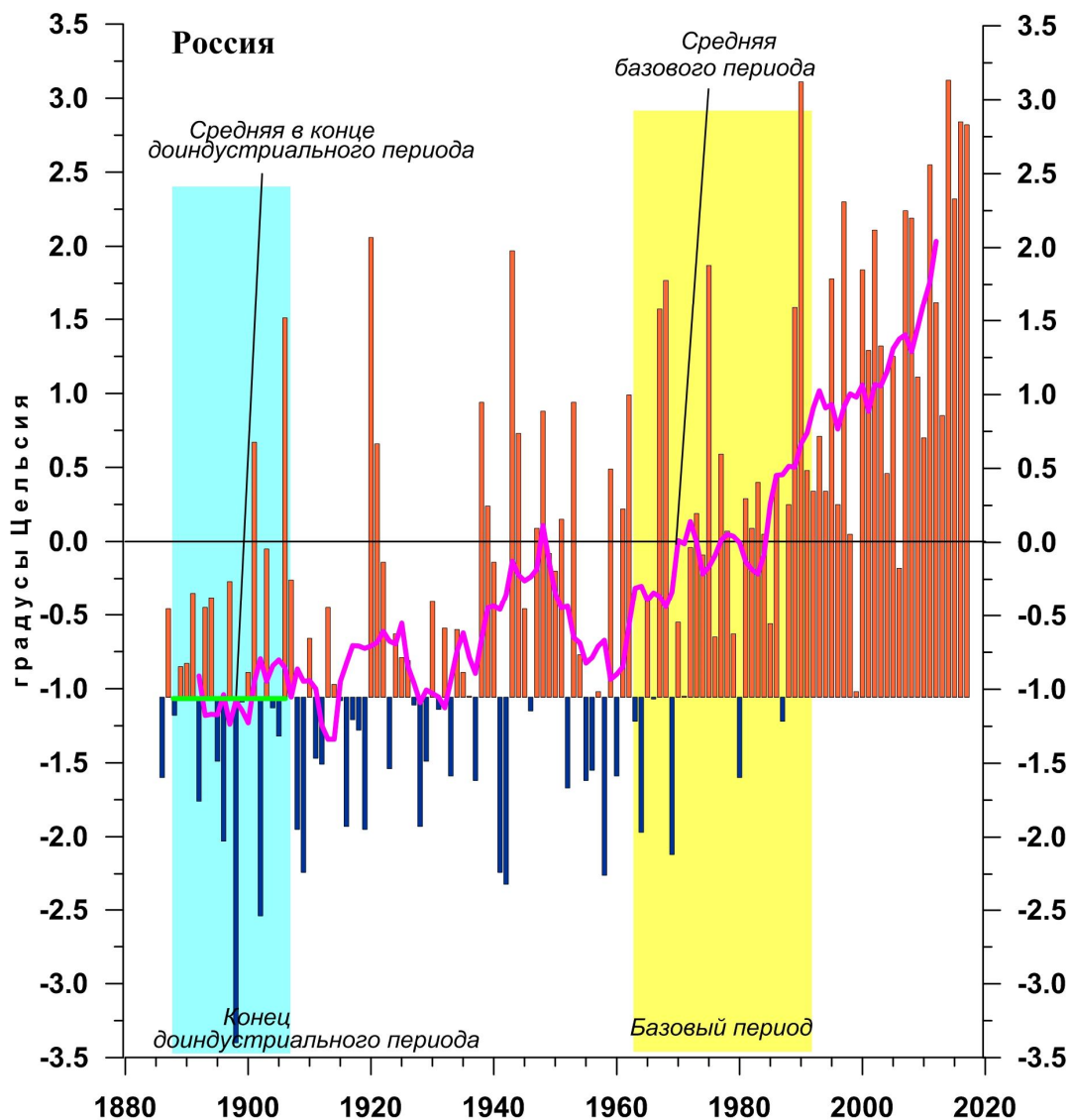


ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2017

ВЕСНА: март - май

Обзор состояния и тенденций изменения
климата России

★
Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (весенний сезон).....	6
2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕСНЫ 2017 г. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	7
3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ВЕСЕННИЙ СЕЗОН.....	14
4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ВЕСЕННЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ, 1936-2017 гг.....	19
5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2017 гг. (весенний сезон)	22
ВЫВОДЫ	25
ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности весны 2017 г. на территории Республики Беларусь	27

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2017 гг. (весна)
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 252 российских станций, по которым своевременно поступили сводки КЛИМАТ в оперативном потоке.

Под «нормой» в бюллетене понимается среднее многолетнее значение рассматриваемой климатической переменной за 1961-1990 гг. (базовый период). Аномалии температуры определяются как отклонения наблюденного значения от нормы. Аномалии осадков рассматриваются как в отклонениях от нормы (аналогично температуре), так и в процентах от нормы, то есть как процентное отношение количества выпавших осадков к соответствующему значению нормы. Вероятность 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.

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 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

* 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"

«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 (весенний сезон)

На рисунке 1.1 представлены временные ряды сезонных аномалий температуры у поверхности (весна 2017: март - май), 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 станционным 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.

