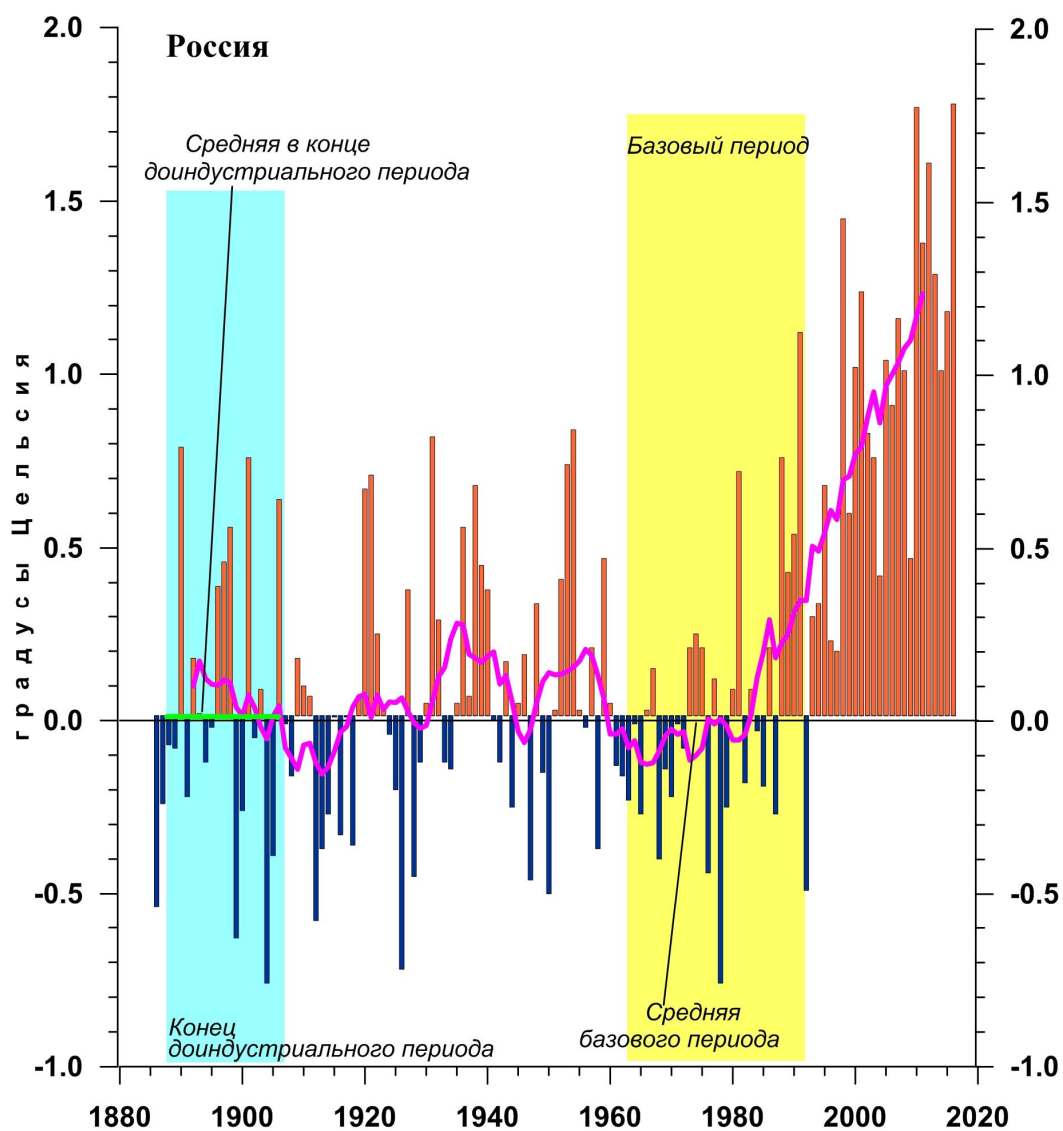


Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

Предварительный
Российская
Академия Наук

ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



Обзор состояния и тенденций изменения
климата России

★
Москва 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

ВВЕДЕНИЕ.....		3
1.	ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (летний сезон).....	6
2.	КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕТА 2016 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, 1936-2016 гг.....	20
5.	ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2016 гг. (летний сезон)	24
5.1	Индексы аномальности среднесезонных температур и осадков.....	24
5.2	Индексы сезонных экстремумов среднесуточной температуры.....	26
ВЫВОДЫ		30
ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности лета 2016 г. на территории Республики Беларусь		32

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2016 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 310 станций России). В настоящем выпуске использованы данные 253 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. 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.

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 стационарных аномалий. Затем выполняется взвешенное осреднение ячейечных средних с весами, пропорциональными площади пересечения ячейки с территорией региона.

Аналогично, для каждого региона по данным о стационарных 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 искомым 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*.

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

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»).

** 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 2016: 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 1976-2016 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.

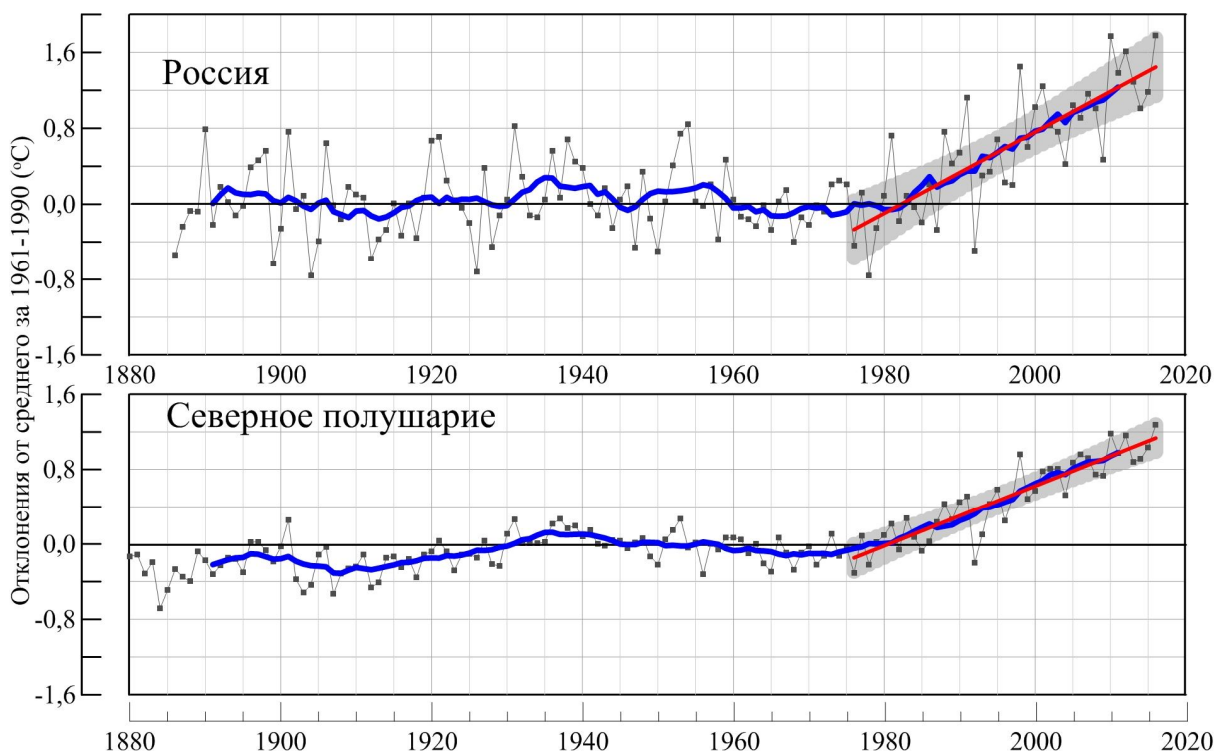


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (лето: июнь - август) температуры приземного воздуха, осредненная по Северному полушарию (суша) и территории России за 1886-2016 гг.

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 1976-2016 гг. Использованы данные Университета Восточной Англии (СП) и данные ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (Россия).

Аномалия температуры воздуха над сушей СП летом составила $+1.27^{\circ}\text{C}$ (стандартное отклонение 0.20°C) – максимальная величина с 1850 года.

Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила $+1.78^{\circ}\text{C}$ (при величине стандартного отклонения 0.33°C) – максимальна величина в ряду с 1886 г. Предыдущий максимум был зафиксирован в 2010 году: $+1.77^{\circ}\text{C}$.

Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений летних температур за период 1976-2016 гг. в среднем для суши СП и России, приведены в табл. 1.1. Увеличение летних температур в среднем по территории России происходит в 1.3 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 1976-2016 гг.

Регионы	νT_{2016}	$s_{1961-90}$	$b, ^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$	$D \%$
СП	1.27	0.20	0.32	81
Россия	1.78	0.33	0.43	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 2016 ГГ. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России лета 2016 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 1.78°C – максимальная величина с 1936 г. Тепло на большей части страны (кроме нижнего и среднего течения Лены и гор Дальнего востока). Экстремально тепло (на большинстве станций отмечались 95%-е перцентили) на большей части ЕЧР (кроме западных районов, осредненные по Северо-Западному ФО и Приволжскому ФО аномалии температуры: 2.26°C и 2.58°C – третья и четвертая величины в ря*-дах), в Западной и Средней Сибири, на Чукотке и Камчатке (осредненные по Уральскому ФО, Сибирскому ФО и региону Восточная Сибирь аномалии температуры: 3.52°C , 1.75°C , 1.70°C – максимальная, третья и третья величины в соответствующих рядах). Максимальные аномалии на станциях зафиксированы в районе Обской губы (5.2°C на станции Новый Порт Ямало-Ненецкого АО).

Область отрицательных аномалий температуры вытянута вдоль меридиана 125 градусов в. д. Минимальная температура зафиксирована на станции Алдан: -1.2°C .

На сезонный максимум в Сибири оказали влияние июнь и июль, а на максимум на юге Урала и в Поволжье – август, хотя вклад всех месяцев в распределение сезонных аномалий примерно одинаков.

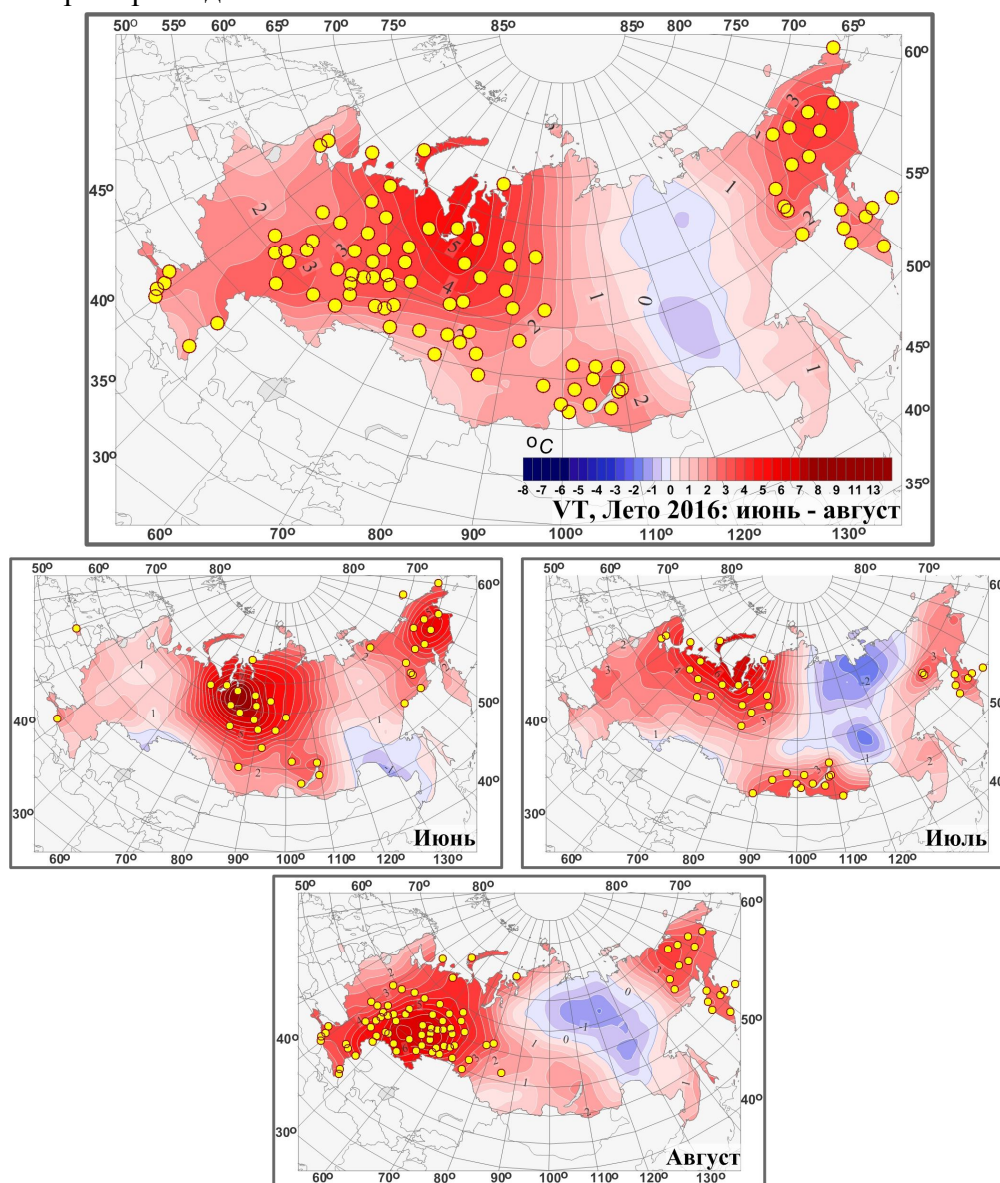


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России летом 2016 г. Кружками белого цвета показано местоположение станционных экстремумов ниже 5-го перцентиля, желтого – выше 95-го перцентиля.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за базовый период 1961-1990 гг.

Распределение средних сезонных температур на рис. 2.2 позволяет проследить рассмотренные особенности сезона несколько под другим углом. Изотермы среднесезонных температур смещены к северу, в особенности изотерма 15°C западнее 115° в.д.: примерно на 5° , восточнее (Забайкалье, Приамурье и Приморье) она совпадает со своим климатическим положением. Несколько меньше смещена изотерма 20°C . Изотерма 10°C смещена к северу до 110° в.д., восточнее она практически

совпадает с климатическим положением. Следует отметить область высоких (выше 25°C) среднесезонных температур в Прикаспийской низменности.

