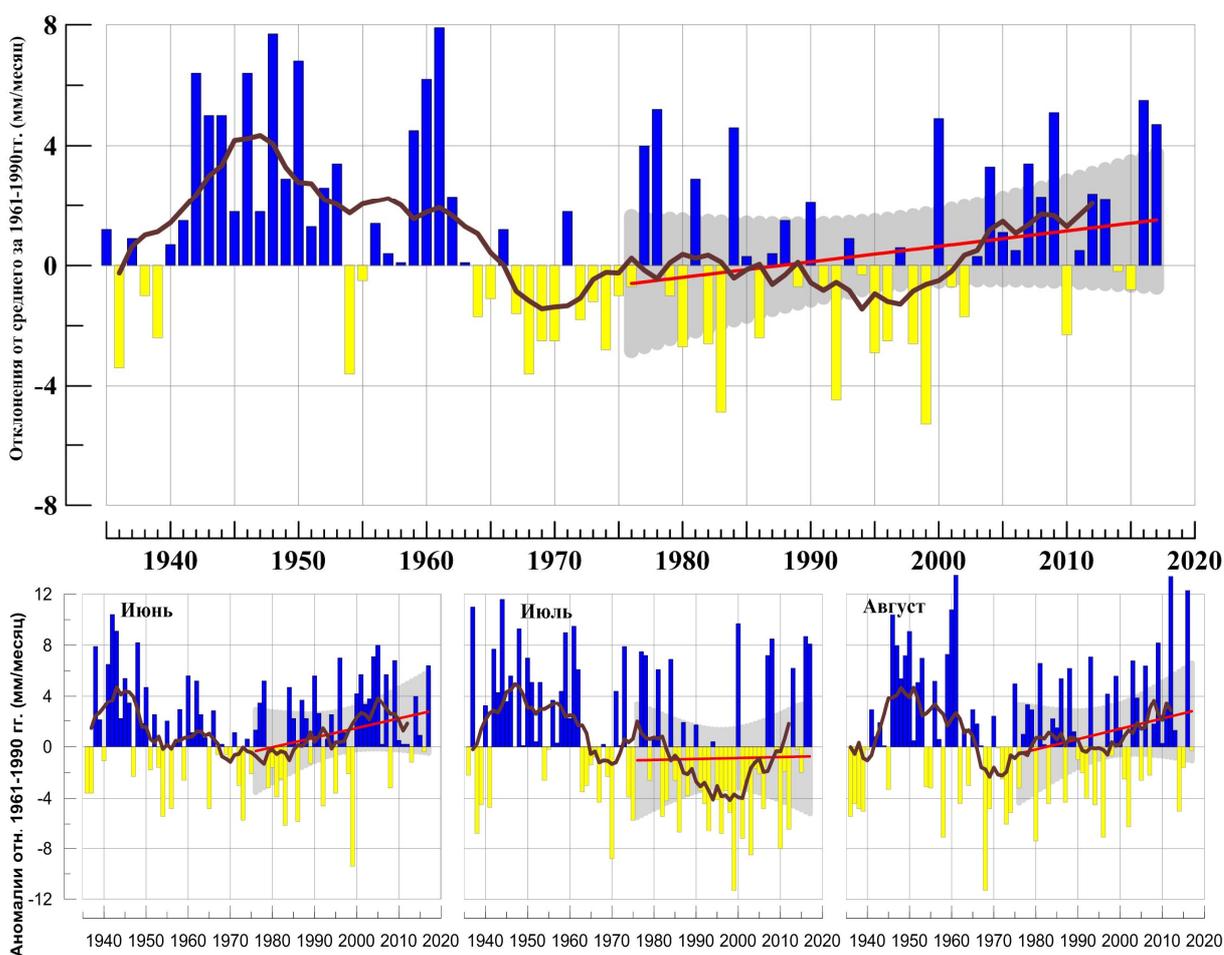


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/мес).

4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ ЗА ПЕРИОД 1936-2017 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 (°C) и месячных сумм

осадков (мм/месяц) летнего сезона за 1936 – 2017 гг. На всех рисунках показаны линейные тренды за 1976-2017 гг., рассчитанные методом наименьших квадратов. Величины трендов и объясненные трендами доли дисперсии рядов представлены в таблице 4.1.

Во всех регионах в среднем за период 1976-2017 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 (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.

Таблица 4.1

Оценки линейного тренда осредненных по территории России среднесезонных аномалий температуры приземного воздуха и сумм осадков за 1976-2017 гг. (летний сезон), *b* – коэффициенты линейного тренда, *D* - вклад тренда в дисперсию ряда.

Регионы	Температура		Осадки		
	<i>b</i> °C/10 лет	<i>D</i> , %	<i>b</i> мм/мес/10 лет	<i>b</i> , %/10 лет	<i>D</i> , %
Россия	0.42	64	0.5	0.8	5
Физико-географические регионы России					
Европейская часть России	0.52	35	-1.0	-1.6	3
Азиатская часть России	0.38	62	1.0	1.6	13
Западная Сибирь	0.23	9	1.0	1.7	2
Средняя Сибирь	0.42	40	1.9	3.6	14
Прибайкалье и Забайкалье	0.49	47	-0.3	-0.3	0
Приамурье и Приморье	0.33	33	1.2	1.2	1
Восточная Сибирь	0.43	49	0.9	1.8	3
Федеральные округа РФ					
Северо-Западный	0.43	29	1.3	2.0	2
Центральный	0.64	33	-2.9	-4.0	6
Приволжский	0.47	19	-2.3	-3.9	6
Южный	0.74	47	-2.2	-4.6	5
Северно-Кавказский	0.56	42	-0.7	-1.1	0
Уральский	0.29	10	0.5	0.8	0
Сибирский	0.35	41	0.9	1.4	5
Дальневосточный	0.42	57	1.3	2.0	5

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, кроме региона Средняя Сибирь, где тенденция к увеличению осадков значима на уровне 5%.