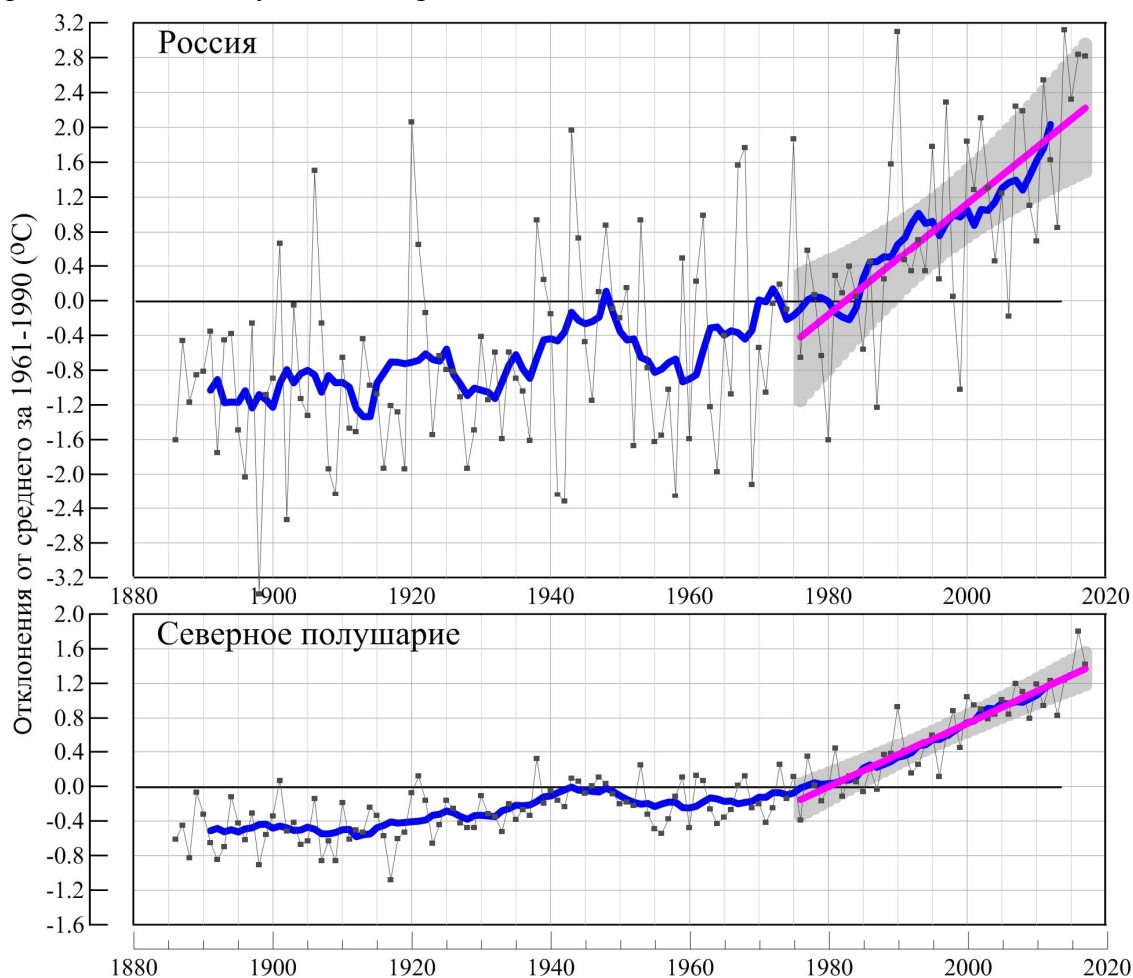


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (весна: март - май) температуры приземного воздуха, осредненная по Северному полушарию (суша) и территории России за 1886-2017 гг.

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. Используются данные Университета Восточной Англии (СП) и данные ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (Россия).

Аномалия температуры воздуха над сушей СП весной составила +1.42°C (при стандартном отклонении 0.18°C) – вторая положительная величина в ряду с 1886 г. Рекорд зафиксирован весной 2016 г.: +1.82°C.

Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила +2.82°C при величине стандартного отклонения 1.19°C – четвертая величина в ряду с 1886 г. (Рекорд зафиксирован весной 2014 года: +3.12°C).

Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений весенних температур за период 1976-2017 гг. в среднем для суши СП и России, приведены в табл. 1.1. Величина тренда средней по территории России весенней температуры более чем в полтора раза превосходит тренд средней по Северному полушарию. Сглаженная кривая на рис.1 показывает, что начало потепления на территории России и для СП в целом приходится на начало 1960-х гг.

Таблица 1.1

Сезонные (весна: март - май) аномалии температуры приземного воздуха относительно норм базового периода 1961-1990 гг. (°C), осредненные по суше СП и России и оценки линейного тренда за период 1976-2017 гг.

Регионы	νT_{2017}	$s_{1961-90}$	b , °C/10 лет	D %
СП	1.42	0.18	0.37	80
Россия	2.82	1.19	0.64	43

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

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕСНЫ 2017 ГГ. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России весны 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. Весной 2017 года осредненная аномалия по РФ составила 2.82°C – 4-я положительная величина в ряду.

Температуры выше климатической нормы практически всюду, кроме отдельных районов в Северо-Западном ФО и Приволжском ФО. Экстремальные условия (повсеместно 95%-е экстремумы) наблюдались в АЧР восточнее Енисея (за счет марта (особенно) и апреля). Осредненные аномалии по Сибирскому ФО (3.55°C) и Дальневосточному ФО (4.09°C) – третья и максимальная величины в соответствующих рядах.