Июнь. Осредненная по территории РФ июньская аномалия: 1.86°C – пятая величина с 1936 года. Тепло всюду, кроме пограничной полосы Оренбургской области и Казахстана и юга Дальневосточного ФО. Очень тепло в АЧР (2.20°C – ранг 3), особенно в Восточной Сибири (2.26°C – ранг 1), в Западной Сибири (3.24°C – ранг 5), в Средней Сибири (2.67°C – ранг 5) – на многих станциях междуречья среднего и нижнего течения Оби и Енисея, а также на северо-востоке страны отмечались 95%-е экстремумы. Максимальная аномалия зафиксирована в Ямало-Ненецком АО на станции Тазовское: 9.3°C. В ЕЧР июньские аномалии не более 1.5°C, лишь на северо-востоке и юго-западе ЕЧР аномалии около 3°C, так в Туапсе зафиксирована аномалия 2.9°C.

Отрицательные аномалии температуры (до -1°C) наблюдались в Оренбургской области и в бассейне Амура.

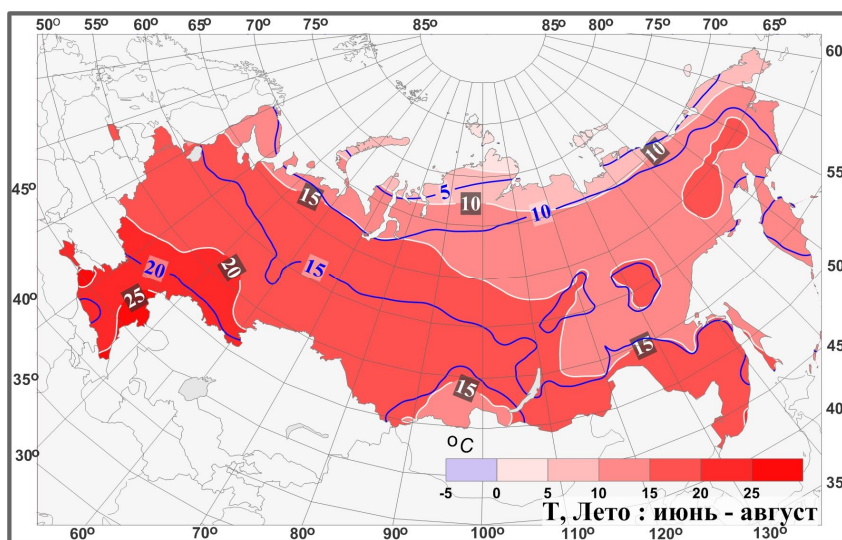


Рисунок 2.2 – Поля средней сезонной температуры приземного воздуха (°C) на территории России летом 2016 г. Синие изолинии: средние изотермы за период 1961-1990 гг.

Июль. Осредненная по РФ июльская аномалия температуры 1.43°C - пятая величина в ряду.

Тепло на большей части страны, кроме Якутии, западной части Амурской области и узкой полосы вдоль границы с Казахстаном. Экстремально тепло (повсеместно зафиксированы 95%-е экстремумы, аномалии выше 3°C) на севере ЕЧР и севере Западной Сибири (осредненные по Северо-Западному ФО и Уральскому ФО аномалии 3.0°C и 2.5°C – четвертая и пятая величины в соответствующих рядах), в районе Байкала, в Магаданской области и на Камчатке. Максимальная аномалия температуры +6.4°C зафиксирована на станции Новый Порт Ямало-Ненецкого АО.

Холодно (аномалии температуры до -2°C) в Якутии и в Амурской области, самая крупная отрицательная аномалия зафиксирована на станции Верхоянск: -2.1°C. Небольшие отрицательные аномалии (не менее -0.5°C) наблюдались вдоль границы с Казахстаном.

Август. Осредненная по РФ аномалия температуры 2.05°C – рекордная величина в ряду. Экстремально тепло (на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) на большей части ЕЧР (кроме северо-запада) (3.82°C – ранг 2), в Западной Сибири, на востоке Якутии, на Чукотке и на Камчатке. Во всех федеральных округах ЕЧР и в Уральском ФО осредненные аномалии температуры среди пяти самых крупных в соответствующих рядах, на Южном Урале и в Приволжском ФО аномалии температуры на станциях выше 6°C (в Екатеринбурге: 7.9°C).

Отрицательные аномалии (не ниже -2°C) наблюдались в восточных районах Красноярского края, на большей части Якутии, в Амурской области (наименьшая аномалия температуры зафиксирована на станции Жиганск -1.8°C).

Атмосферные осадки. Осредненные по РФ осадки 109% нормы – 7-ая величина с 1936 года.

Значительный избыток осадков (более 120%, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался в центральных и в северо-западных районах ЕЧР (осредненные по Северо-Западному ФО осадки: 132% - 4-ая величина с 1936 года, избыток осадков здесь наблюдался в июле и, особенно, в августе), на юге Западной и Средней Сибири (за счет июня и, особенно, июля), в Дальневосточном ФО (кроме севера, осредненные по Дальневосточному ФО 124% нормы – третья величина в ряду, избыток осадков наблюдался здесь в июле и в августе).

Сильный дефицит осадков летом наблюдался на юго-востоке ЕЧР (осредненные по Приволжскому ФО осадки 72% - среди девяти самых сухих сезонов, за счет июня и, особенно, августа), в Западной и Средней Сибири (кроме юга, за счет июня и июля), на Чукотке.

На юге ЕЧР дефицит осадков (в августе менее 60%) и крупные температурные аномалии (в июне и июле: около 1.5°C , в августе: выше 4°C) способствовали образованию засух с июня по август (преимущественно средней интенсивности) в ряде областей Южного ФО и Приволжского ФО. А на юге Урала, на юге Западной Сибири сильный дефицит осадков и крупные температурные аномалии привели к образованию засух средней интенсивности в августе во многих областях Уральского ФО.

В районе Байкала дефицит осадков в июне и июле совместно с экстремальными температурами (особенно в июле) способствовал образованию засух сильной интенсивности в июне и июле в Бурятии и засух преимущественно средней интенсивности – в Тыве.

Июнь. Осредненные по РФ осадки составили 99% нормы.

Сильный дефицит осадков (40%-60% нормы, на ряде станций зафиксированы 5%-е экстремумы) в центральных районах АЧР, осредненные по региону Средняя Сибирь осадки 75% - третья среди наименьших величин. Дефицит осадков (40%-80%) наблюдался в Магаданской области и на Камчатке, а также в центральных районах ЕЧР (в основном, это Центральный ФО и Приволжский ФО).

Избыток осадков (на ряде станций экстремальный) наблюдался на юге страны: юг Южного ФО и в Северо-Кавказском ФО, юг АЧР (кроме района Байкала), максимальное количество осадков зафиксировано на станции Енисейск: 305% нормы.

Избыток осадков (более 120%) наблюдался также на западе Северо-Западного ФО (на станции Турту выпало 340% нормы) и на Северном Урале.

Июль. Осредненные по РФ осадки 112% нормы – 8-я величина с 1936 г. Значительный избыток осадков (более 160% нормы, на ряде станций более 95%-го перцентиля) наблюдался на северо-западе ЕЧР (осредненные по Северо-Западному ФО осадки 133% нормы), в Южном ФО и Северо-Кавказском ФО, на юге Западной Сибири (на многих станциях Алтае выпало более двух норм, на станции Волчиха: 390%), на большей части Дальневосточного ФО (127% нормы – пятая величина в ряду).

Сильный дефицит осадков (менее 60% нормы, на ряде станций отмечались 5%-е экстремумы) наблюдался в восточных районах ЕЧР (в Приволжском ФО, республике Коми, в Ненецком АО), на севере Западной и Средней Сибири (на станции Туруханск Красноярского края выпало лишь 6% нормы), в районе Байкала.

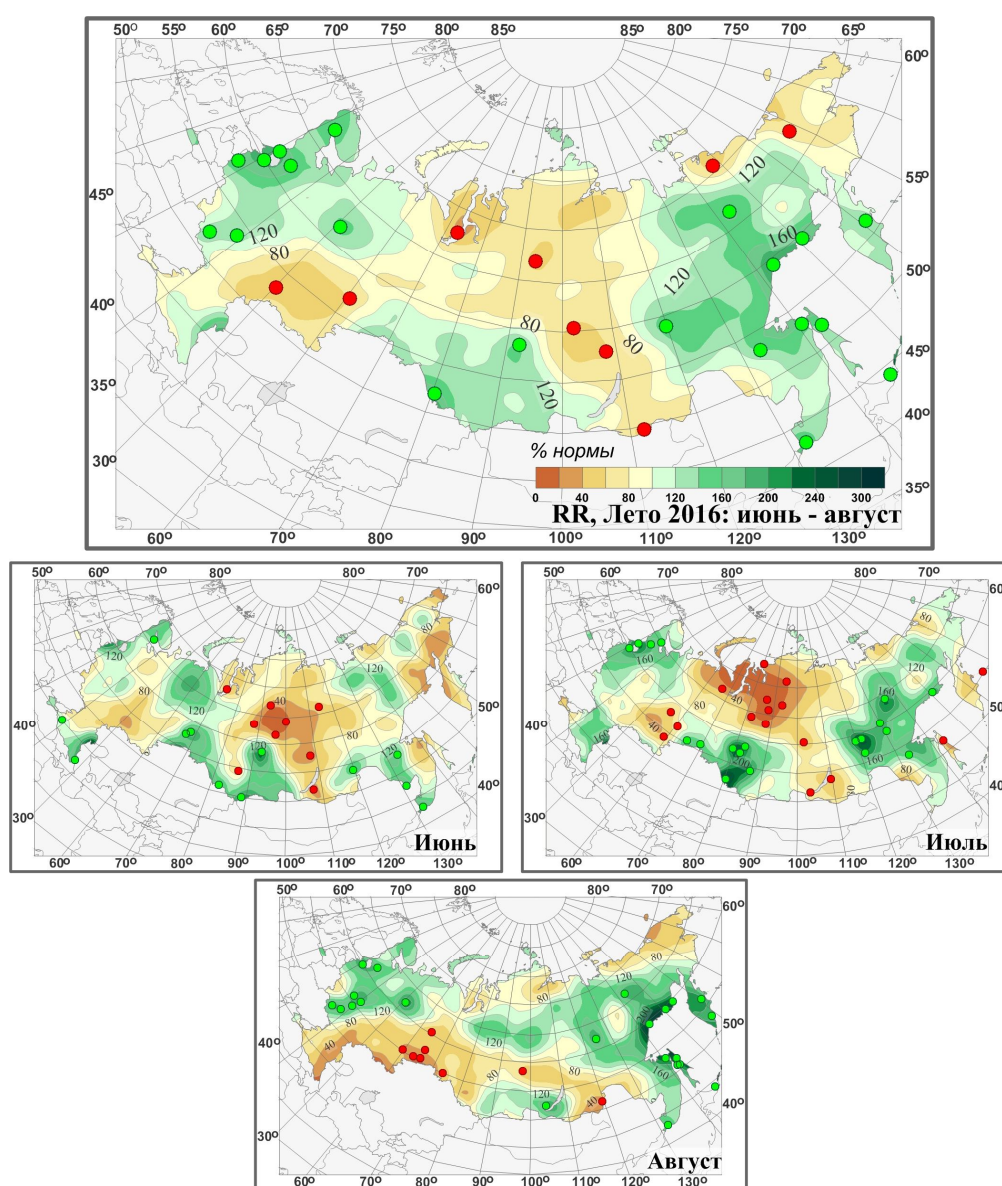


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России летом 2016 г. (июнь – август). Кружками красного цвета показаны станционные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

Август. Осредненные по РФ осадки 112% нормы – 6-ая величина с 1936 года.

Значительный избыток осадков (более 160% нормы) наблюдался в центре и на северо-западе ЕЧР (осредненные по Северо-Западному ФО осадки: 137%), в центре Западной и Средней Сибири, в Дальневосточном ФО (кроме севера, здесь выпало 137% нормы – вторая величина в ряду), в районе Байкала. 95%-е экстремумы отмечались в Северо-Западном ФО, на побережье Охотского моря.

Сильный дефицит (менее 80%) наблюдался на юге и юго-востоке ЕЧР и, далее, на Урале (на Южном Урале на ряде станций отмечались 5%-е экстремумы), на юге Западной Сибири, в предгорьях Алтая и Саян, в горах Забайкалья; а также вдоль азиатского побережья Северного Ледовитого океана.

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.

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 превышения) региональных аномалий по данным за 1936-2015 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 экстремально теплым, аномалия температуры составила +1.78°C. Тепло было во всех регионах. В ЕЧР (+2.31°C – ранг 3) экстремально тепло было в Северо-Западном ФО (аномалия +2.26°C – ранг 3) и Приволжском ФО (аномалия +2.58°C – ранг 4). В АЧР (+1.57°C – ранг 2) экстремально тепло в Уральском ФО (+3.52°C – ранг 12) и Сибирском ФО (+1.75°C – ранг 3).

В России в целом экстремально тепло было во все месяцы сезона (см. табл. 2.1.1): июнь (+1.86°C) и июль (+1.43°C) – среди пяти самых теплых, август (+2.05°C) – рекордный в ряду. Следует отметить Уральский ФО: экстремально тепло здесь во все месяцы сезона.

Летом в целом по РФ (табл. 2.2 и табл. 2.2.1) выпало 109% нормы осадков – ранг 7 (в основном, за счет влажного августа (112% - ранг 6)). Экстремальные осадки летом наблюдались в Северо-Западном ФО (132% - ранг 4) и в Дальневосточном ФО (124% - ранг 3, за счет экстремальных осадков июля и августа). Следует отметить регион Средняя Сибирь: в июне здесь наблюдался сильный дефицит осадков (75% нормы – среди трех самых сухих июней).

Таблица 2.1

Регионально осредненные аномалии температуры летом 2016 г.