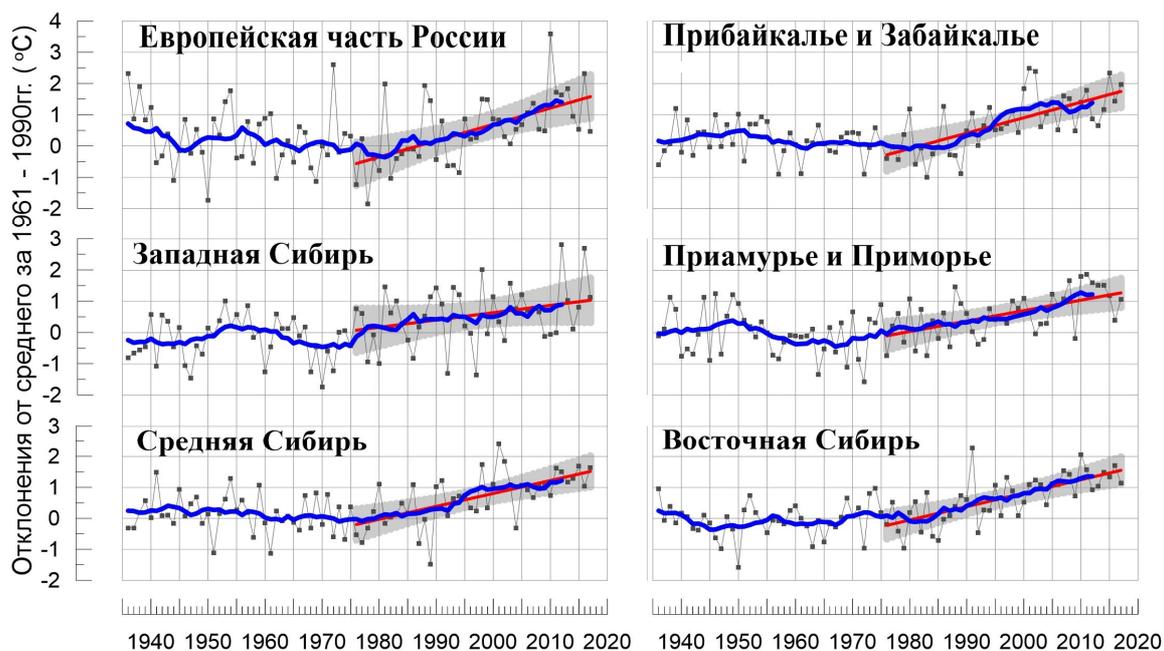


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, лето 2017 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2017 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