В ряде районов Северо-Западного ФО и Приволжского ФО весенние аномалии температуры были отрицательными (но не менее -0.5°C) за счет аномально холодного мая и прохладного апреля.

Распределение средних сезонных температур на рис. 2.2 позволяет проследить рассмотренные особенности несколько под другим углом. Сезонные изотермы на ЕЧР

практически совпадают со своим климатическим положением, лишь на северо-востоке ЕЧР сезонные изотермы 0° и 5° смещены к северу на 1° - 3° . В АЧР сезонные изотермы смещены на север от своего климатического положения примерно на 5° C- 7° C.

Март - аномально теплый месяц: осредненная аномалия температуры по РФ 6.03° C – максимальная величина в ряду с 1936 года; на 64% станциях страны температуры были выше 95-го перцентиля. Осредненные аномалии температуры для всех регионов (кроме Прибайкалья и Забайкалья – ранг 6) попали в пятерку наивысших величин. На ЕЧР особенно тепло было в ЦФО, в АЧР экстремальные аномалии выше 95-го перцентиля наблюдались повсеместно севернее 60° с.ш. и превышали 13° C в Ямало-Ненецком (на станции Тазовское аномалия 13.6° C) и Таймырском АО (на станции Волочанка: 13.4° C).

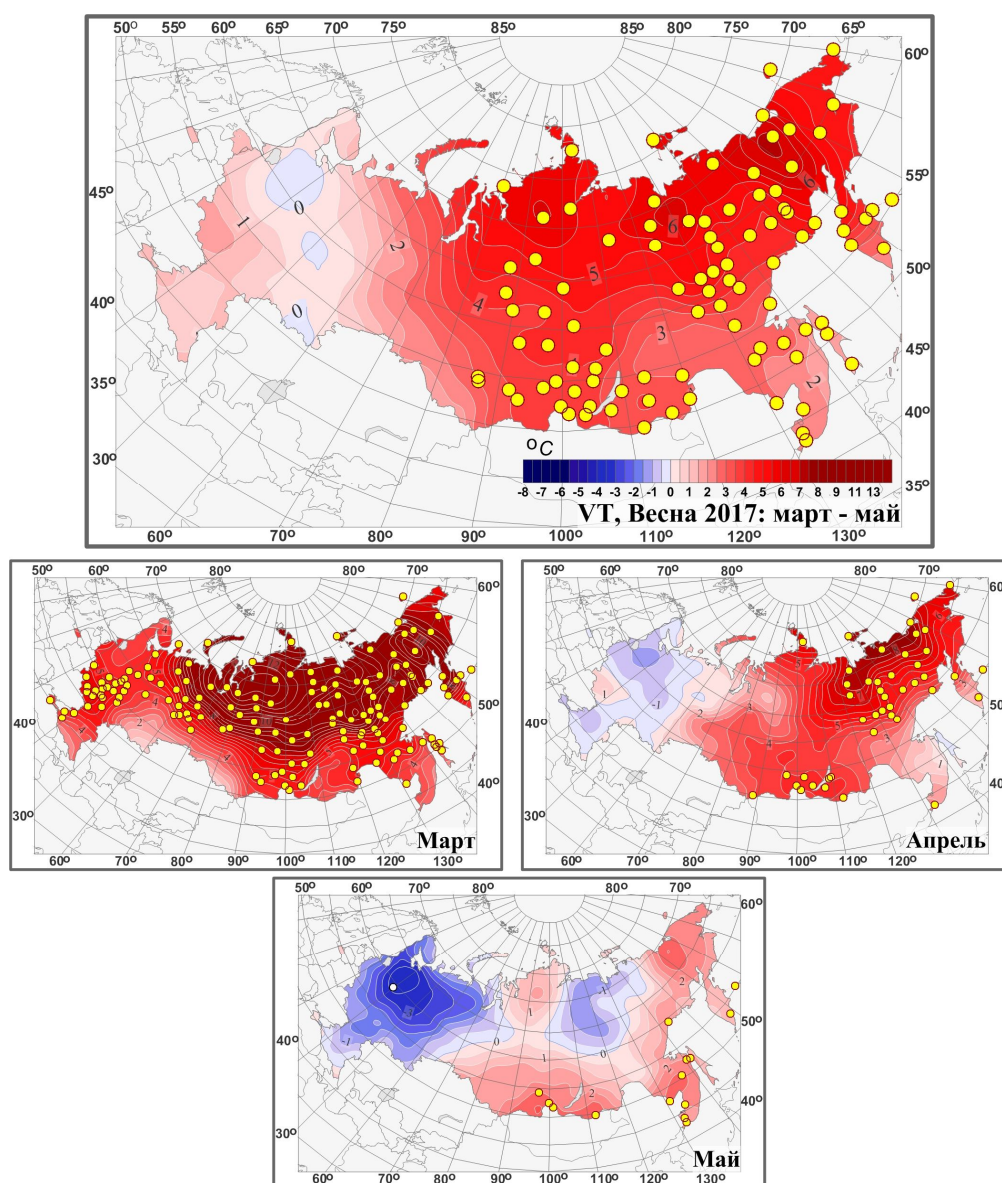


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}$ C) на территории России весной 2017 г. Кружками белого цвета показано местоположение станционных экстремумов ниже 5-го перцентиля, желтого – выше 95-го перцентиля. Аномалии рассчитаны как отклонения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