Регионы	νT_{2016}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2016})$
Российская Федерация	1.78	0.33	100
Физико-географические регионы России			
Европейская часть России	2.31	1.00	97.5
Азиатская часть России	1.57	0.35	98.8
Западная Сибирь	2.69	0.80	98.8
Средняя Сибирь	1.03	0.65	76.2
Прибайкалье и Забайкалье	1.44	0.57	91.3
Приамурье и Приморье	0.39	0.75	57.5
Восточная Сибирь	1.70	0.56	97.5
Федеральные округа РФ			
Северо-Западный	2.26	1.17	97.5
Центральный	2.24	1.22	91.3
Приволжский	2.58	1.19	96.2
Южный	2.35	1.03	93.8
Северо-Кавказский	1.66	0.76	91.3
Уральский	3.52	1.02	100
Сибирский	1.75	0.47	97.5
Дальневосточный	0.85	0.48	80.0

Примечание: 1. Аномалии νT_{2016} (°C) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s (°C) – среднее квадратическое отклонение за базовый период; вероятности не превышения $P(t \leq T_{2016})$ рассчитаны по выборке за 1936-2015 гг. и выражены в %. Выделены экстремальные значения, попавшие в 5% максимальных.

Таблица 2.1.1

Регионально осредненные аномалии температуры в летние месяцы.

Регионы	Июнь			Июль			Август		
	νT_{2016}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2016})$	νT_{2016}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2016})$	νT_{2016}	$S_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2016})$
Российская Федерация	1.86	0.60	95.0	1.43	0.45	95.0	2.05	0.40	100
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	1.00	1.50	62.5	2.14	1.30	88.7	3.82	1.25	98.8
Азиатская часть России	2.20	0.62	97.5	1.15	0.47	91.3	1.35	0.55	95.0
Западная Сибирь	3.24	1.41	95.0	1.90	1.22	93.8	2.93	1.12	96.2

Средняя Сибирь	2.67	1.19	95.0	0.31	1.04	56.3	0.10	0.92	45.0
Прибайкалье и Забайкалье	1.48	1.09	86.3	1.78	0.85	90.0	1.08	0.98	76.2
Приамурье и Приморье	-0.31	1.20	33.8	0.88	0.93	75.0	0.60	0.79	61.3
Восточная Сибирь	2.26	0.97	100.0	1.06	0.74	76.2	1.67	0.82	91.3
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	1.03	1.78	66.3	3.00	1.57	96.2	2.85	1.26	97.5
Центральный	1.17	1.81	66.3	2.51	1.47	86.3	3.04	1.43	95.0
Приволжский	0.67	1.81	56.3	1.64	1.59	83.7	5.42	1.59	100
Южный	1.41	1.45	75.0	1.64	1.30	77.5	4.00	1.42	97.5
Северо-Кавказский	1.30	1.11	83.7	0.55	1.10	56.3	3.09	1.14	95.0
Уральский	3.82	1.64	95.0	2.50	1.37	97.5	4.26	1.31	97.5
Сибирский	2.64	1.10	96.2	1.42	0.87	87.5	1.19	0.81	87.5
Дальневосточный	1.30	0.80	87.5	0.50	0.64	61.3	0.70	0.66	70.0

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков летом 2016 г.

Регионы	νR_{2016}	RR_{2016}	m	$m-q1$	$q3-m$	$P(r \leq R_{2016})$
Российская Федерация	5.5	109	-0.8	1.4	2.6	92.5
Физико-географические регионы России						
Европейская часть России	4.5	107	-1.4	1.8	6.3	78.8
Азиатская часть России	6.0	109	-0.1	2.8	2.4	87.5
Западная Сибирь	3.8	106	0.8	5.9	5.1	57.5
Средняя Сибирь	-0.9	98	-0.8	2.9	5.2	31.3
Прибайкалье и Забайкалье	-3.2	96	-0.1	6.9	4.6	37.5
Приамурье и Приморье	25.4	124	1.8	12.0	11.3	93.8
Восточная Сибирь	12.1	123	-0.1	3.6	3.8	95.0
Федеральные округа РФ						
Северо-Западный	21.2	132	0.2	4.9	5.9	96.2
Центральный	9.7	114	-2.0	8.3	12.8	80.0
Приволжский	-16.5	72	-0.4	6.5	7.5	10.0
Южный	1.7	103	-2.4	5.7	10.0	65.0
Северо-Кавказский	5.1	108	-1.8	6.1	9.2	67.5
Уральский	-5.4	92	1.4	6.9	4.6	23.7
Сибирский	-1.9	97	-0.4	3.1	4.3	26.2
Дальневосточный	15.3	124	-0.4	3.6	3.8	97.5

Примечание: 1. Аномалии νR_{2016} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за базовый период 1961-1990 гг.), RR_{2016} - отношение R_{2016} к норме, выраженное в %, $q1$, $q3$ и m - соответственно первый, третий квартиль и медиана аномалий (мм/месяц) за базовый период; вероятности неперевышения $P(r \leq R_{2016})$ - рассчитаны по выборке за 1936-2015 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_{2016}	RR_{2016}	$P(r \leq R_{2016})$	νR_{2016}	RR_{2016}	$P(r \leq R_{2016})$	νR_{2016}	RR_{2016}	$P(r \leq R_{2016})$
Российская Федерация	-0.4	99	36.3	8.7	112	92.5	8.2	112	93.8
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	-2.5	96	40.0	7.7	111	78.8	7.4	112	75.0
Азиатская часть России	0.5	101	43.8	9.0	113	91.3	8.5	112	86.3
Западная Сибирь	6.5	111	68.8	18.8	128	86.3	-13.7	79	11.2
Средняя Сибирь	-11.8	75	2.5	2.7	105	48.8	6.3	111	55.0
Прибайкалье и Забайкалье	4.2	107	55.3	-10.8	89	36.3	-2.8	96	38.7
Приамурье и Приморье	25.1	132	92.5	18.1	116	72.5	32.9	127	88.7
Восточная Сибирь	-6.4	84	20.0	13.7	124	87.5	29.3	149	100.0
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	13.6	124	71.2	22.6	133	91.3	27.5	137	93.8
Центральный	-10.9	84	38.7	9.2	111	71.2	27.2	143	88.7
Приволжский	-20.4	65	15.0	-11.6	82	31.3	-17.5	67	16.2
Южный	-0.2	100	55.0	14.8	130	85.0	-9.9	76	35.0
Северо-Кавказский	6.3	109	68.8	9.6	117	72.5	-0.4	100	57.5
Уральский	8.7	115	76.2	-14.0	80	16.2	-11.0	84	18.8
Сибирский	-2.5	95	26.2	4.6	106	57.5	-7.8	89	13.8
Дальневосточный	0.4	101	48.8	18.9	127	95.0	26.9	137	98.8

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 1976-2016 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°C/10 лет) и на севере Средней и Восточной Сибири (до

+0.6°C/10 лет).

В отдельные летние месяцы наибольшее потепление наблюдается на ЕЧР в июле (на западе до +1.1°C/10 лет) и в августе (в южных районах +1.2°C/10 лет), в АЧР: в июне (в дельте Оби до +1.3°C/10 лет).

Для всех трех летних месяцев в Сибири отмечается область незначительного похолодания, смещающаяся с юга, от границы с Казахстаном, в июне на север, в часть Западно-Сибирской низменности от слияния Оби с Иртышом до Среднесибирского плоскогорья между 63-69°с.ш. Наименьший тренд отмечается в августе (до -0.2°C/10 лет). Эта перемещающаяся область похолодания проявляется для сезона в целом в виде области значительно ослабленного потепления (от 0 до +0.2°C/10 лет) в Западной и Средней Сибири.

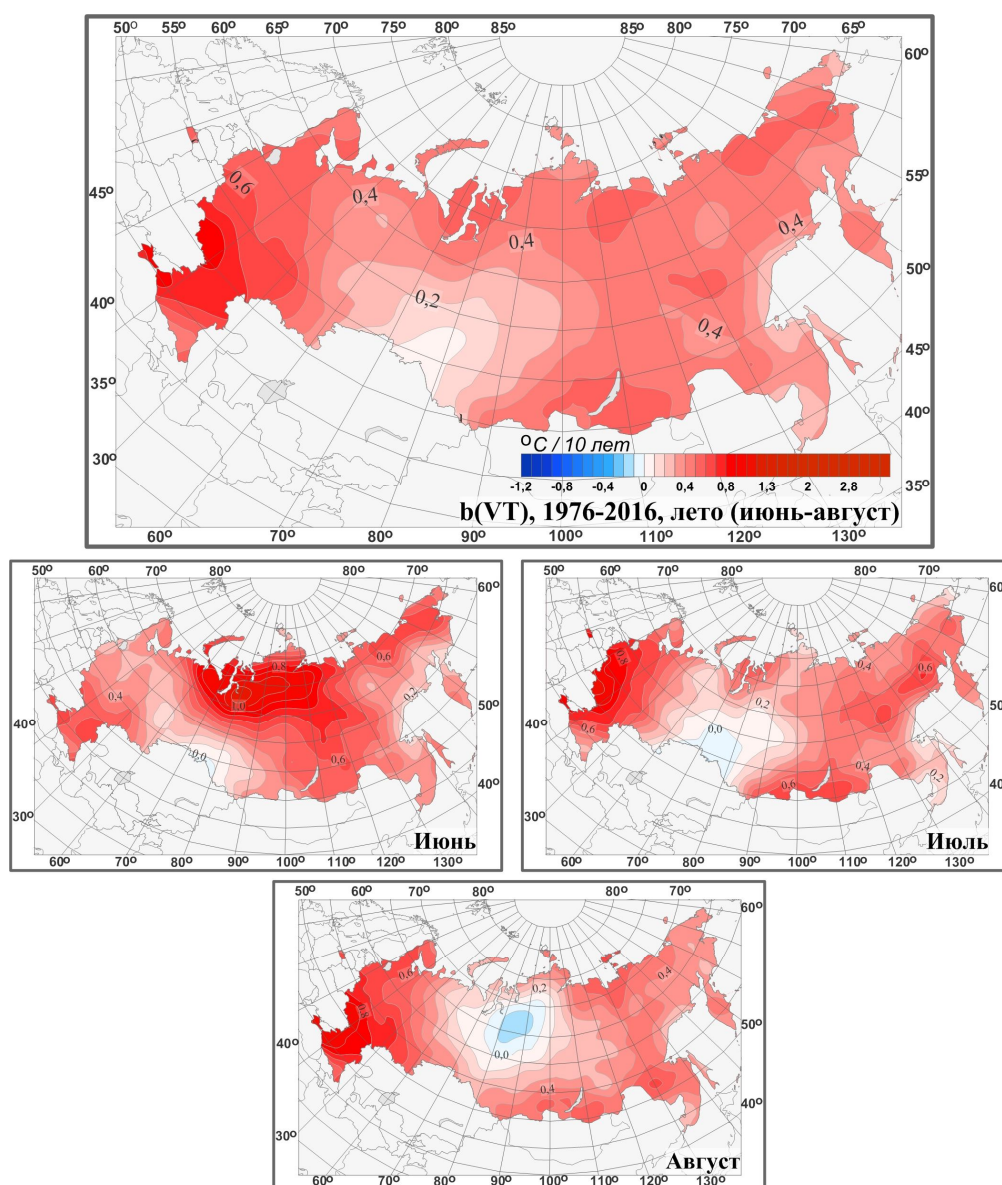


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры (°C/10 лет) на территории России по данным за 1976-2016 (лето)

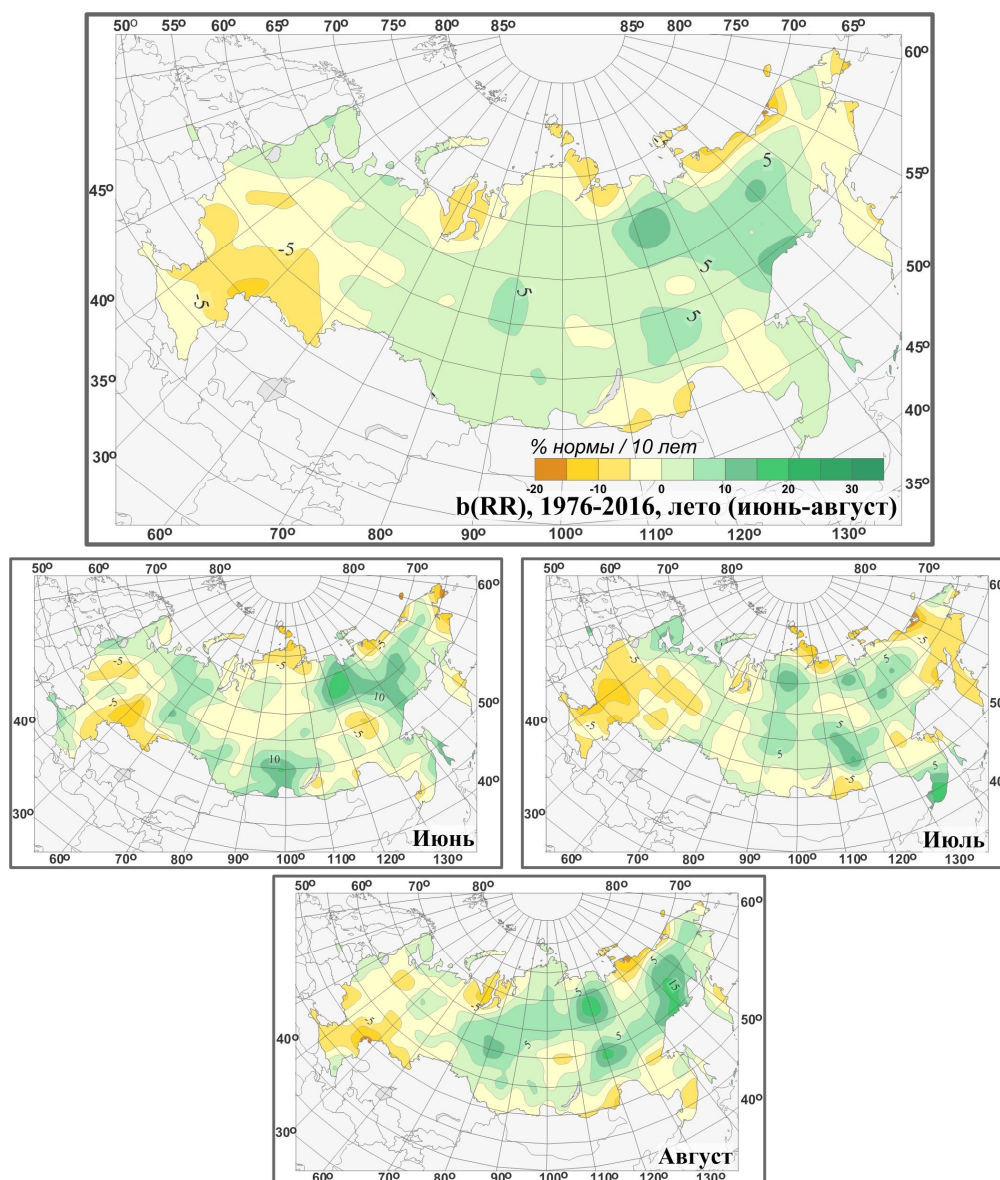


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы / 10 лет) на территории России по данным за 1976-2016 (лето).