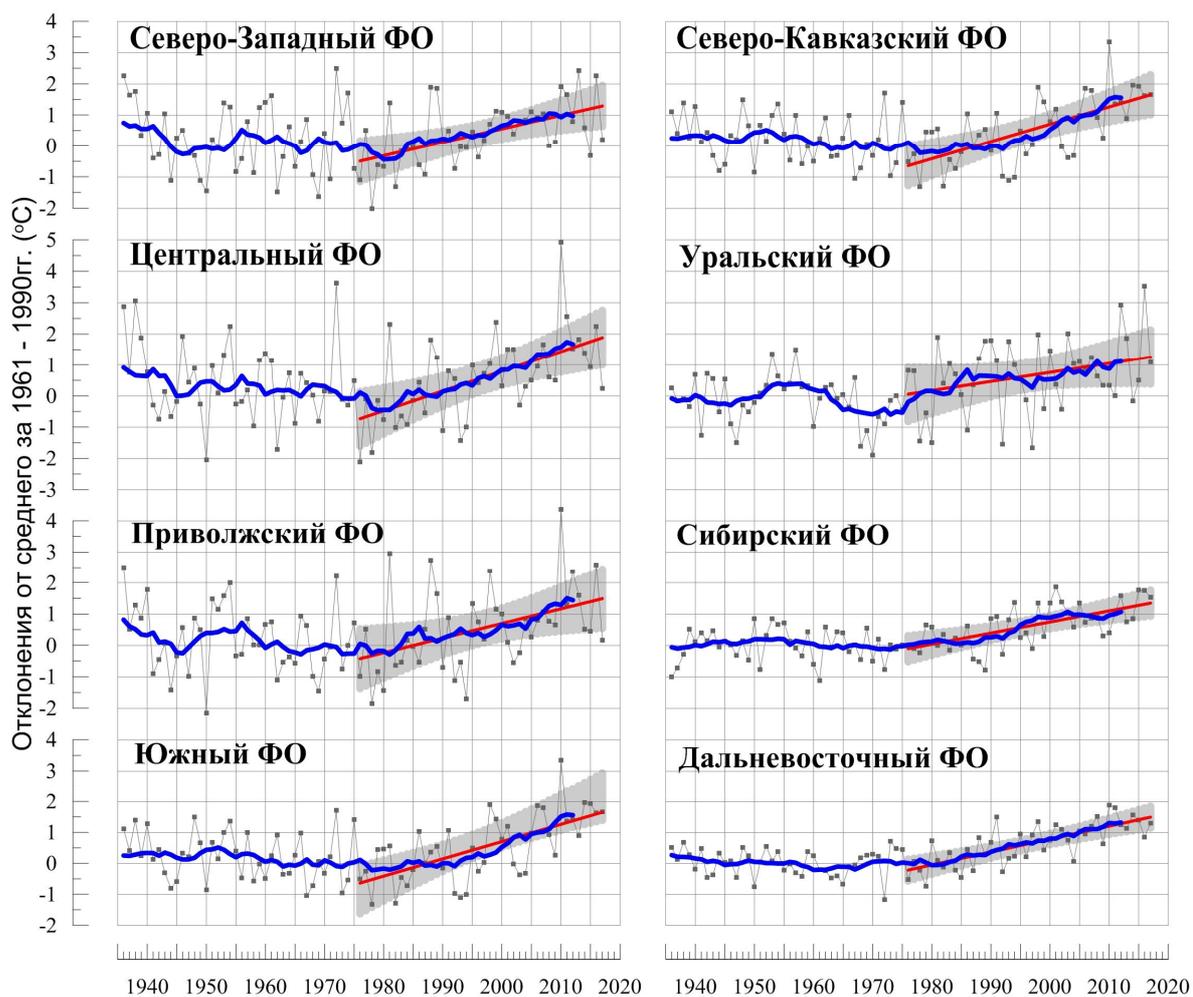


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

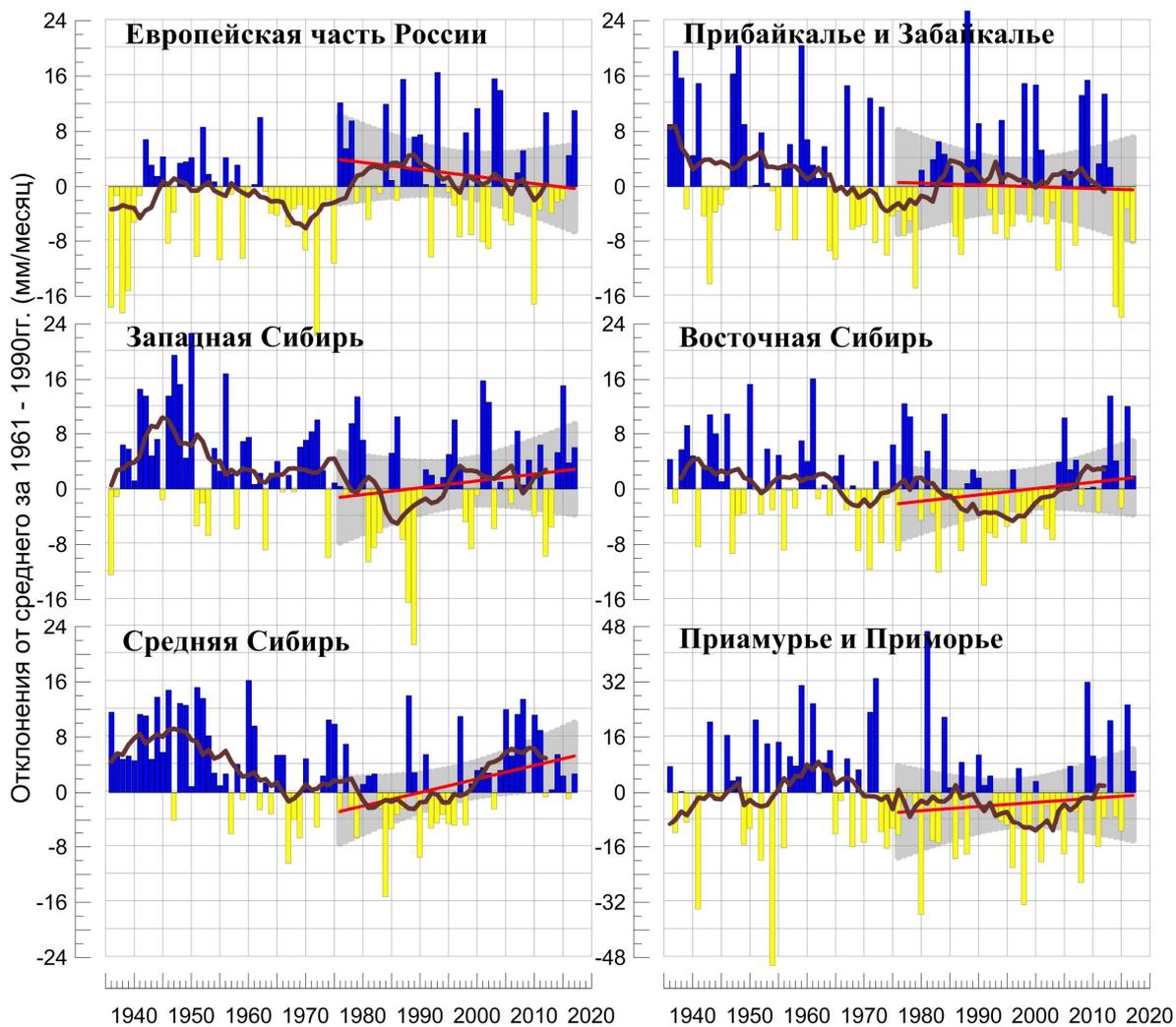


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, лето 2017 гг.

Условные обозначения см. на рис. 4.1.

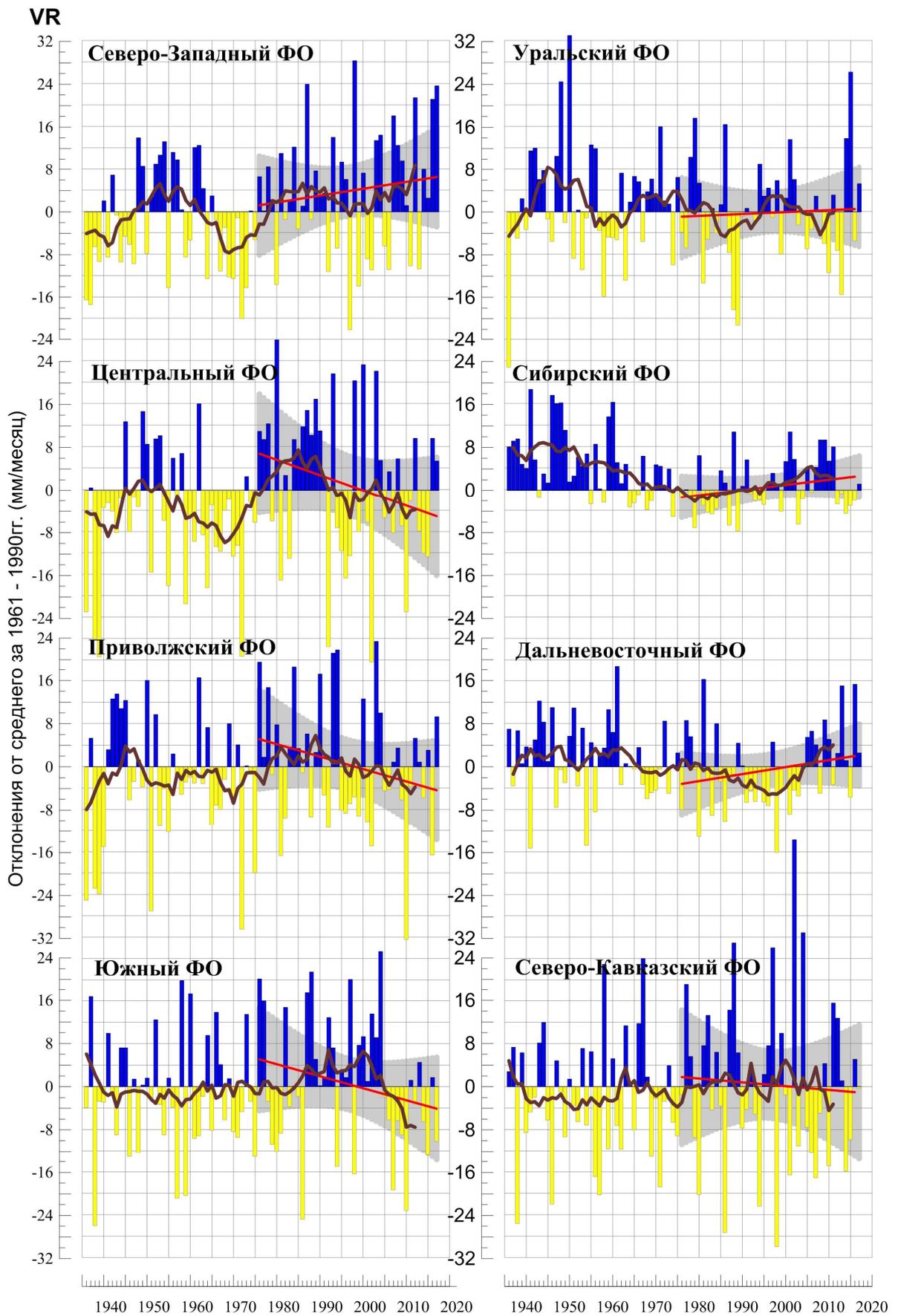


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2017 гг. (летний сезон)

В разделе приведены некоторые индексы экстремальности и аномальности для летнего сезона в целом по территории России за период 1936 -2017 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 2017 года 52% площади территории России были заняты крупными положительными аномалиями (выше 80-го перцентиля) – девятая величина в ряду (самая большая площадь занятая крупными положительными аномалиями (70%) наблюдалась летом 2016 года), тогда как площадь областей отрицательных аномалий (ниже 20-го перцентиля) составила лишь 1% (рис. 5.1). В изменении площади под крупными положительными аномалиями тренд за период 1976-2017 составляет 12.4%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 58%). Явного роста суммарной площади с крупными аномалиями обоих знаков после 1976 г. не наблюдается.