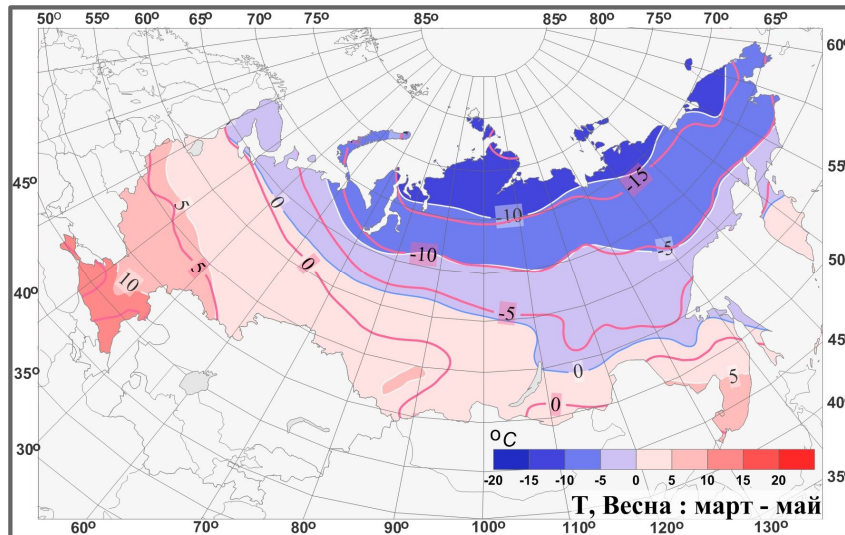


Рисунок 2.2 – Поля средней сезонной температуры приземного воздуха (°C) на территории России весной 2017 гг. Розовые изолинии: средние изотермы за период 1961-1990 гг.

Апрель. Осредненная по РФ аномалия температуры 2.32°C. Очень тепло на АЧР (2.32°C - ранг 6). Экстремально тепло (аномалии температуры выше 4°C, на станциях фиксировались 95-е экстремумы) в Прибайкалье и Забайкалье, в Восточной Сибири (4.79°C – ранг 1, наибольшая аномалия температуры зафиксирована на станции Чокурдах: 8.2°C).

На ЕЧР почти всюду (кроме Брянской, Курской, Орловской и Белгородской областей) температуры были ниже нормы, на ряде станций аномалии ниже -1°C (в Кирове: -1.3°C, в Петрозаводске: -1.2°C, в Элисте: -1.2°C).

Май – прохладный месяц в сезоне, осредненная по РФ аномалия температуры 0.12°C. Отрицательные аномалии температуры наблюдались всюду на ЕЧР (аномалия -1.89°C – здесь май среди девяти самых холодных в ряду, в Северо-Западном ФО аномалия 2.63°C – 8-я величина в ранжированном по возрастанию ряду, аномалии до -4.0°C (в Вологде)) и, далее, на западе Западной Сибири. Температуры ниже нормы наблюдались также на большей части Якутии (аномалии до -1.6°C).

Тепло, местами экстремально (на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы, аномалии температуры около 2.0°C на большей части Сибирского ФО и в восточных районах Дальневосточного ФО; самая большая аномалия температуры зафиксирована на станция Орлик (республика Бурятия): +3.0°C).

Атмосферные осадки. В целом за сезон осредненные по территории РФ осадки составили 119% нормы – четвертая величина в ряду.

Значительный избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался на большей части ЕЧР и в центральных районах АЧР (116% нормы – ранг 5); на многих станциях этих районов осадков выпало более 95-го перцентиля или более полутора норм (на станции Печера: 196%), избыток осадков наблюдался во все месяцы сезона, особенно в апреле и в мае.

Сильный дефицит осадков наблюдался на Чукотке: на многих станциях наблюдались 5%-е экстремумы, на станции Уэлен выпало лишь 15% нормы (дефицит осадков наблюдался во все месяцы, особенно в марте и в мае). Дефицит осадков наблюдался также на побережье Северного Ледовитого океана от Новой Земли до дельты Лены (за счет мая); на Алтае, в Саянах, в горах Забайкалья (за счет марта); в Приморье, на Сахалине (за счет мая); вдоль побережья Охотского моря (за счет апреля).