Тренд средней по России летней температуры за период 1976-2016 гг. положителен: он составляет $+0.43^{\circ}\text{C}/10$ 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 слабому уменьшению на ЕЧР (центральные и южные области), и к увеличению в АЧР (кроме арктического побережья, Чукотки, Камчатки, Забайкалья).

Наиболее интенсивное уменьшение осадков отмечается в июле: на ЕЧР (кроме

северных районов) и, на Таймыре, на Чукотке и в Магаданской области, на Камчатке и в Хабаровском крае (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).

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.

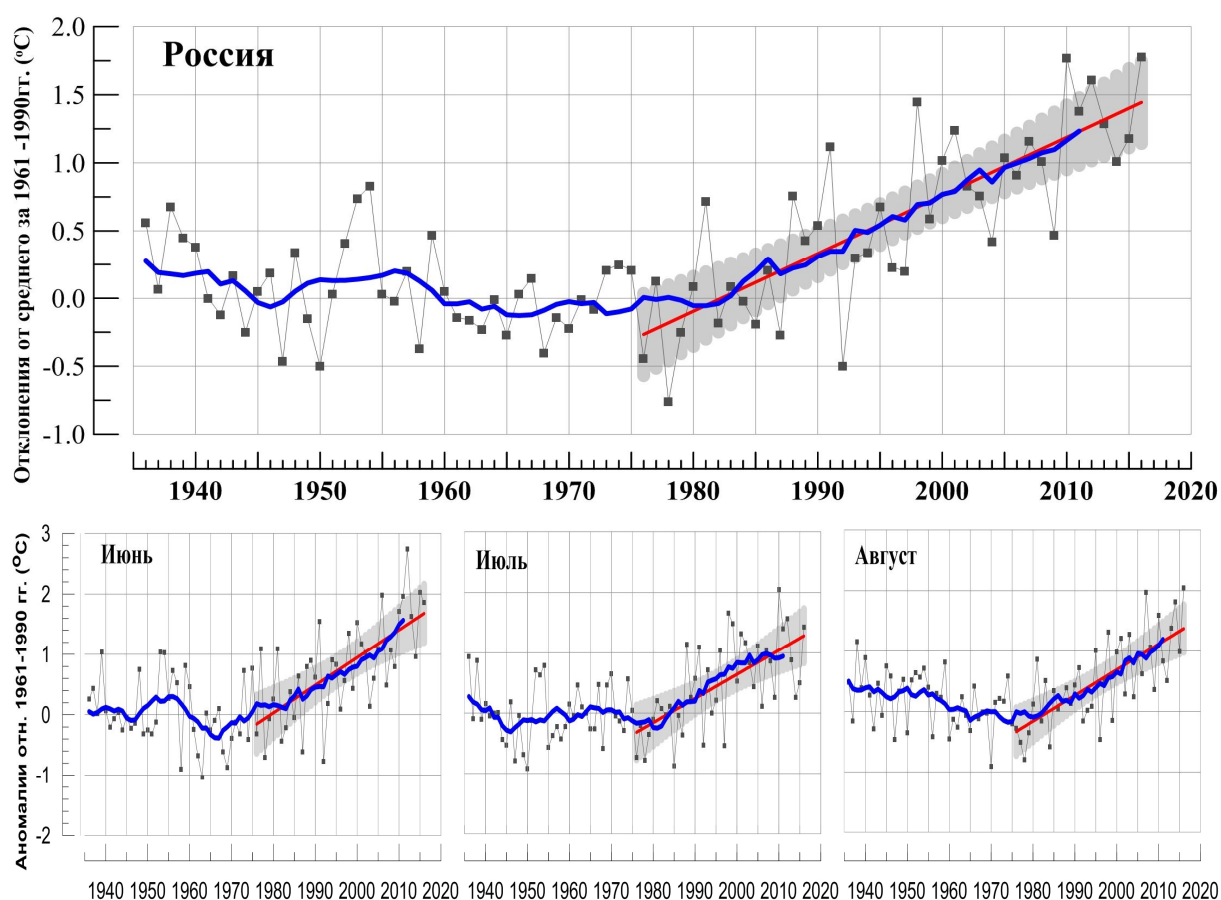


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) осредненная по территории РФ.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2016 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 1976-2016 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>	0.43	64	0.4	3
Июнь	0.46	45	0.6	3
Июль	0.40	42	-0.2	0
Август	0.43	52	0.9	5

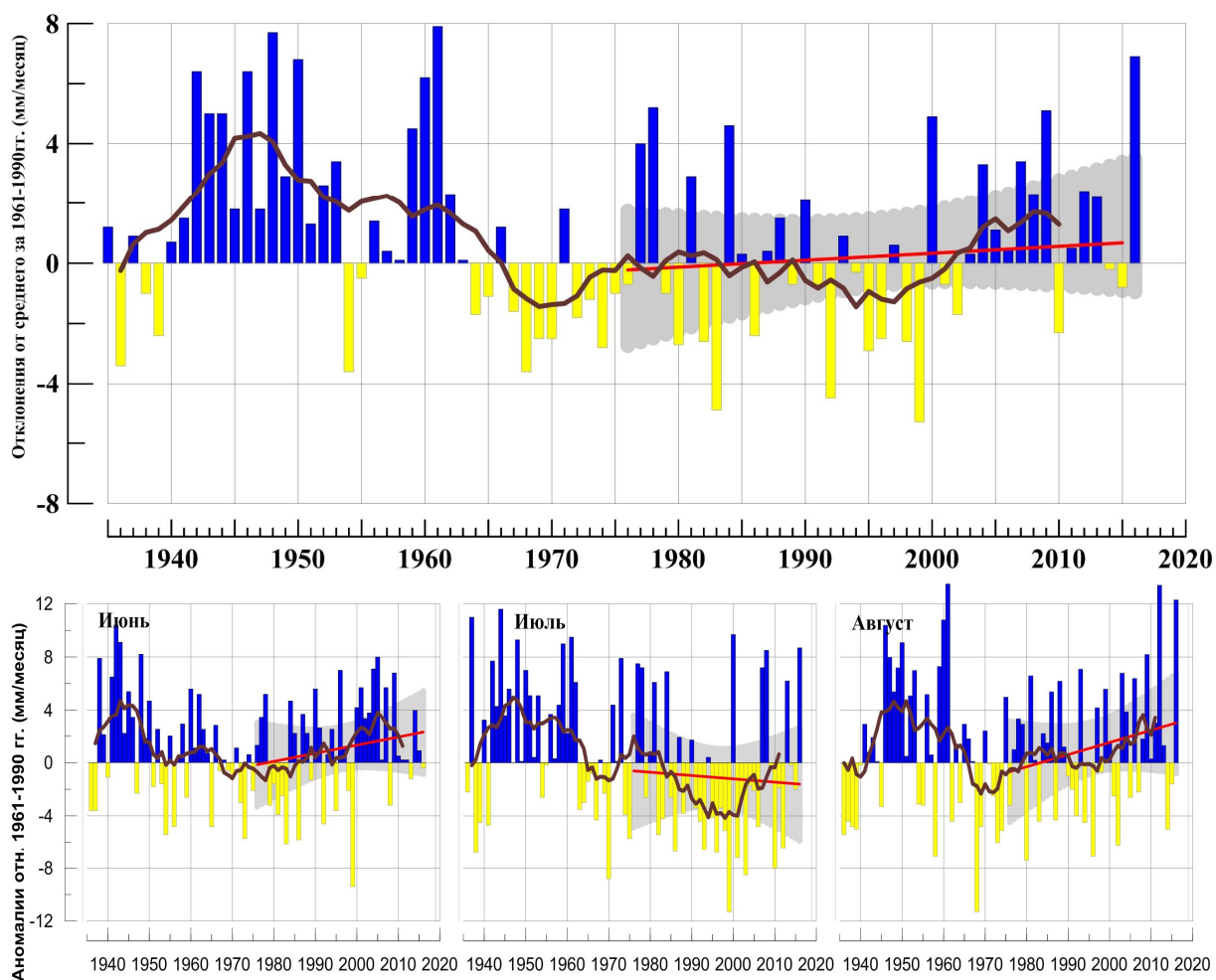


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/мес).

4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ЛЕТНЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ ЗА ПЕРИОД 1936-2016 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 – 2016 гг. На всех рисунках показаны линейные тренды за 1976-2016 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 1976-2016 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 1976-2016 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	0.43	64	0.4	0.8	3
Физико-географические регионы России					
Европейская часть России	0.56	38	-1.4	-2.3	5
Азиатская часть России	0.38	60	1.1	1.7	13
Западная Сибирь	0.23	9	0.9	1.6	2
Средняя Сибирь	0.41	38	2.2	4.2	17
Прибайкалье и Забайкалье	0.49	44	0.0	0.0	0
Приамурье и Приморье	0.34	33	0.9	0.9	1
Восточная Сибирь	0.45	49	0.9	1.8	3
Федеральные округа РФ					
Северо-Западный	0.47	33	0.7	1.0	1
Центральный	0.70	37	-3.3	-4.5	7
Приволжский	0.52	21	-2.8	-4.8	8
Южный	0.76	47	-2.0	-4.1	4
Северно-Кавказский	0.56	40	-0.7	-1.2	0
Уральский	0.30	9	0.4	0.5	0
Сибирский	0.35	38	1.1	1.8	7
Дальневосточный	0.42	56	1.3	2.0	4

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%.

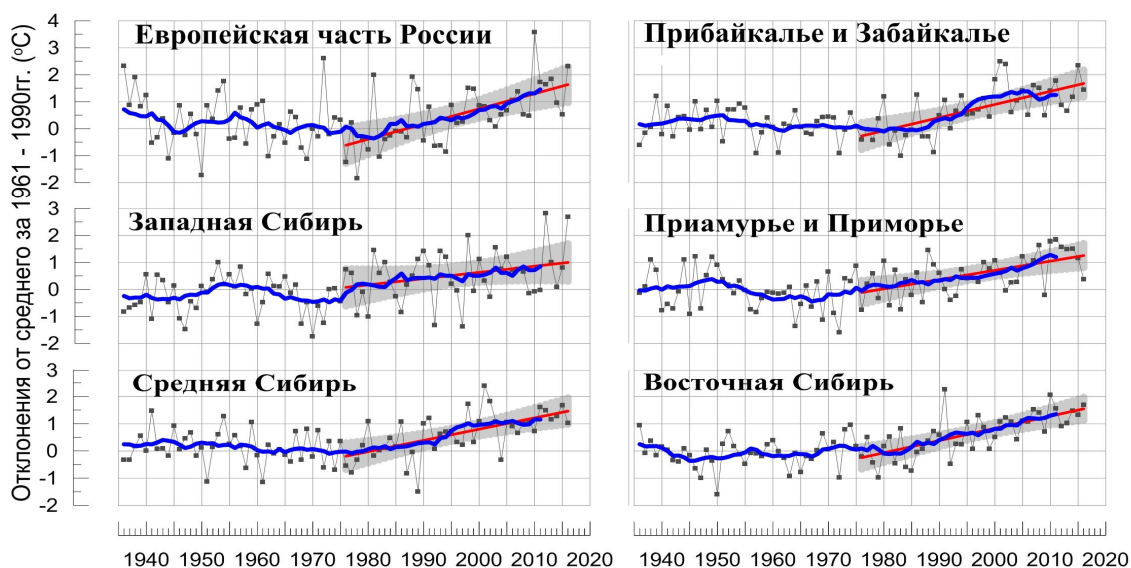


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, лето 2016 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2016 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