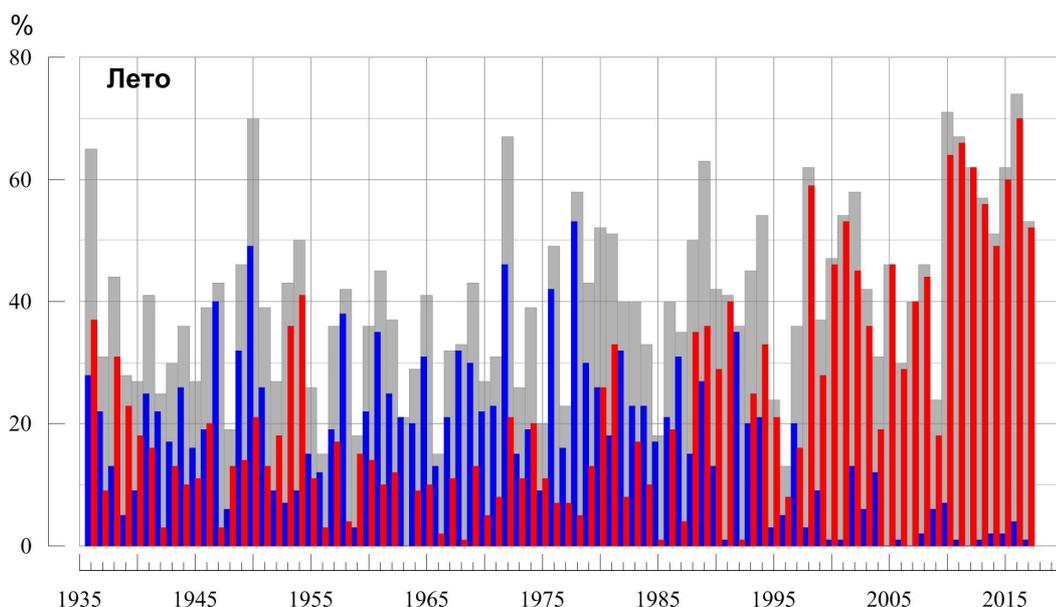


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2017 гг. (лето):

— 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 2017 года доля площади РФ, занятая экстремально теплыми аномалиями (выше $+2\sigma$) составила 4%, а площади с экстремально холодными аномалиями (ниже $-$

2 σ) не наблюдалось. 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%).

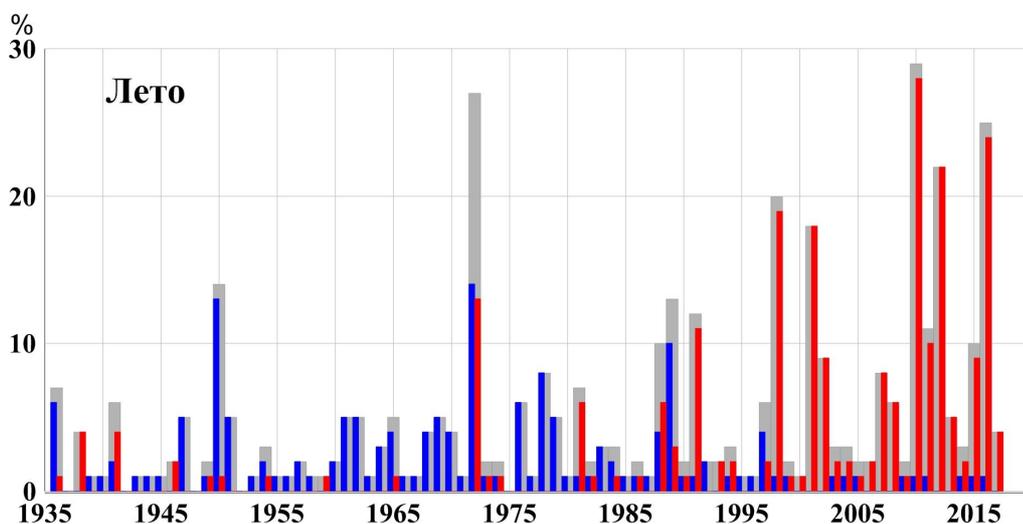


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры летом, 1936-2017 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

Индекс аномальности Багрова (рис. 5.3) в 2017 году составил 1,6 – ранг 10-13 (самая большая величина индекса экстремальности Багрова зафиксирована в 2010 году: 2,3). Аномальность температурного режима на территории РФ в летний сезон растет:– тренд за 1976-2017 гг. объясняет 45% общей дисперсии ряда.

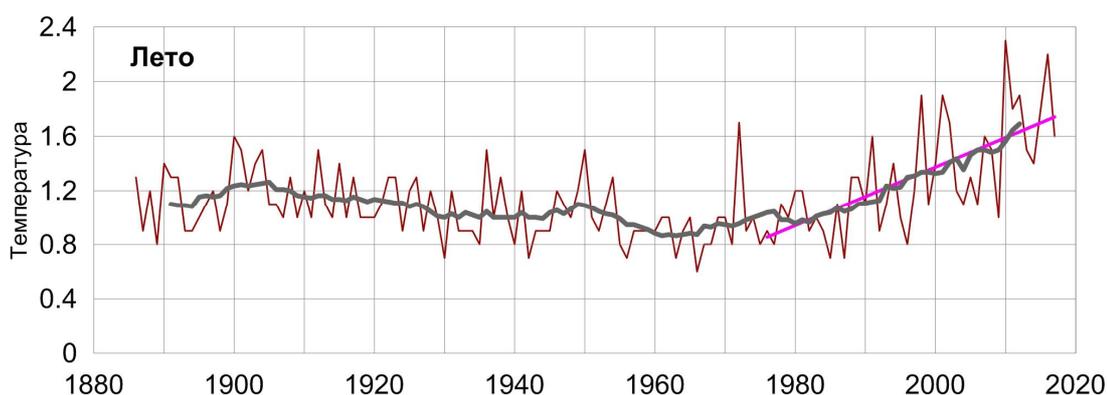


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России летом 1886-2017 гг.

Осадки. Летом 2017 года площадь, занятая экстремальными аномалиями осадков меньше 20-го перцентиля, составила лишь 1%, а занятая аномалиями больше 80-го перцентиля - 21% (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 процентиля. Явного роста суммарной площади с крупными аномалиями после 1976 г. не наблюдается.

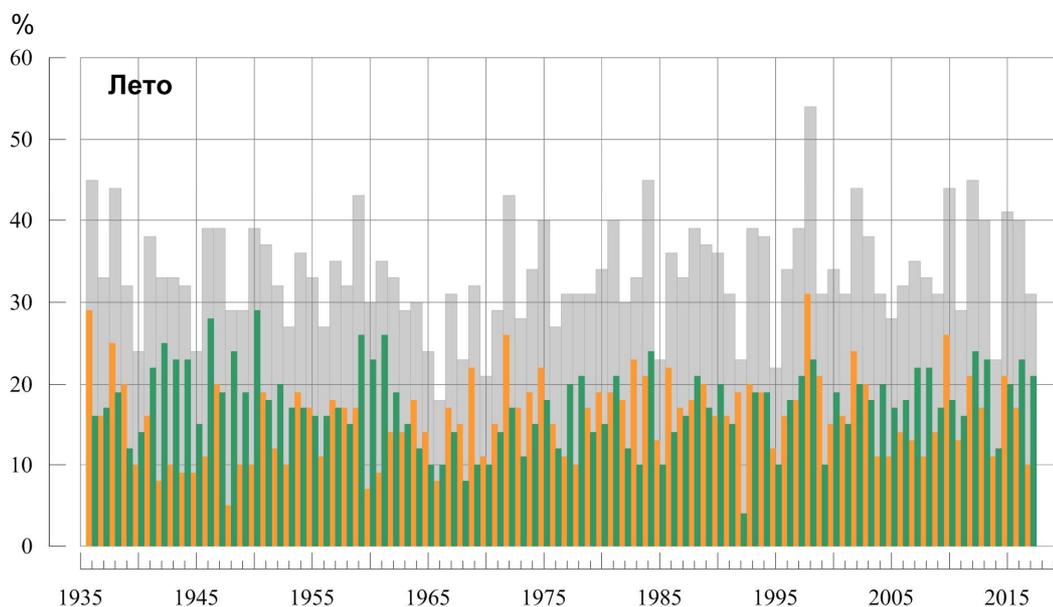


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2017 гг. (лето):

- ниже 20-го процентиля, ■ выше 80-го процентиля,
- суммарная площадь с крупными аномалиями обоих знаков.