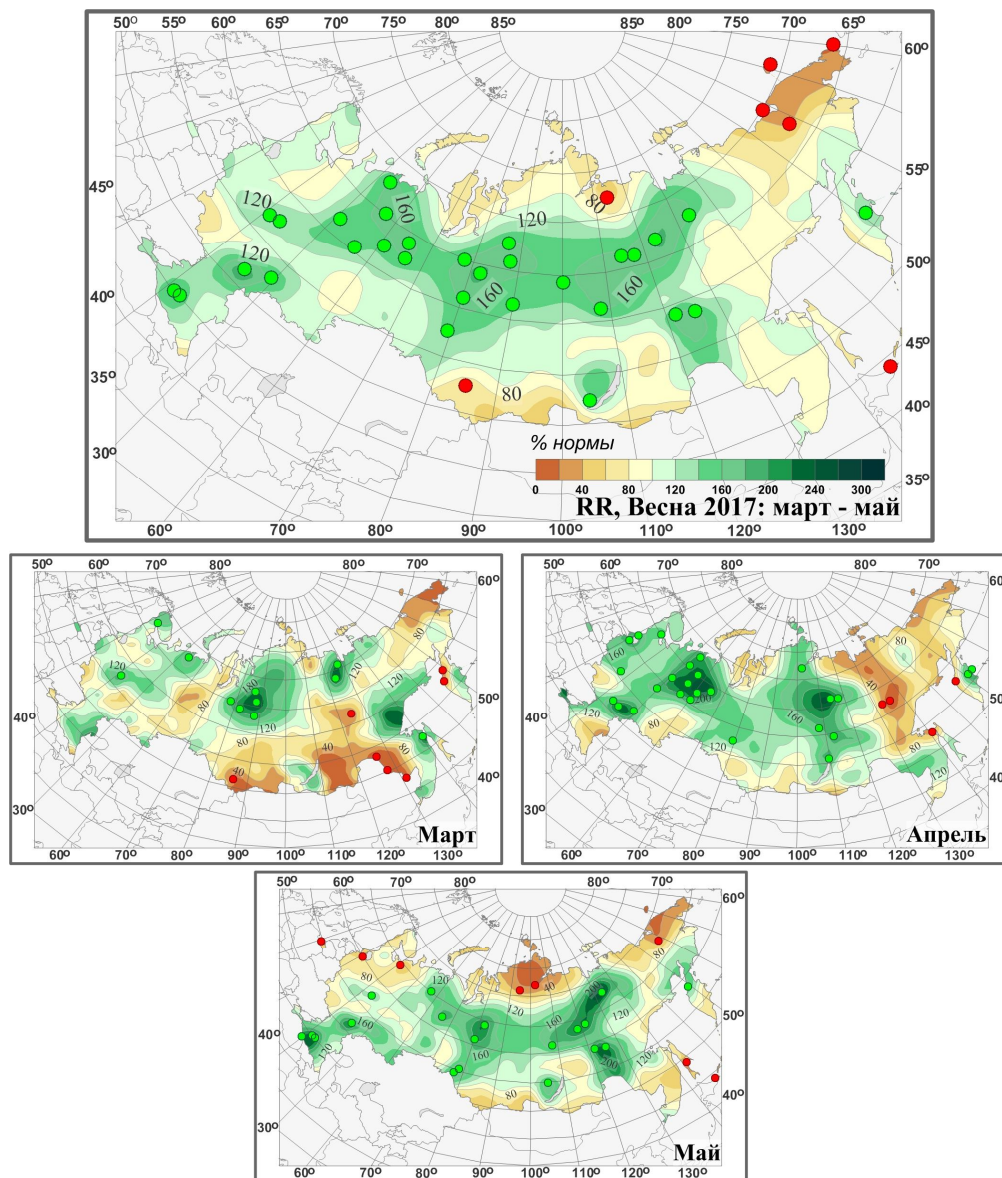


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России весной 2017 г. (март – май). Кружками красного цвета показаны стационарные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

Март. Осредненные по РФ осадки 106% нормы.

Избыток осадков (более 160%) наблюдался на севере Сибирского ФО (на ряде станций выпало около двух норм осадков или более 95-го перцентиля), в нижнем течении Лены (на станции Джарджан выпало 267% нормы), в Хабаровском крае и в Приморье. В ЕЧР избыток осадков (более 120%) наблюдался в ряде районов юга, центра и севера, на нескольких станциях фиксировались 95%-е перцентили.

Сильный дефицит осадков наблюдался на юге Сибирского ФО, в Амурской области (на многих станциях осадков не выпало совсем или наблюдались 5-е экстремумы); а также на Чукотке и ряде районов Камчатской области.

Апрель. Осредненные по РФ осадки: 123% нормы – 6-я величина в ряду.

Избыток осадков наблюдался на значительной части страны от западных границ до течения Лены (за исключением ряда южных областей, Новой Земли, Обской губы). Экстремальный избыток осадков (более 160% нормы, 95-е экстремумы на станциях) наблюдался на большей части ЕЧР (137% - ранг 4), особенно в Северо-Западном ФО (165% нормы – ранг 2), на Среднем Урале (на станции Няксимволь Ханты-Мансийского АО выпало 272% нормы); на большей части Красноярского края (281% нормы на станции Шелагонцы); на востоке Камчатки.

Сильный дефицит осадков (менее 60%) наблюдался восточнее Лены (на станциях Якутии: Верхоянск, Чурапча и Охотский Перевоз осадков не выпало вообще). Осадков меньше нормы выпало в Курской области, в Северо-Кавказском ФО, на Южном Урале, на Алтае и Саянах.

Май. Осредненные по РФ осадки: 123% нормы – пятая величина в ряду.

Значительный избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался в южных и северо-восточных районах ЕЧР (в Северо-Кавказском ФО: 183% - ранг 1) и, далее, в центральных районах АЧР (125% нормы - ранг 5, особенно, в Средней Сибири 147% - ранг 3). На ряде станций этих районов выпало более двух норм осадков (более 95-го перцентиля), в ЕЧР на станции Октябрьский городок выпало 352% нормы (159 мм/месяц), в Армавире: 269% (184 мм/месяц); в АЧР в Верхоянске: 340% нормы, в Алдане: 276% (157 мм/месяц).