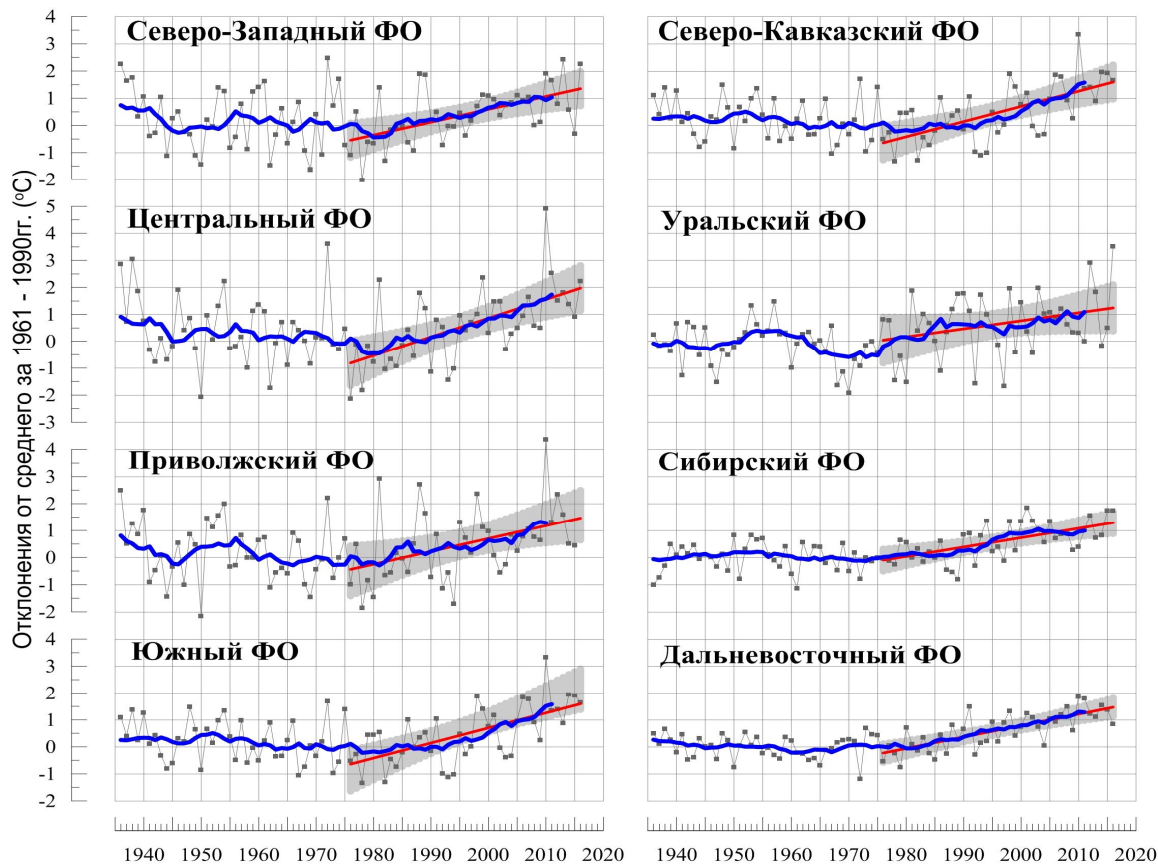


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

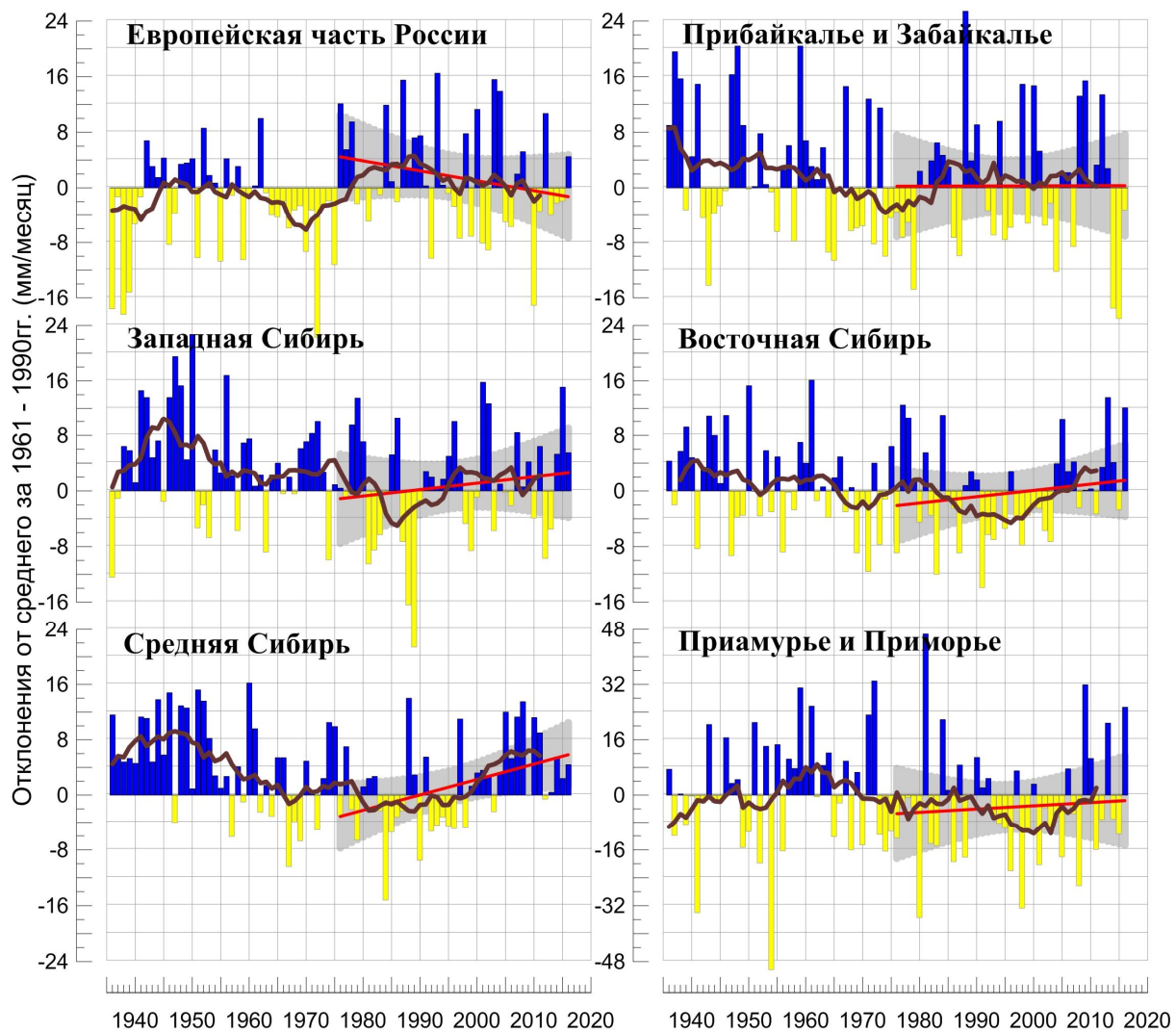


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, лето 2016 г.

Условные обозначения см. на рис. 4.1.

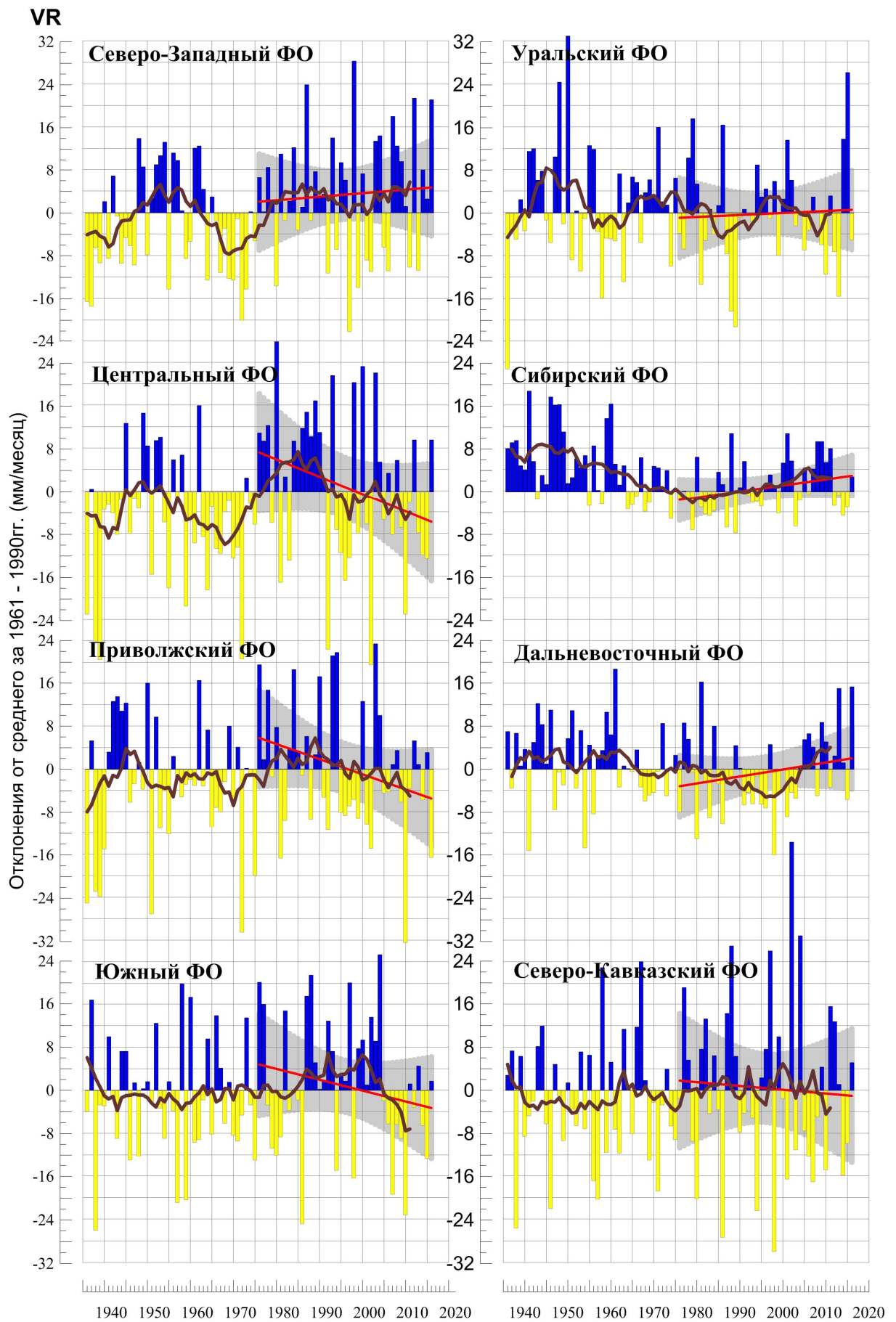


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2016 гг. (летний сезон)

5.1. Индексы аномальности среднесезонных температур и осадков.

В разделе приведены некоторые индексы экстремальности и аномальности для летнего сезона в целом по территории России за период 1936 -2016 гг. (рис. 5.1. – 5.4). В качестве индексов экстремальности рассматриваются доли площади под крупными аномалиями температуры и осадков (вероятности не превышения ниже 20% и выше 80%), а также экстремальными (абсолютная величина превосходит 2 стандартных отклонения) аномалиями температуры.

Температура. Летом 2016 года 70% площади территории России были заняты крупными положительными аномалиями (выше 80-го перцентиля) – максимальная величина в ряду, тогда как площадь областей отрицательных аномалий (ниже 20-го перцентиля) составила лишь 4% (рис. 5.1). В изменении площади под крупными положительными аномалиями тренд за период 1976-2016 составляет 12.6%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 56%). Суммарная площадь с крупными аномалиями обоих знаков в целом после середины 1970-х гг. несколько выше, чем в предыдущий период; однако, явного роста после 1976 г. не наблюдается.

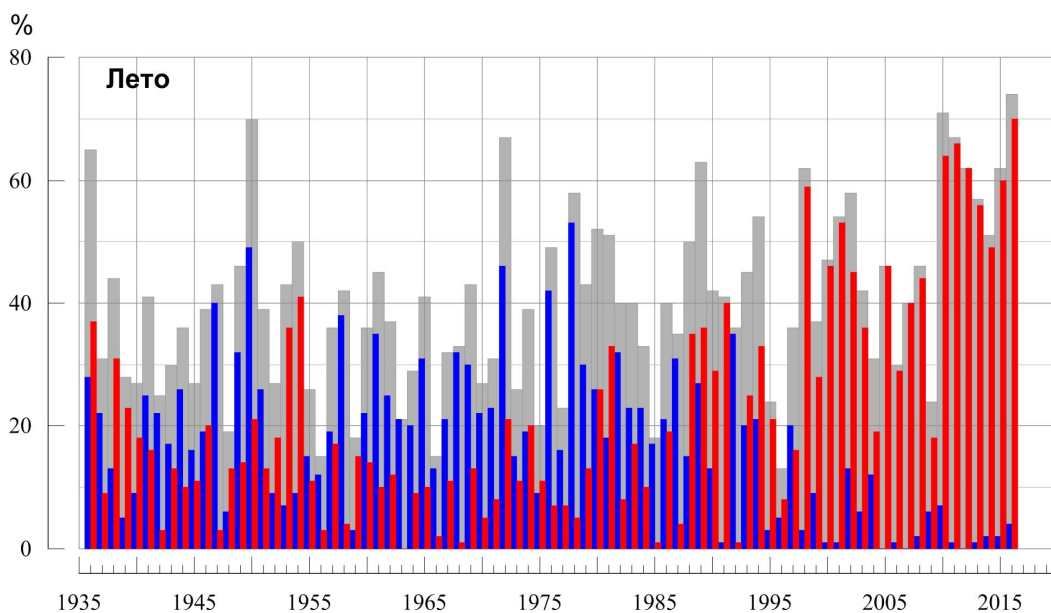


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2016 гг. (лето):

- 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 2016 года доля площади РФ, занятая экстремально теплыми аномалиями (выше $+2\sigma$) составила 24% (вторая величина после 2010 года (28%)), а экстремально холодными аномалиями (ниже -2σ) –1%. 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, в том числе: в 2010 (28% площади под аномалиями выше $+2\sigma$), в 2012 (22%), в 1998 (19%), в 2001 (18%), в 1972 г. (13%), в 1991 (11%).

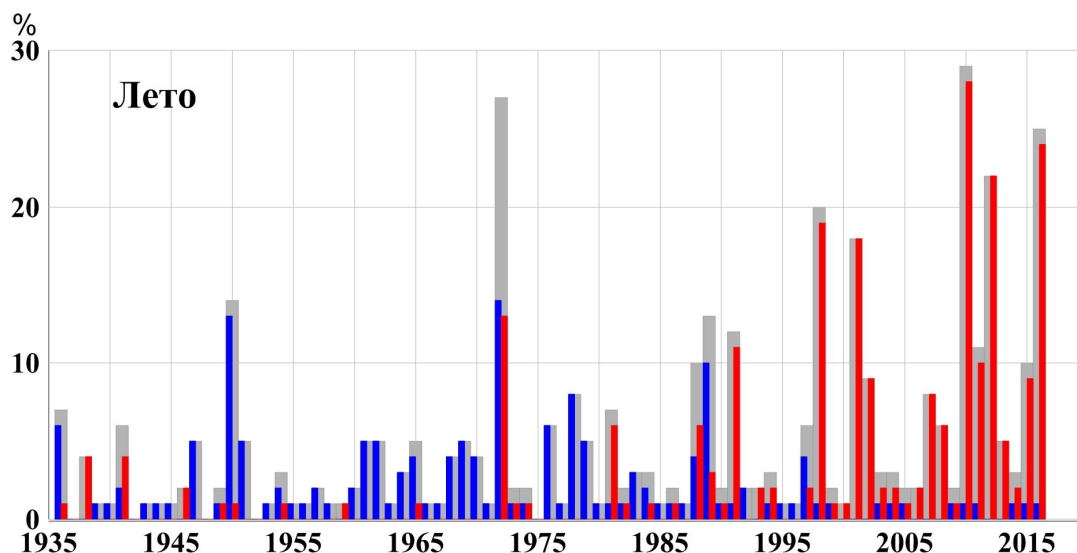


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры летом, 1936-2016 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

Индекс аномальности Багрова (рис. 5.3) в 2016 году составил 2,2 – вторая величина после рекордного 2010 года (индекс 2,3) Аномальность температурного режима на территории РФ в летний сезон растет:– тренд за 1976-2016 гг. объясняет 44% общей дисперсии ряда.