ВЫВОДЫ

1. Лето для Северного полушария в целом было теплым: аномалия температуры воздуха над сушей СП $+1.08^{\circ}\text{C}$ (при стандартном отклонении 0.20°C) – четвертая величина в ряду с 1886 г. и ожидаемая при потеплении (разность между величиной сезонной аномалии и величиной тренда составляет -0.07°C).

2. Лето для России в целом было теплым на большей части страны (осредненная сезонная аномалия $+1.11^{\circ}\text{C}$ – ранг 11). 95%-е экстремумы фиксировались на юге Сибирского ФО (аномалия 1.53°C – ранг 5) и в центре ДВФО. На северо-западе и в центре ЕЧР температуры были ниже климатической нормы, аномалии на станциях до -1°C .

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными среднесезонными аномалиями температуры (выше 80-го процентиля), составила 52% (десятая величина с 1936 года), а под экстремальными положительными аномалиями (выше 2σ) лишь 4%.

4. Июнь – очень контрастный месяц в сезоне. 95%-е экстремумы фиксировались на многих станциях в центральных и южных районах Сибирского ФО (3.2°C - ранг 2),

аномалии на станциях более +4°C. В ЕЧР (-1.44°C – 8-я минимальная величина в ряду) температуры были ниже климатической нормы, аномалии на станциях до -3.5°C.

В июле очень тепло (аномалии на станциях до 4°C, на ряде станций зафиксированы 95-е экстремумы) на севере ЕЧР и севере Западной Сибири; на юге Сибирского ФО и Дальневосточного ФО (осредненная аномалия по региону Приамурье и Приморье: 1.65°C – ранг 5); на Чукотке и на Камчатке; на юге ЕЧР. В июле температуры ниже нормы наблюдались в области, вытянутой вдоль параллели ~57° с.ш. от западных границ до среднего течения Ангары (аномалии до -1.6°C), а также на севере Дальневосточного ФО (аномалии до -2.6°C).

Август – экстремально теплый месяц в сезоне (аномалия 1.81°C – ранг 4). Экстремально тепло (на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы, аномалии на станциях до 4.3°C) на юге ЕЧР, в центральных районах ДВФО (2.16°C – ранг 2). Отрицательные аномалии (до -1.6°C) наблюдались лишь севере Сибирского ФО.

5. Летом в среднем по РФ выпало 107% нормы осадков.

Значительный избыток осадков (на ряде станций фиксировались 95-е экстремумы) наблюдался в центре и на севере ЕЧР, особенно в Северо-Западном ФО (136% - ранг 3) и в Приволжском ФО; в верхнем течении Оби и Иртыша и в бассейне Енисея; в Магаданской области и на севере Корякского АО; на юге Хабаровского края и в Приморском крае.

Дефицит осадков (70%-80%, на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался на севере страны от п-ова Канин на восток (исключая дельту Лены), в центральных районах Дальневосточного ФО, в районе Байкала. Дефицит осадков (около 80%) наблюдался в Южном ФО и Северо-Кавказском ФО.

Неоднородность выпадения осадков по территории страны наблюдалась во все месяцы сезона. В среднем по территории РФ в июне (выпало 112% нормы) и июле (112%) преобладал избыток осадков, а в августе (100 %) – в ЕЧР преобладал дефицит осадков, в АЧР – избыток осадков.

6. В августе в некоторых областях в Южном ФО и Северо-Кавказском ФО дефицит осадков (местами менее 40%) и крупные температурные аномалии (выше +3°C) способствовали образованию засух средней и сильной интенсивности.

7. Из наиболее выдающихся особенностей месяцев следует отметить: в **июне** - значительный избыток осадков на большей части ЕЧР (135% - ранг 2) и в Западной Сибири (132%); сильный дефицит осадков (40%-60% нормы, на ряде станций 5%-е экстремумы) в районе Байкала, в центральных районах Дальневосточного ФО; в **июле** - значительный избыток осадков в Центральном ФО, Приволжском ФО (139% – ранг 2) и на большей части Северо-Западного ФО, а также в центре и на юге Сибири; сильный дефицит осадков (менее 40%, на многих станциях фиксировались 5%-е экстремумы) на севере Западной Сибири; в **августе** – сильный дефицит осадков (40-80%) на большей части ЕЧР, особенно в Южном ФО (37% – третья минимальная величина в ряду); значительный избыток осадков (120- 160% нормы) - на Таймыре и далее в междуречье Оби и Енисея.

8. Летом площадь, занятая крупными аномалиями осадков выше 80 перцентиля составила 21%; ниже 20-го перцентиля – 1%.

9. В целом по России линейный тренд летней температуры воздуха за период 1976-2017 гг. положителен и составляет $+0.42^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 64% межгодовой изменчивости. Тренд примерно одинаков во все месяцы летнего сезона и значим на 1%-м уровне.

Наиболее значительное потепление летних сезонов (до $+1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет) отмечается на западе ЕЧР, в Средней и Восточной Сибири (до $+0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наиболее слабое потепление (от 0 до $+0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) отмечается в Западной и Средней Сибири и связано с незначительным похолоданием, которое отмечается здесь во все месяцы сезона, однако локализация этой области от месяца к месяцу существенно менялась.

10. 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, особенно в июне и в августе).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

Российская
Академия Наук

ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии»

Обзор состояния и тенденций изменения климата на территории Республики Беларусь



ЛЕТО 2017

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем Приложении* приводится информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) летом 2017 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	Могилев	26863	53.90	30.30	180
4	Брест	33008	52.10	23.70	144
5	Пинск	33019	52.10	26.10	144
6	Василевичи	33038	52.30	29.80	140
7	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 непревышения» текущего значения во временном ряду рассматриваемой переменной за некоторый период с 1936 по 2017 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 2017 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.

Летом (рис. 1) тепло на всей территории республики, аномалии от +0.53°C (в Могилеве, на северо-востоке) до +2.02°C (в Пинске, на юге). Сезонная аномалия температуры, осредненная по территории республики +0.87°C – ранг 31. На распределение сезонных аномалий наибольшее влияние оказал наиболее теплый месяц в сезоне: август.

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси летом 2017 г.