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на северо-западе ЕЧР, на Новой Земле, на севере АЧР от Ямала до Чукотки (кроме дельты Лены). На нескольких станциях этих районов наблюдались 5%-е экстремумы: в Санкт-Петербурге (34% нормы), в Архангельске (36%), на станциях Волочанка (21%) и Хатанга (11%) Таймырского АО, на станции Илирней Чукотского ОА (осадков не выпало вообще). Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался также на Алтае и в Саянах, в горах Забайкалья, в Приморье, на Сахалине.

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены регионально осредненные аномалии температуры и осадков, рассчитанные по значениям станционных аномалий весеннего 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 перцентиль, 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 1936-2016 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, весна для России в целом (см. табл. 2.1) была четвертой среди теплых лет в ряду наблюдений с 1936 года, аномалия температуры составила +2.82°C. Осредненная по АЧР сезонная аномалия +3.69°C – максимальная величина в ряду. Осредненные по всем регионам и федеральным округам АЧР аномалии (кроме региона Западная Сибирь и Уральского ФО) среди четырех самых крупных.

Из месяцев сезона особо выделяется март – аномалия 6.03°C – максимальная величина в ряду, осредненные по всем регионам и федеральным округам РФ аномалии – среди восьми самых крупных, а в Западной Сибири (Уральский ФО) и Восточной Сибири (Дальневосточный ФО) такие высокие осредненные по регионам аномалии отмечаются впервые.

В апреле экстремально тепло в Восточной Сибири: аномалия 4.79°C – максимальная величина в ряду (в Дальневосточном ФО: 3.85°C - ранг 2).

В мае осредненная по ЕЧР аномалия: -1.89°C – май здесь среди девяти самых холодных.

Таблица 2.1

Регионально осредненные аномалии температуры весной 2017 г.

Регионы	νT_{2017}	$s_{1961-90}$	$P(t \leq T_{2017})$
Российская Федерация	2.82	1.19	96.3
Физико-географические регионы России			
Европейская часть России	0.65	1.44	67.9
Азиатская часть России	3.69	1.24	100
Западная Сибирь	2.70	1.62	87.7
Средняя Сибирь	4.38	1.66	96.3
Прибайкалье и Забайкалье	3.40	1.39	100
Приамурье и Приморье	2.46	1.15	96.3
Восточная Сибирь	4.86	1.23	100
Федеральные округа РФ			
Северо-Западный	0.59	1.54	59.3
Центральный	1.04	1.68	72.8
Приволжский	0.36	1.70	59.3
Южный	1.03	1.47	77.8
Северо-Кавказский	0.75	0.96	74.1
Уральский	2.56	1.75	86.4
Сибирский	3.55	1.47	97.5
Дальневосточный	4.09	1.23	100

Примечание: 1. Аномалии vT_{2017} ($^{\circ}C$) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s ($^{\circ}C$) – 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. **Таблица 2.1.1**
Регионально осредненные аномалии температуры в весенние месяцы.

Регионы	Март			Апрель			Май		
	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	6.03	2.07	100	2.32	1.40	87.7	0.12	0.89	45.7
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	4.14	2.54	97.5	-0.30	1.99	48.1	-1.89	1.59	9.9
Азиатская часть России	6.79	2.18	100	3.36	1.56	93.8	0.93	1.24	67.9
Западная Сибирь	5.53	2.84	100	2.28	2.49	71.6	0.30	1.77	48.1
Средняя Сибирь	8.78	3.12	98.8	3.98	2.05	91.4	0.39	1.20	50.6
Прибайкалье и Забайкалье	4.62	2.57	93.8	3.74	1.78	93.8	1.83	1.08	90.1
Приамурье и Приморье	4.34	1.93	97.5	1.33	1.49	85.2	1.69	1.05	93.8
Восточная Сибирь	8.53	2.12	100	4.79	1.58	100	1.29	1.16	75.3
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	4.90	3.20	95.1	-0.51	2.00	33.3	-2.63	1.89	8.6
Центральный	5.06	2.81	98.8	-0.05	2.09	50.6	-1.88	2.10	21.0
Приволжский	3.12	2.83	90.1	-0.19	2.55	49.4	-1.84	1.81	19.8
Южный	4.19	2.62	95.1	-0.26	2.14	54.3	-0.83	1.54	35.8
Северо-Кавказский	2.79	1.91	91.4	-0.28	1.61	50.6	-0.27	1.12	43.2
Уральский	7.00	3.30	100	1.51	2.74	59.3	-0.83	1.93	18.5
Сибирский	5.76	2.76	98.8	3.41	1.99	90.1	1.48	1.02	81.5
Дальневосточный	7.52	2.04	100	3.85	1.47	98.8	0.93	1.09	69.1

Весна (табл. 2.2) в РФ в целом была экстремально влажной, количество выпавших осадков составило 119% нормы – четвертая величина в ряду. Весенние осадки, осредненные по АЧР: 116% нормы – пятая величина в ряду (особенно много осадков выпало в Средней Сибири (137% - ранг 1)).