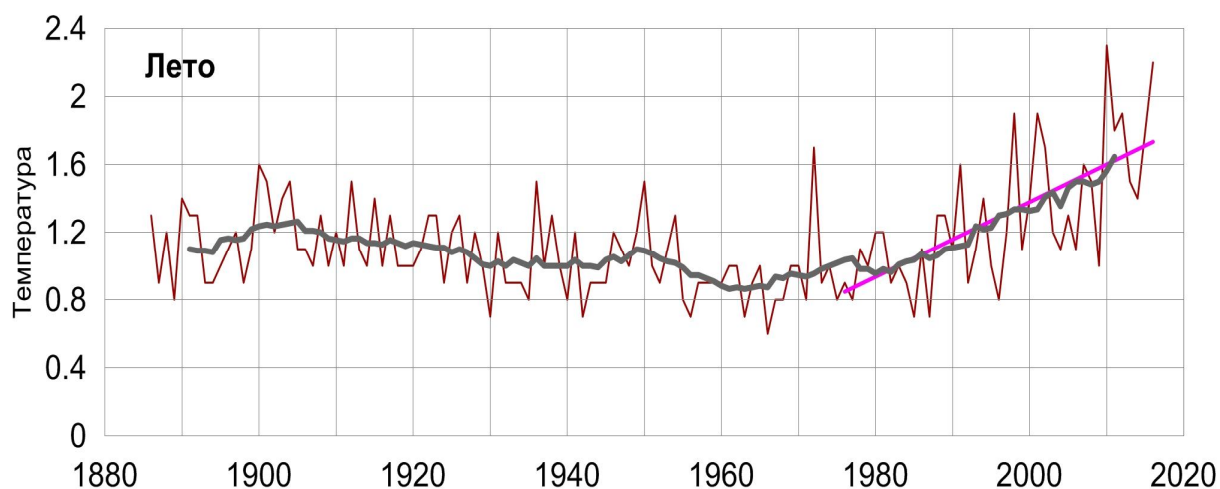


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России летом 1886-2016 гг.

Осадки. Летом 2016 года площадь, занятая экстремальными аномалиями осадков меньше 20-го перцентиля, составила 17%, а занятая аномалиями больше 80-го перцентиля - 25% (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.

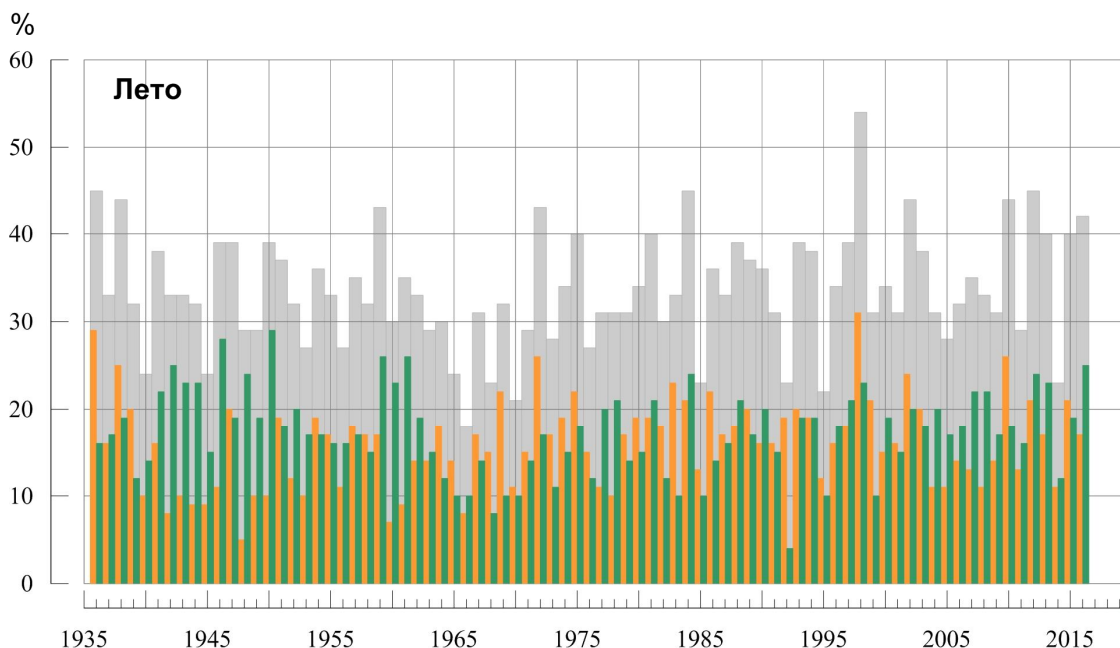


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2016 гг. (лето):

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

5.2. Индексы сезонных экстремумов среднесуточной температуры.

В качестве индексов сезонных экстремумов температуры рассматриваются значения 5-го $P5(y)$ и 95-го $P95(y)$ перцентилей эмпирической функции распределения аномалий среднесуточных температур текущего сезона. Напомним, что p -й перцентиль – это значение X_p случайной величины x (в данном случае аномалии температуры), для которого вероятность $P(x < X_p) = p\%$. Таким образом, 5% значений аномалии температуры текущего сезона ниже $P5(y)$, и 5% - выше $P95(y)$. Перцентили $P5$ и $P95$ служат характеристиками наиболее значительных отклонений от нормы (в отрицательную и положительную стороны), наблюдававшихся в текущем сезоне, т.е., характеристиками экстремальности. Сопоставление их с историческими рядами $\{P5(y_i)\}$ и $\{P95(y_i)\}$, $i=1..n$, n – длина исторического ряда, позволяет оценить степень экстремальности анализируемого сезона. Мы рассматриваем отклонения от средних значений индексов в историческом ряду $IP5(y) = P5(y) - EP5$ и $IP95(y) = P95(y) - EP95$,

которые иногда будем называть аномалиями индексов, а также вероятности непревышения $PrP5(y)$, $PrP95(y)$.

Процентили на станциях оценивались для аномалий суточных температур, рассчитанных как отклонения от среднего за 1971-2015 гг. годового хода, сглаженного фильтром, отсекающим быстрые колебания (с периодом менее 90 дней).

База данных представляет собой массив среднесуточных температур на 367 станциях РФ. До 2012 г. данные из массива «Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные)» ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>). С 2012 г. пополнение данными, рассчитанными по срочным наблюдениям из оперативной БД МАКТ Гидрометцентра России: многоступенчатый контроль качества и расчет выполнены в ИГКЭ. Данные 2012 г. смешанные: на станциях, где есть данные ВНИИГМИ-МЦД, взяты они, там, где в этом массиве пропуски – данные, рассчитанные по оперативным (МАКТ).

При анализе экстремальности сезона следует иметь в виду следующие соображения. Положительные значения $IP95$ (или $PrP95(y) > 50\%$) означают повышенную экстремальность аномалий тепла, высокие значения $PrP95(y)$ больше 90%, 95% означают высокую и очень высокую экстремальность аномалий тепла в сезоне. Напротив, отрицательные значения $IP95$ (или $PrP95(y) < 50\%$) означают пониженную экстремальность тепла, низкие значения $PrP95(y)$ меньше 10%, 5% означают низкую и очень низкую экстремальность аномалий тепла в сезоне. Соответственно для аномалий холода повышенной экстремальности отвечают $IP5 < 0$ (или $PrP5(y) < 50\%$), высокой и очень высокой экстремальности аномалий холода - $PrP5(y)$ меньше 10%, 5%. Пониженная экстремальность аномалий холода: $IP5 > 0$ (или $PrP5(y) > 50\%$), низкая и очень низкая экстремальность аномалий холода - $PrP5(y)$ выше 90%, 95%.

На рис. 5.5 показаны характеристики индексов экстремальности температуры летнего сезона 2016 г. Следует отметить повышенную экстремальность аномалий тепла (высокие значения $P95$) на большей части ЕЧР и Западной Сибири, а также на дальнем Северо-Востоке и к востоку от Байкала. Наиболее высокая экстремальность аномалий тепла (вероятности непревышения выше 95% и в ряде пунктов – максимальные значения с 1971 г.) отмечена в районе Полярного Урала и на Ямале; на Южном Урале и в Заволжье; на Камчатке. Пониженные значения экстремальных аномалий тепла наблюдались в Средней Сибири (самые низкие значения индекса $P95$ наблюдались на юге Якутии, местами среди 5% наименьших за период с 1971 г.), в Приамурье и Приморье, на Алтае.

Очень мощная область, где наиболее холодные дни сезона были значительно теплее, чем наблюдались в историческом ряду с 1971 г., включает север ЕЧР, Северный и средний Урал и Западную Сибирь, Байкальский регион. Значительные холода (индекс $P5$ меньше среднего за 1971-2015 гг.) отмечены в Якутии.

Сопоставление с картами среднесезонных (среднемесячных) аномалий позволяет более подробно представить структуру этих аномалий. Как видно из сравнения рис.2.1 и 5.5, экстремальные положительные аномалии среднесезонной температуры на севере ЕЧР, северной половине Урала, в Байкальском регионе, сложившиеся в основном в июне-июле, сопровождалась исключительно сильно

ослабленными аномалиями наиболее холодных дней сезона. В то же время экстремальные положительные летние среднесезонные аномалии на Южном Урале (в основном за счет августа) ассоциировались с положительными экстремумами суточных температур. При этом в районе Ямала наблюдались одновременно оба явления: экстремально высокие аномалии суточных температур и экстремально ослабленные аномалии холодных суток. Похожая ситуация наблюдалась также и на дальнем Северо-Востоке (Чукотка и Камчатка). В Якутии отрицательные аномалии средних летних температур сопровождалась усилением (незначительным) аномалий наиболее холодных суток и существенным ослаблением аномалий в жаркие дни.

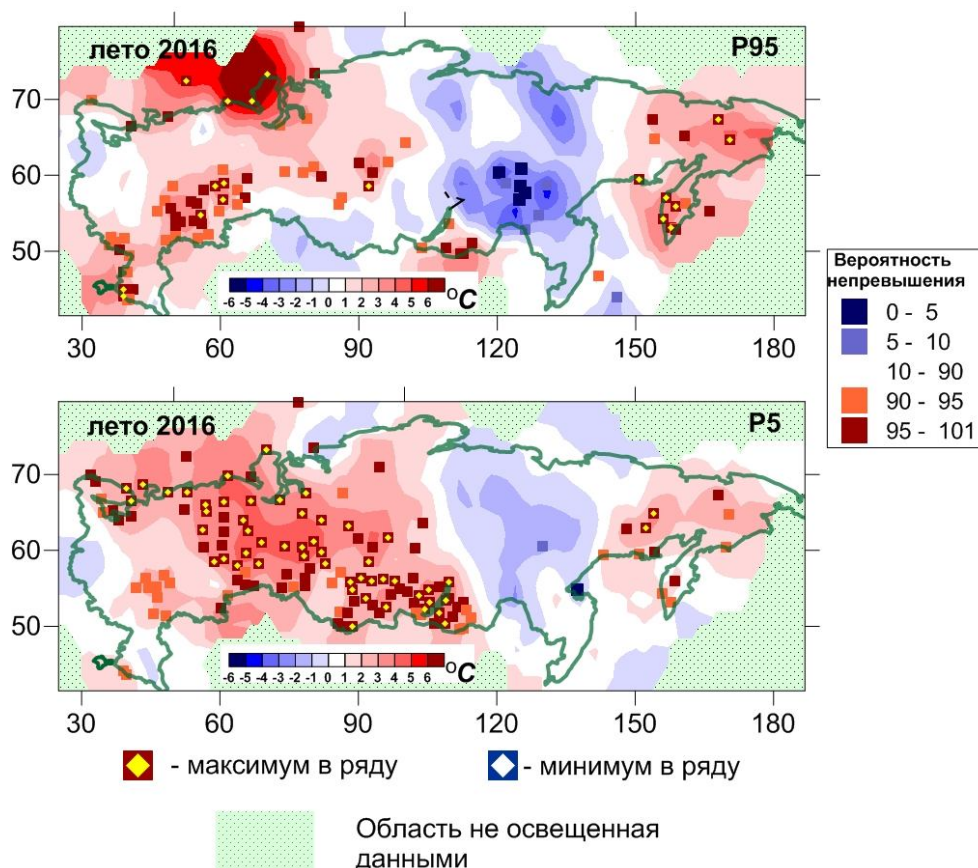


Рисунок 5.5 – Характеристики экстремальных температур летнего сезона 2016 г. Заливкой показаны отклонения 5-го и 95-го перцентилей аномалий суточных температур P5 и P95 (°C) от их средних значений за период 1971-2015 гг. (аномалии рассчитаны как отклонения суточных температур от годового хода, рассчитанного за тот же период и сглаженного фильтром, отсекающим гармоники с периодом менее 90 суток). На станциях показаны значения вероятности непревышения за тот же период; дополнительно выделены максимальные и минимальные значения.

Тенденции изменения индексов сезонных экстремумов температуры за период современного глобального потепления 1976-2016 гг. (коэффициент линейного тренда) показаны на рис. 5.6. На всей территории страны оба индекса имеют тенденцию к росту. Отметим, что положительный тренд индекса P95 означает рост величины

экстремальных суточных аномалий тепла, в то время как, положительный тренд P5 – ослабление экстремумов холода. Особенности географического распределения трендов обоих индексов близки, хотя имеются определенные различия. Основные области, где тренды обоих индексов значимы: южная половина РФ; север Западной Сибири; Алтай, Саяны и Байкальский регион; Приамурье, Приморье и Сахалин; Якутия; Камчатка. Экстремумы тепла (P95) значимо растут также на Чукотке. С другой стороны, значимый рост индекса P5 (т.е., ослабление экстремально холодных аномалий) наблюдается также и в северной половине ЕЧР, и на севере Сибири до 150°в.д.

Области максимальных величин трендов обоих индексов - на севере Западной Сибири и в Забайкалье: более 0.6°C/10 лет; такие же и даже более значительные тренды наблюдаются для индекса P95 на юго-западе ЕЧР, т.е. здесь значительно растут экстремальные аномалии тепла в летний сезон.