	<i>Витебск</i>	<i>Минск</i>	<i>Могилев</i>	<i>Брест</i>	<i>Пинск</i>	<i>Василевичи</i>	<i>Гомель</i>
	26666	26850	26863	33008	33019	33038	33041
а) температура (град. Цельсия)							
<i>Лето</i>	17.30	17.60	17.33	19.07	19.03	18.20	18.83
Июнь	15.5	16.4	15.7	18.4	18.1	17.3	17.7
Июль	17.5	17.6	17.2	18.8	18.8	17.8	18.5
Август	18.9	18.8	18.5	20.0	20.2	19.5	20.3
б) аномалия температуры (град. Цельсия)							
<i>Лето</i>	1.01	0.94	0.53	1.69	2.02	0.75	1.07
Июнь	-0.45	0.24	-0.50	1.65	1.57	0.16	0.36
Июль	0.45	0.29	-0.12	0.78	1.19	-0.26	0.07
Август	3.02	2.30	2.20	2.64	3.31	2.35	2.78

В июне температуры выше климатической нормы наблюдались на юге республики: аномалии до $+1.6^{\circ}\text{C}$ (в Бресте), на севере страны температуры немного ниже нормы: аномалии до -0.5°C (в Витебске).

В июле на большинстве станций республики температуры были близки к климатической норме, лишь на юге аномалии температуры были более $+1.0^{\circ}\text{C}$ (в Пинске: $+1.2^{\circ}\text{C}$).

В августе тепло на всей территории республики, осредненная по территории республики аномалия температуры: 2.32°C – девятая положительная величина в ряду. Аномалии температуры от 2.2°C (в Могилеве) до 3.31°C (в Пинске). В Пинске температура была выше 95-го перцентиля.

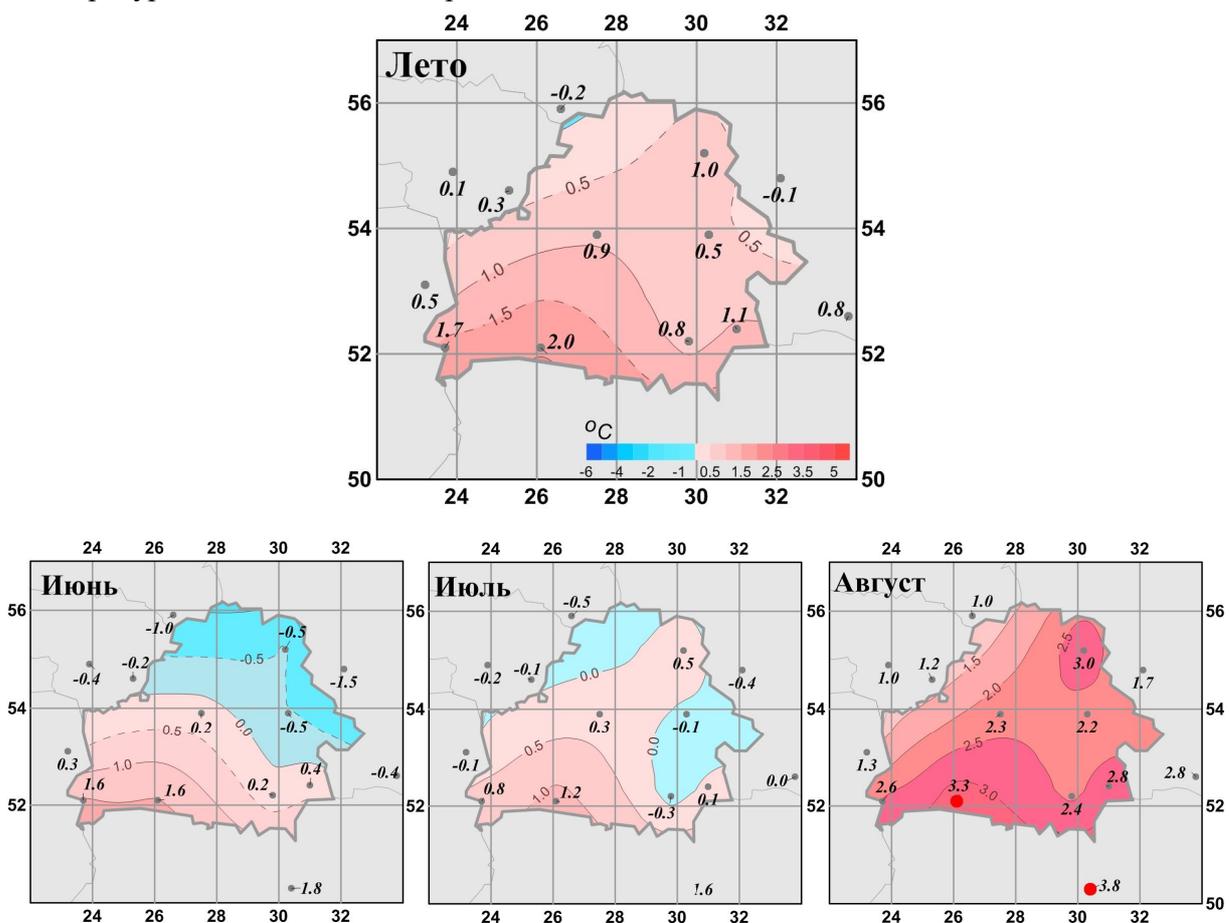


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры ($^{\circ}\text{C}$) приземного воздуха на территории республики Беларусь летом.

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 перцентиля

Летом (рис. 2) на северо-западе (в Минске выпало 118% нормы), на юго-востоке – дефицит осадков (81% нормы в Василевичах). Осредненные по республике осадки 106%.

В июне на большинстве станций республики наблюдался дефицит осадков (в Могилеве выпало лишь 40% месячной нормы), лишь на западе наблюдался избыток осадков (в Бресте выпало 143%).

В июле избыток осадков наблюдался в центре республики (в Минске выпало 170%, в Пинске – 192%), на северо-востоке страны осадков выпало меньше нормы (в Витебске выпало лишь 82% нормы).

В августе – дефицит осадков на юге (45% нормы выпало в Пинске), избыток осадков - на севере (в Витебске, Минске и Могилеве выпало более 110% нормы).