Из месяцев следует отметить май. В АЧР выпало 125% нормы осадков – ранг 5, особенно много осадков выпало в Средней Сибири: 147% - ранг 3. Следует отметить Северо-Кавказский ФО: в мае выпало 183% - ранг 1.

В апреле в ЕЧР выпало 137% нормы – ранг 4, особенно много осадков выпало в Северо-Западном ФО: 165% - ранг 2 (больше всего осадков здесь выпало лишь в 1966 году: 178% нормы).

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков весной 2017 г.

Регионы	vR_{2017}	RR_{2017}	m	$m-q1$	$q3-m$	$P(r \leq R_{2017})$
Российская Федерация	5.2	119	-0.1	1.6	2.2	96.3
Физико-географические регионы России						
Европейская часть России	8.5	123	-0.3	2.9	2.2	91.4
Азиатская часть России	3.9	116	0.3	1.9	1.6	95.1
Западная Сибирь	7.7	127	0.6	4.5	3.3	92.6
Средняя Сибирь	7.8	137	-0.2	1.7	2.1	100

Прибайкалье и Забайкалье	-0.1	100	0.2	2.6	1.3	38.3
Приамурье и Приморье	-0.4	99	-0.2	4.5	4.3	48.1
Восточная Сибирь	-0.1	99	-0.6	2.0	2.9	55.6
Федеральные округа РФ						
Северо-Западный	7.8	123	-1.2	1.8	5.6	91.4
Центральный	5.3	114	1.0	7.0	4.0	66.7
Приволжский	7.0	121	0.7	5.9	3.8	76.5
Южный	13.7	136	-0.7	5.1	6.7	88.9
Северо-Кавказский	17.6	132	2.2	3.9	9.2	92.6
Уральский	10.9	138	0.2	4.5	2.8	93.8
Сибирский	3.5	115	0.0	1.5	2.5	87.7
Дальневосточный	2.0	108	-0.6	0.6	1.8	76.5

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 1936-2016 гг. и выражены в %. Выделены экстремальные значения, попавшие в 5% максимальных.

Таблица 2.2.1

Регионально осредненные аномалии осадков в весенние месяцы.

Регионы	Март			Апрель			Май		
	vR_{2017}	RR_{2017}	$P(r \leq R_{2017})$	vR_{2016}	RR_{2016}	$P(r \leq R_{2016})$	vR_{2016}	RR_{2016}	$P(r \leq R_{2016})$
Российская Федерация	1.2	106	51.9	6.1	123	93.8	8.4	123	95.1
Физико-географические регионы России									
Европейская часть России	4.2	114	61.7	13.3	137	96.3	7.9	118	66.7
Азиатская часть России	0.0	100	32.1	3.1	113	86.4	8.6	125	95.1
Западная Сибирь	-2.2	88	73.8	10.0	137	91.3	15.9	140	92.6
Средняя Сибирь	3.2	123	81.5	0.6	131	58.7	14.5	147	97.5
Прибайкалье и Забайкалье	-3.2	64	8.6	7.4	115	91.3	0.2	101	43.2
Приамурье и Приморье	-3.1	84	32.1	9.8	97	88.7	2.8	105	50.6
Восточная Сибирь	2.8	119	65.4	-7.3	70	11.2	1.7	107	71.6
Федеральные округа РФ									
Северо-Западный	6.6	123	76.5	21.2	165	98.8	-4.2	90	27.2
Центральный	4.8	115	63.0	12.2	132	84.0	-1.0	98	39.5
Приволжский	1.2	104	51.9	12.4	138	84.0	7.2	118	60.5
Южный	4.8	115	58.0	5.7	116	69.1	30.5	167	93.8
Северо-Кавказский	5.5	112	65.4	-6.7	88	40.7	54.0	183	100
Уральский	-0.5	98	33.3	13.4	148	92.6	19.9	152	93.8
Сибирский	0.0	100	53.1	4.8	122	77.8	5.8	116	82.7
Дальневосточный	0.2	101	51.9	-1.5	93	60.5	7.2	122	87.7

3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ВЕСЕННИЙ 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 весеннего сезона в целом и для каждого из месяцев весны.

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 весеннего сезона на территории России с 1976 г.