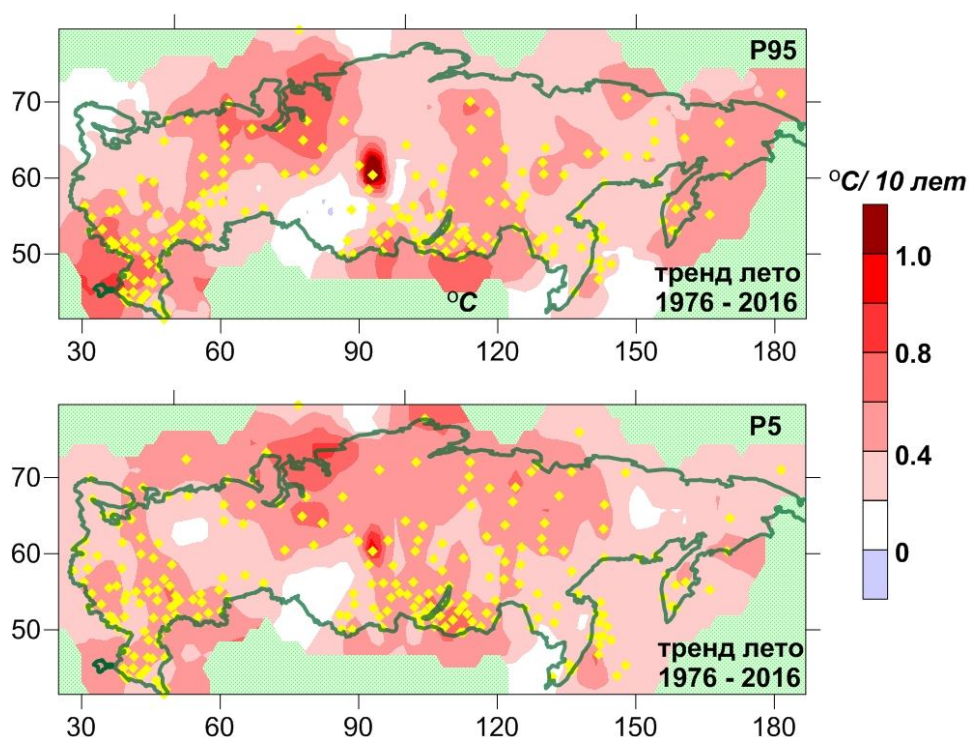


Рисунок 5.6. Географическое распределение коэффициентов линейного тренда индексов P95 и P5 в летний сезон за период 1976-2016 гг. (°C/10 лет). Отмечены станции, где тренд значим на уровне 5%.

ВЫВОДЫ

1. Лето для Северного полушария в целом была теплым: аномалия температуры воздуха над сушей СП $+1.27^{\circ}\text{C}$ (при стандартном отклонении 0.20°C) – максимальная в ряду с 1886 г. При этом разность между величиной сезонной аномалии и трендом при потеплении составляет 0.14°C .

2. Лето для России в целом также было экстремально теплым (осредненная сезонная аномалия $+1.78^{\circ}\text{C}$ – максимальная величина с 1936 года). 95%-е экстремумы зафиксированы на многих станциях ЕЧР (кроме западных районов), в Западной и Средней Сибири, на северо-востоке страны. Область отрицательных аномалий температуры (до -1.2°C) вытянута вдоль меридиана 125 градусов в. д.

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными среднесезонными аномалиями температуры (выше 80-го перцентиля), составила 70% (максимальная величина с 1936 года), а под экстремальными положительными аномалиями (выше 2σ) 24% (вторая в ряду).

4. В России в целом экстремально тепло было во все месяцы сезона: июнь (аномалия температуры $+1.86^{\circ}\text{C}$) и июль ($+1.43^{\circ}\text{C}$) – среди пяти самых теплых, август ($+2.05^{\circ}\text{C}$) – рекордный в ряду.

Экстремально теплым был *август*. Во всех федеральных округах ЕЧР и в Уральском ФО осредненные аномалии температуры среди пяти самых крупных в соответствующих рядах, аномалии температуры в Поволжье и на Южном Урале выше 6°C . Небольшие отрицательные аномалии (до -2°C) зафиксированы на востоке Красноярского края, на большей части Якутии, в Амурской области.

В *июне* тепло всюду (кроме юга Дальневосточного ФО и пограничной полосы Оренбургской области с Казахстаном). Экстремально тепло в Западной Сибири (3.24°C – ранг 5), в Средней Сибири (2.67°C – ранг 5), в Восточной Сибири (2.26°C – ранг 1). Аномалии температуры в Ямало-Ненецком АО до 9°C .

В *июле* Экстремально тепло на севере ЕЧР и севере Западной Сибири (осредненные по Северо-Западному ФО и Уральскому ФО аномалии 3.0°C и 2.5°C – четвертая и пятая величины в соответствующих рядах), в районе Байкала, в Магаданской области и на Камчатке. Аномалии температуры в Ямало-Ненецком АО до 6°C . Холодно (аномалии температуры до -2°C) в Якутии и в Амурской области.

5. Экстремальные положительные аномалии среднесезонной температуры на севере ЕЧР, северной половине Урала, в Байкальском регионе (в основном в июне-июле), сопровождались исключительно сильно ослабленными аномалиями наиболее холодных дней сезона. Экстремальные положительные летние среднесезонные аномалии на Южном Урале (в основном за счет августа) ассоциировались с положительными экстремумами суточных температур. В районе Ямала наблюдались одновременно оба явления: экстремально высокие аномалии суточных температур и экстремально ослабленные аномалии холодных суток. Похожая ситуация наблюдалась также и на дальнем Северо-Востоке (Чукотка и Камчатка).

В Якутии отрицательные аномалии средних летних температур сопровождались усилением (незначительным) аномалий наиболее холодных суток и существенным ослаблением аномалий в жаркие дни.

6. Летом в среднем по РФ выпало 109% нормы осадков - 7-ая величина с 1936 года. Значительный избыток осадков (на ряде станций 95%-е экстремумы) в центральных и в северо-западных районах ЕЧР (осредненные по Северо-Западному ФО осадки: 132% - ранг 4), на юге Западной и Средней Сибири, на большей части Дальневосточного ФО (124% – ранг 3).

Сильный дефицит осадков летом наблюдался на юго-востоке ЕЧР (осредненные по Приволжскому ФО осадки 72% - среди девяти самых сухих сезонов), в Западной и Средней Сибири (кроме юга), на Чукотке.

Неоднородность выпадения осадков по территории страны наблюдалась во все месяцы сезона. В июне преобладал дефицит осадков (осредненные по РФ осадки 99% нормы), а в июле (112%) и в августе (112%) – избыток.

7. Дефицит осадков и крупные температурные аномалии способствовали образованию засух с июня по август (преимущественно средней интенсивности): в ряде областей Южного ФО и Приволжского ФО; в июне и июле (преимущественно сильной интенсивности): в Бурятии и в Тыве; в августе (средней интенсивности): во многих областях Уральского ФО.

8. Из наиболее выдающихся особенностей месяцев следует отметить: в **июне** - сильный дефицит осадков (40%-60% нормы, на ряде станций 5%-е экстремумы) в центральных районах АЧР, осредненные по региону Средняя Сибирь осадки 75% - третья среди наименьших величин; в **июле** - значительный избыток осадков на северо-западе ЕЧР, на юге Западной Сибири (на станциях Алтая выпало более двух норм), на большей части Дальневосточного ФО (127% нормы – ранг 5); сильный дефицит осадков (менее 60%) на востоке ЕЧР, на севере Западной и Средней Сибири, в районе Байкала; в **августе** - значительный избыток осадков (более 160% нормы) в центре и на северо-западе ЕЧР, в центре Западной и Средней Сибири, на большей части Дальневосточного ФО (137% – ранг 2); дефицит осадков (менее 80%) на юге и юго-востоке ЕЧР, и далее, на Урале, на юге Западной Сибири, в предгорьях Алтая и Саян, в горах Забайкалья.

9 Летом площадь, занятая крупными аномалиями осадков ниже 20-го перцентиля – 17%, выше 80 перцентиля составила 25%.

10. В целом по России линейный тренд летней температуры воздуха за период 1976-2015 гг. положителен и составляет +0.43°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 +1.3°C/10 лет) отмечается на ЕЧР, в Якутии и в Забайкалье. Наиболее слабое потепление (от 0 до +0.2°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.

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



ВВЕДЕНИЕ

В настоящем Приложении* приводится информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) летом 2016 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 погодных-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 2016 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 стационарных «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 2016 г.

В таблицах 2 и 3 приведены стационарные 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) на всех станциях республики аномалии температуры были намного выше нормы, аномалии от +1.69°C (в Могилеве) до +2.86°C (в Пинске). В Минске и в Василевичах сезонные температуры выше 95-го перцентиля. Сезонная аномалия температуры, осредненная по территории республики +2.05°C – 10-ая положительная величина в ряду.

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси летом 2016 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>	18.77	19.03	18.30	19.33	19.87	19.77	20.13
Июнь	18.4	18.8	17.8	19.1	19.8	19.2	19.4
Июль	19.5	19.5	19.3	20.0	20.4	21.0	21.2
Август	18.4	18.8	17.8	18.9	19.4	19.1	19.8
б) аномалия температуры (град. Цельсия)							
<i>Лето</i>	2,47	2,38	1,69	1,96	2,86	2,32	2,37
Июнь	2,45	2,64	1,60	2,35	3,27	2,06	2,06
Июль	2,45	2,19	1,98	1,98	2,79	2,94	2,77
Август	2,52	2,30	1,50	1,54	2,51	1,95	2,28

Тепло было во все месяцы сезона. Осредненная по территории республики июньская аномалия температуры 2.21°C – десятая в ряду, июльская и августовская аномалии: 2.28°C и 1.82°C – 17-ые величины в соответствующих рядах. Наибольшие аномалии во все месяцы наблюдались в южных районах республики.

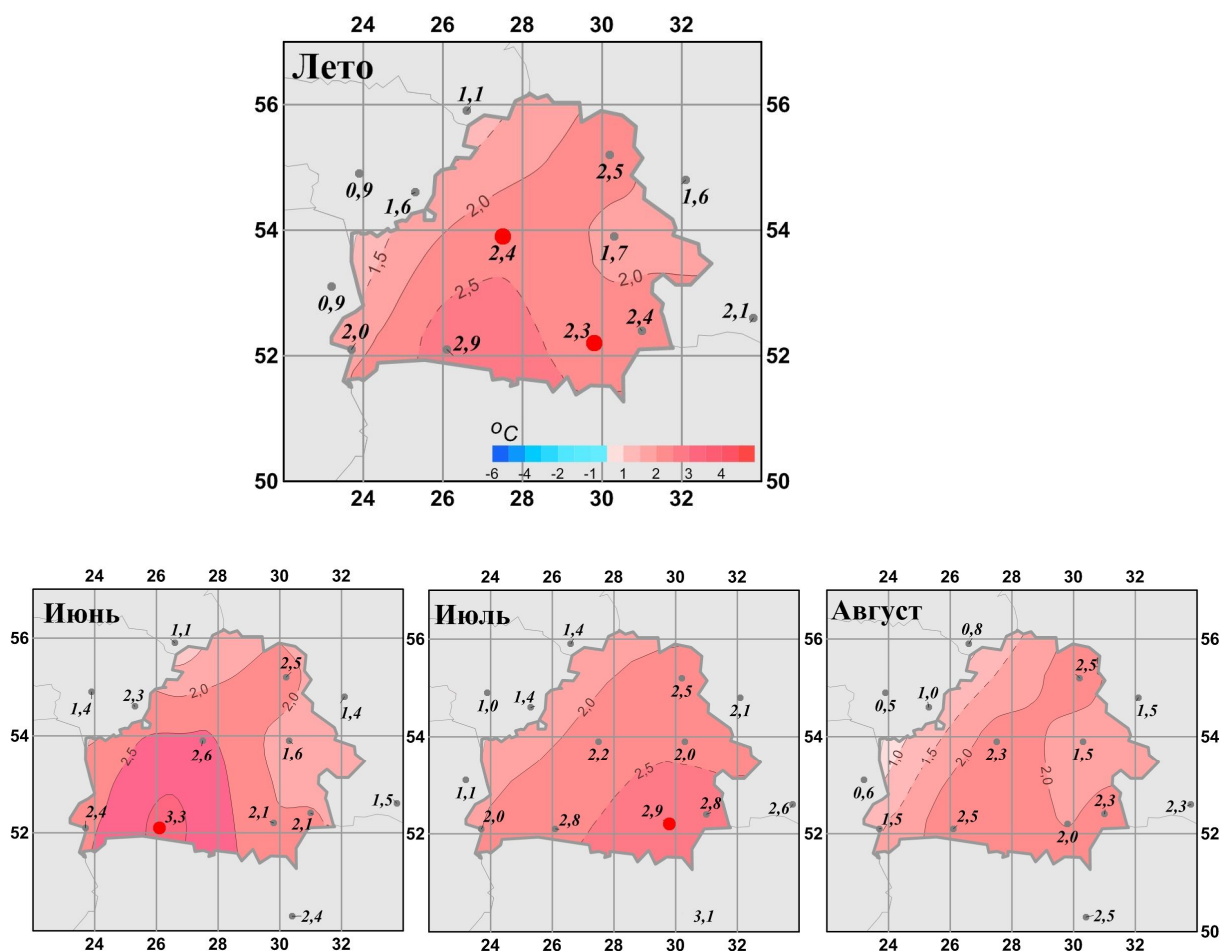


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры ($^{\circ}\text{C}$) приземного воздуха на территории республики Беларусь летом.

Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1990 гг. Цифрами приведены значения аномалий температуры (в градусах Цельсия) на станциях. Красными кружками показаны стационарные экстремумы – выше 95-го перцентиля

Летом (рис. 2) на юге республики наблюдался дефицит осадков (в Пинске и в Василевичах выпало около 60% сезонной нормы), на остальной территории республики количество выпавших осадков около нормы. Осредненные по республике осадки 93%.

В июне осредненные по республике осадки 53% - седьмая среди наименьших величин, на всех станциях наблюдался дефицит осадков, в Пинске и в Василевичах зафиксированы 5%-е экстремумы. Дефицит осадков наблюдался также и в августе (осредненные по республике осадки 73%), на большинстве станций наблюдался дефицит осадков (менее 80% нормы), лишь в Гомеле выпало 125% нормы.

В июле на большинстве станций республики наблюдался избыток осадков (на ряде станций выпало более полутора норм, а в Могилеве выпало две нормы), лишь в Гомеле наблюдался дефицит осадков.