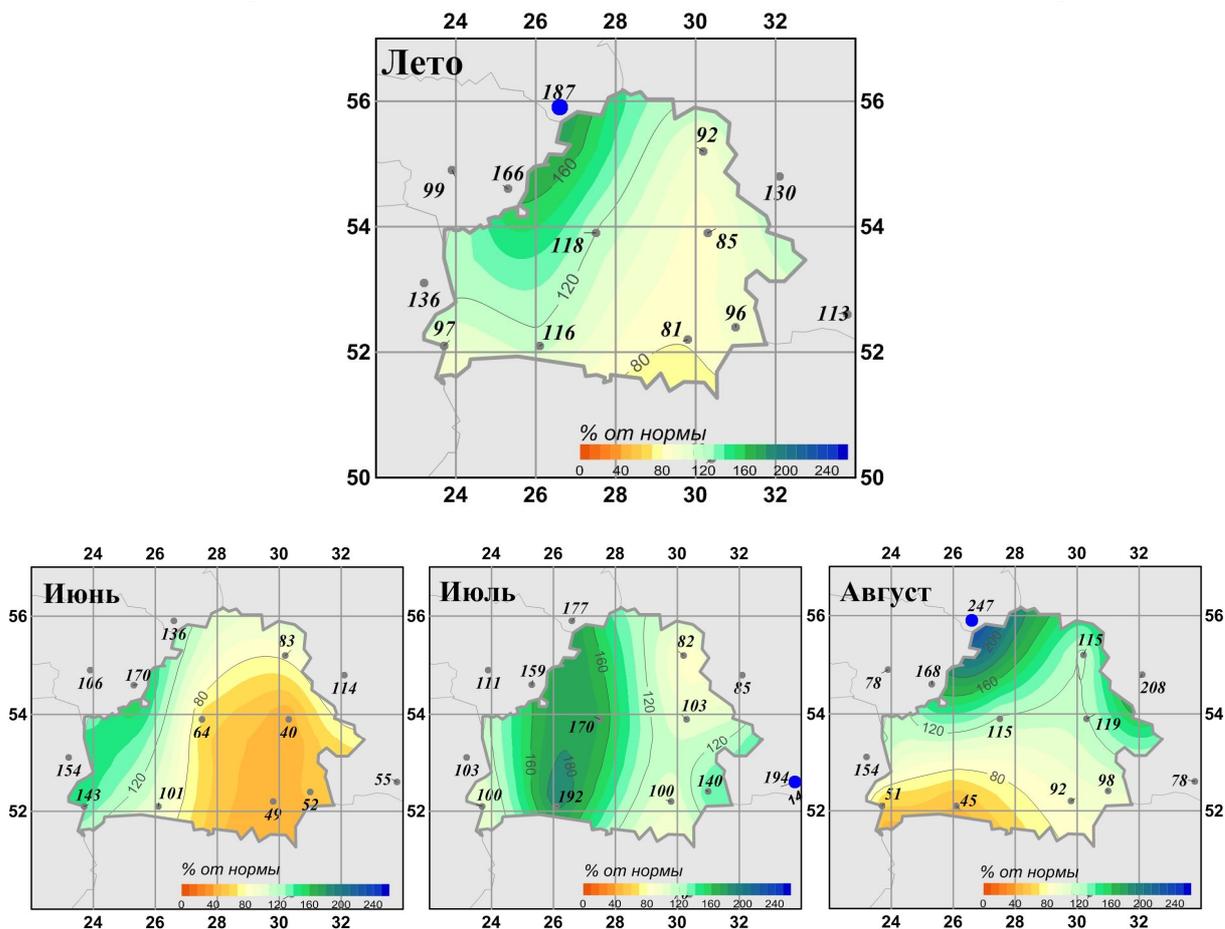


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь летом.

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 2017 г.

	<i>Витебск</i>	<i>Минск</i>	<i>Могилев</i>	<i>Брест</i>	<i>Пинск</i>	<i>Василевичи</i>	<i>Гомель</i>
	26666	26850	26863	33008	33019	33038	33041
а) Сумма осадков (мм/месяц)							
<i>Лето</i>	75.33	95.33	65.00	73.67	84.00	65.33	72.33

Июнь	65	53	32	102	80	39	44
Июль	77	150	87	80	143	89	115
Август	84	83	76	39	29	68	58
б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц)							
<i>Лето</i>	<i>-6.33</i>	<i>14.27</i>	<i>-11.47</i>	<i>-2.30</i>	<i>11.47</i>	<i>-15.23</i>	<i>-2.90</i>
Июнь	-13.4	-29.7	-48.6	30.5	0.8	-40.4	-40.4
Июль	-16.5	61.9	2.2	-0.2	68.7	0.3	32.9
Август	10.9	10.6	12.0	-37.2	-35.1	-5.6	-1.2
в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы)							
<i>Лето</i>	<i>92</i>	<i>118</i>	<i>85</i>	<i>97</i>	<i>116</i>	<i>81</i>	<i>96</i>
Июнь	83	64	40	143	101	49	52
Июль	82	170	103	100	192	100	140
Август	115	115	119	51	45	92	98

На рисунках 3, 4 показаны временные ряды осредненных по территории Беларуси сезонных и месячных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 по 2017 гг.

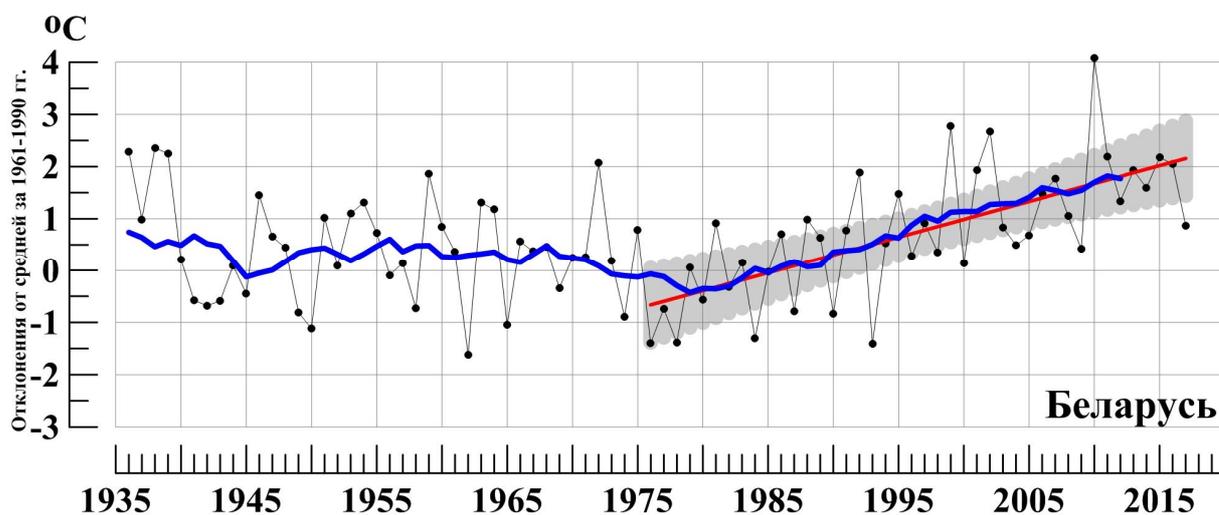


Рисунок 3 - Сезонные (июнь - август) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2017 гг.

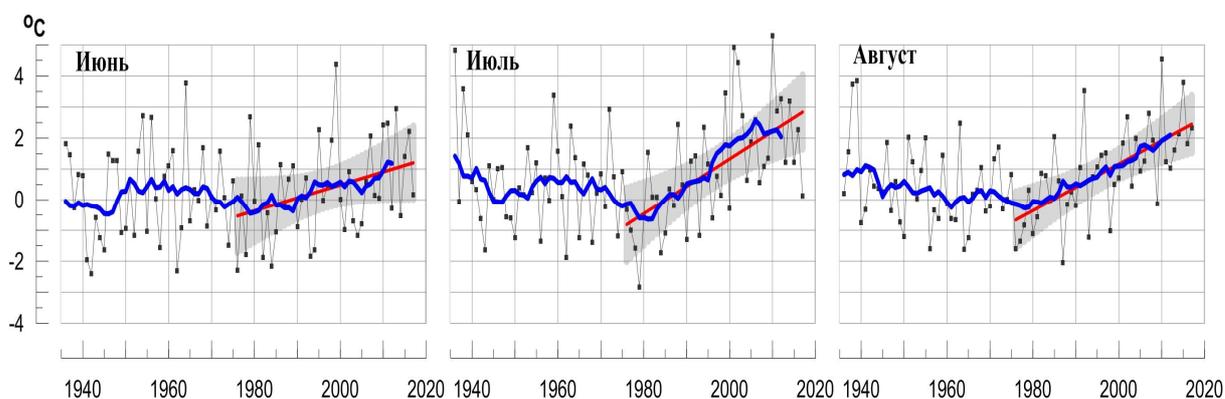


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

Тренд летних температур, в среднем по территории Беларуси, составил $+0.69^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 47% дисперсии). Во все месяцы сезона тренд положителен. Наибольшее потепление наблюдается в июле: тренд составил $+0.89^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 35% дисперсии ряда) и в августе ($+0.76^{\circ}\text{C}/10$ лет, 40%).