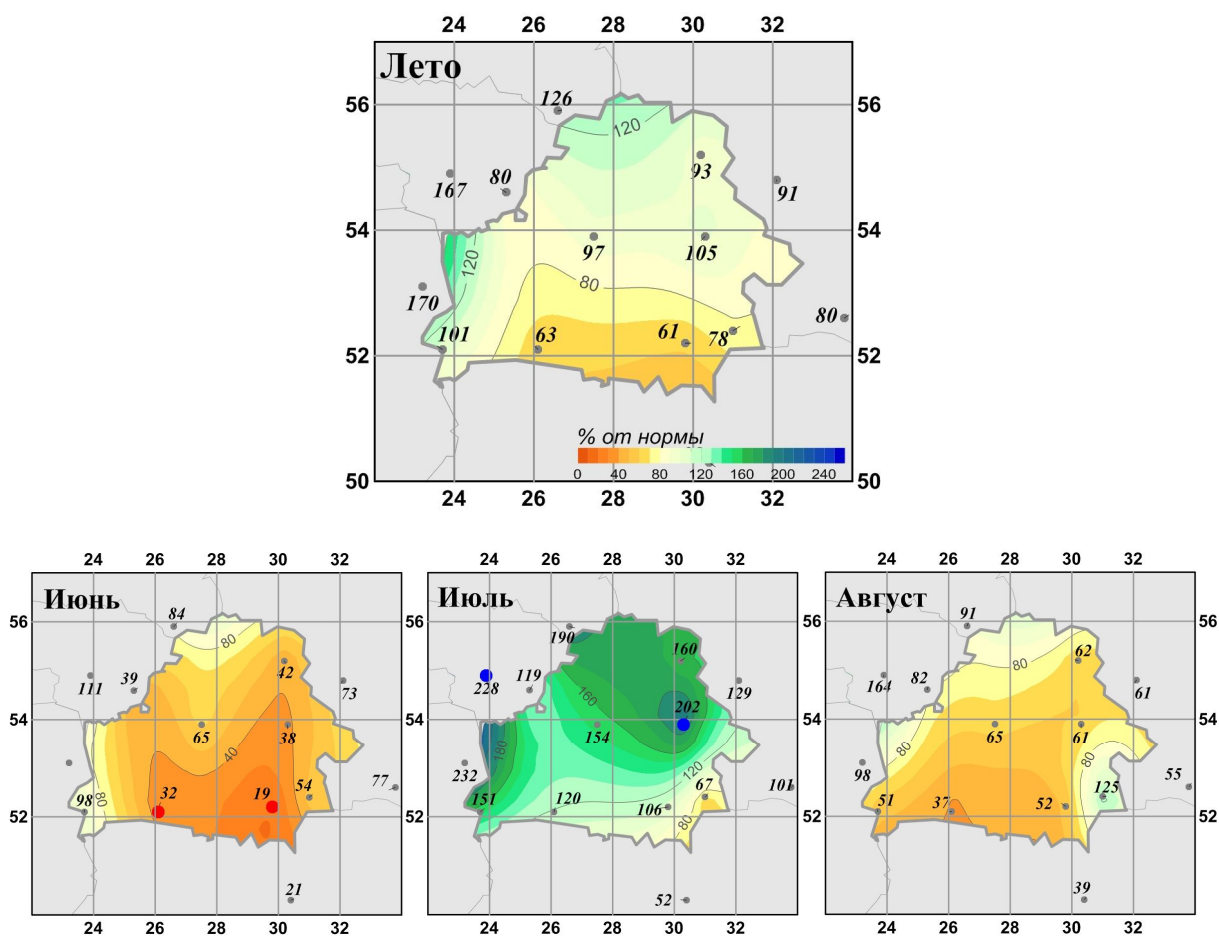


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь летом.

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 перцентля

Таблица 3

Характеристики режима осадков на станциях Беларуси летом 2016 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>	76.00	79.00	80.33	76.67	46.00	49.00	58.33
Июнь	33	54	31	70	25	15	46
Июль	150	136	171	121	89	94	55
Август	45	47	39	39	24	38	74
б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц)							
<i>Лето</i>	-5.67	-2.07	3.87	0.70	-26.53	-31.57	-16.90
Июнь	-45.4	-28.7	-49.6	-1.5	-54.2	-64.4	-38.4
Июль	56.5	47.9	86.2	40.8	14.7	5.3	-27.1

Август	-28.1	-25.4	-25.0	-37.2	-40.1	-35.6	14.8
в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы)							
<i>Лето</i>	93	97	105	101	63	61	78
Июнь	42	65	38	98	32	19	54
Июль	160	154	202	151	120	106	67
Август	62	65	61	51	37	52	125

На рисунках 3, 4 показаны временные ряды осредненных по территории Беларуси сезонных и месячных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 по 2016 гг.

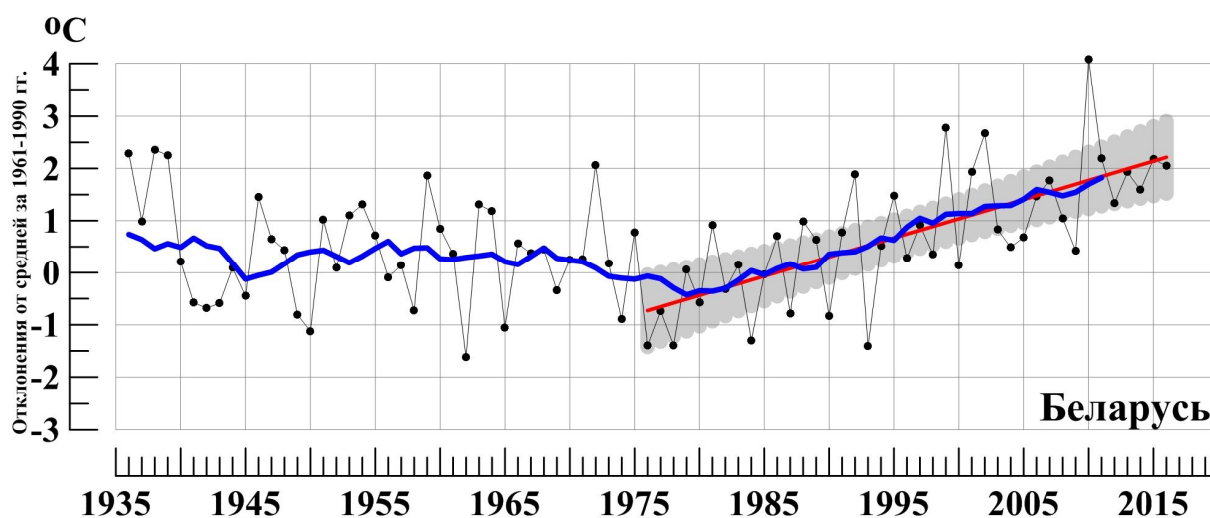


Рисунок 3 - Сезонные (июнь - август) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2016 гг.

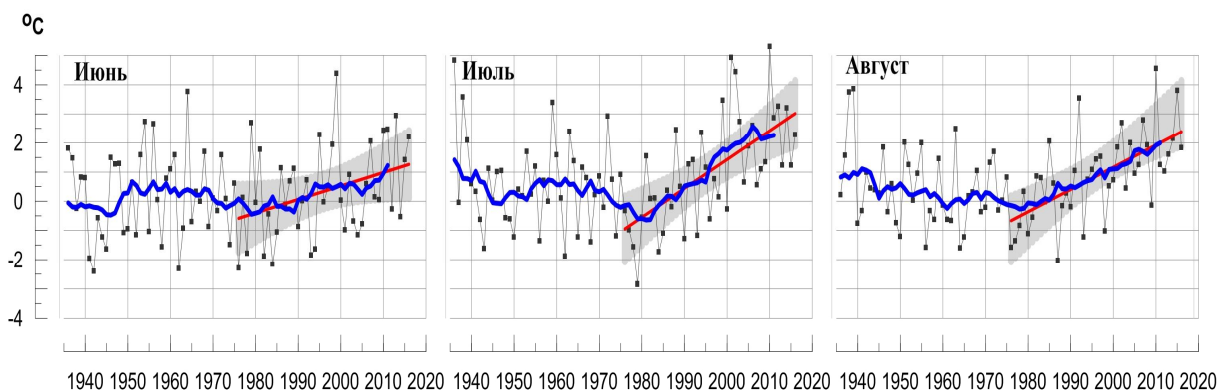


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь. Условные обозначения см. на рисунке 3.

Тренд летних температур, в среднем по территории Беларуси, составил $+0.74^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 50% дисперсии). Во все месяцы сезона тренд положителен. Наибольшее потепление наблюдается в июле: тренд составил $+0.99^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 41% дисперсии ряда) и в августе ($+0.76^{\circ}\text{C}/10$ лет, 39%).

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.

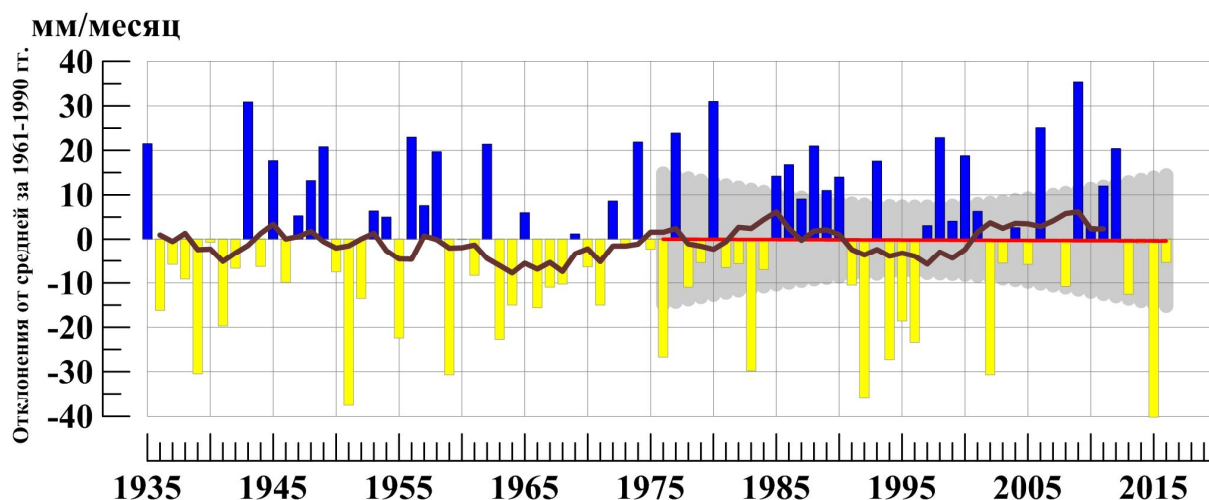


Рисунок 5 - Сезонные (июнь - август) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рис. 3

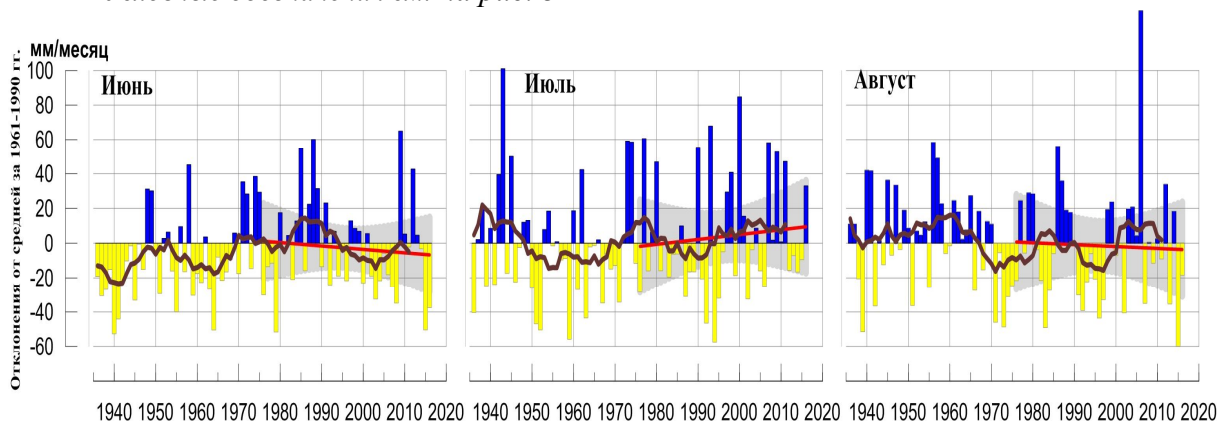


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

Таблица 4

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

	vT_{2016}	s	$P(t \leq T_{2016})$	RR_{2016}	vR_{2016}	s	$P(r \leq R_{2016})$
Лето	2.05	0.91	88.7	93	-5.4	15.9	48.8
Июнь	2.21	1.49	88.7	53	-37.5	28.1	7.5
Июль	2.28	1.38	80.0	139	33.0	30.3	81.3
Август	1.82	1.10	80.0	73	-18.4	26.9	30

Примечание: Аномалии νT_{2016} ($^{\circ}\text{C}$), νR_{2016} (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 1976-2016 гг. в среднем по Республике Беларусь

Сезон	Температура		Осадки	
	$b_{1976-2016}$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет	$D_{1976-2016}$ %	$b_{1976-2016}$ мм/мес/10лет	$D_{1976-2016}$ %
Лето	0.74	50	-0.2	0
Июнь	0.46	12	-2.0	1
Июль	0.99	41	2.8	1
Август	0.76	39	-1.1	0

ВЫВОДЫ

1. Лето в Беларуси было теплым, сезонная аномалия температуры, осредненная по территории республики $+2.05^{\circ}\text{C}$ – 10-ая положительная величина в ряду. В Минске и в Василевичах сезонные температуры были выше 95-го перцентиля.

2. Тепло было во все месяцы сезона. На всех станциях во все месяцы сезона аномалии температуры были положительные.

3. Наиболее теплые условия сложились в июне (аномалия температуры 2.21°C – десятая в ряду).

4. Осредненные по республике осадки 93%. На юге республики наблюдался дефицит осадков, на остальной территории республики количество выпавших осадков около нормы.

5. В июне осредненные по республике осадки 53% - седьмая среди наименьших величин, на всех станциях наблюдался дефицит осадков. Дефицит осадков наблюдался также и в августе (осредненные по республике осадки 73%), на большинстве станций наблюдался дефицит осадков. В июле на большинстве станций республики наблюдался избыток осадков.

6. В среднем по территории Беларуси отмечается тенденция к потеплению, как в среднем за сезон (линейный тренд составил $0.74^{\circ}\text{C}/10$ лет, ответствен за 50% дисперсии), так и в отдельные летние месяцы. Наибольшее потепление наблюдается в июле: тренд составил $+0.99^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 41% 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 1976-2016 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.