В изменении регионально осредненных осадков сезонный тренд составил 0 мм/месяц/10 лет (ответствен за 0% дисперсии). Вклад трендов осадков в суммарную изменчивость за сезон и за все месяцы сезона статистически незначим даже на 5%-ом уровне значимости.

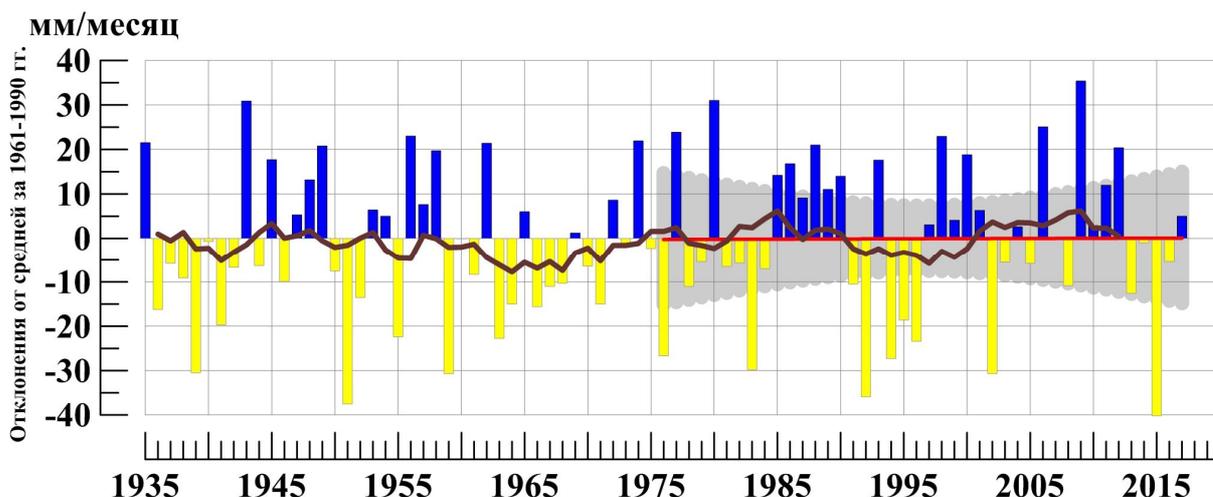


Рисунок 5 - Сезонные (июнь - август) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рис. 3

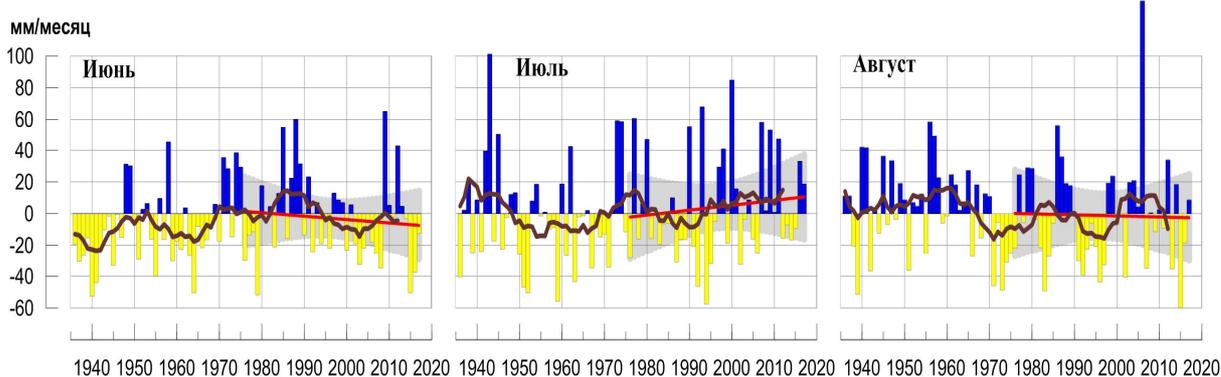


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

Таблица 4

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

	vT_{2017}	s	$P(t \leq T_{2017})$	RR_{2017}	vR_{2017}	s	$P(r \leq R_{2017})$
Лето	0.87	0.91	63.0	93	5.0	15.9	64.2
Июнь	0.16	1.49	88.7	53	-12.4	28.1	7.5
Июль	0.13	1.38	80.0	139	18.7	30.3	81.3
Август	2.32	1.10	80.0	73	8.8	26.9	30

Примечание: Аномалии vT_{2017} ($^{\circ}\text{C}$), vR_{2017} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за период 1961-1990 гг.), s ($^{\circ}\text{C}$, мм/месяц), – среднее квадратическое отклонение

Таблица 5

Оценки линейного тренда 1976-2017 гг. в среднем по Республике Беларусь

Сезон	Температура		Осадки	
	$b_{1976-2017}$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет	$D_{1976-2017}$ %	$b_{1976-2017}$ мм/мес/10лет	$D_{1976-2017}$ %
Лето	0.69	47	0.1	0
Июнь	0.42	11	-2.1	1
Июль	0.89	35	3.1	1
Август	0.76	40	-0.7	0

ВЫВОДЫ

1. Лето в Беларуси было теплым, сезонная аномалия температуры, осредненная по территории республики $+0.87^{\circ}\text{C}$ – ранг 31, на юге республики аномалии температуры достигали 2°C .

2. Наиболее теплые условия сложились в августе, осредненная по территории республики аномалия температуры: 2.32°C – девятая положительная величина в ряду. В июне – тепло на юге республики, холодно – на севере. В июле на большинстве станций республики температуры были близки к климатической норме.

4. Осредненные по республике осадки 106%, на северо-западе – избыток осадков, на юго-востоке – дефицит осадков.

5. В июне преобладал дефицит осадков, в июле и в августе – избыток осадков, в июле – почти на всей территории республики, в августе – на севере.

6. В среднем по территории Беларуси отмечается тенденция к потеплению, как в среднем за сезон (линейный тренд составил $0.69^{\circ}\text{C}/10$ лет, ответствен за 47% дисперсии), так и в отдельные летние месяцы. Наибольшее потепление наблюдается в июле: тренд составил $+0.89^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 35% дисперсии ряда).

В изменении регионально осредненных осадков сезонный тренд составил 0 мм/месяц/10 лет (ответствен за 0% дисперсии), то есть линейного тренда в сезонных осадках за период 1976-2017 гг. не наблюдается. Увеличение осадков наблюдается в июле, а уменьшение в июне и в августе, но вклад трендов осадков в суммарную

изменчивость за сезон и за все месяцы сезона статистически незначим даже на 5%-ом уровне значимости.