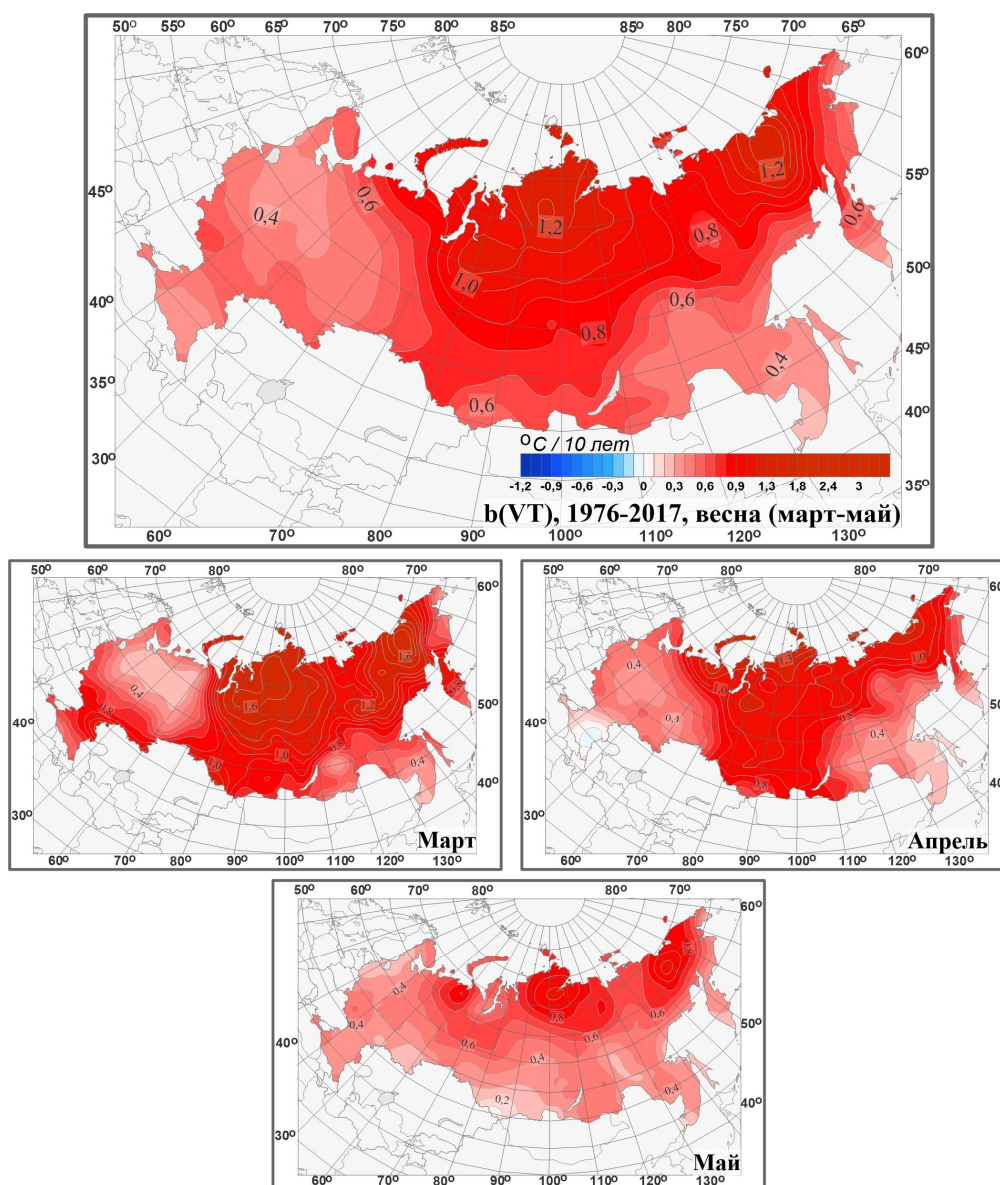


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры (°C/10 лет) на территории России по данным за 1976-2017 (весна)

Весенние температуры растут на всей территории страны. Наиболее значительный рост температуры наблюдается на севере Западной и Средней Сибири (до +1.4°C/10 лет на Таймыре), в Чукотском АО (до +1.5°C/10 лет вблизи побережья Восточно-Сибирского моря). На большей части ЕЧР, юге Якутии, в Приамурье и в

Приморье, на Сахалине весенние температуры растут значительно слабее (до $+0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет). Рост температуры наблюдается во все месяцы сезона практически на всей территории РФ.

Наибольший рост температуры наблюдается в марте: в Западной и Средней Сибири (до $+1.7^{\circ}\text{C}/10$ лет), а также на северо-востоке (до $+2.0^{\circ}\text{C}/10$ лет), в апреле: на севере страны (до $+1.3^{\circ}\text{C}/10$ лет), в мае: на севере Средней Сибири и на Чукотке (до $+1.2^{\circ}\text{C}/10$ лет).

В марте на севере европейской части страны наблюдается область, где потепление очень мало: до $0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет (в оценках за период 1976-2016 гг. в этой области потепления практически нет: значения коэффициента линейного тренда на станциях этой области от $-0.0^{\circ}\text{C}/10$ лет до $0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет). В апреле на территории Северо-Кавказского ФО наблюдается слабое похолодание.

В изменении весенних сумм осадков (рис. 3.2) преобладает тенденция к росту: почти на половине территории более $5\%/10$ лет. Наиболее интенсивный рост осадков (более $10\%/10$ лет) наблюдается в Прикаспийской низменности, на Южном Урале, на востоке Якутии, в бассейне Анадыря. Рост осадков на большей части территории РФ наблюдается во все весенние месяцы.

В *марте* на большей части РФ наблюдается существенный рост осадков. Наиболее интенсивный рост (более $20\%/10$ лет) происходит на юге и юго-востоке ЕЧР, на юге Западной и Средней Сибири; вдоль побережья морей Тихого океана. Уменьшение осадков наблюдается в верхнем течении Амура (незначительное).

Характерной особенностью изменения *апрельских* осадков является наличие нескольких крупных областей убывания осадков. Осадки убывают на большей части европейской России, особенно в юго-западных районах (до $-10\%/10$ лет); в Амурской области наблюдается более значительное убывание (до $-20\%/10$ лет); осадки также убывают на севере Сибири вдоль моря Лаптевых, в западных районах Чукотского АО и Камчатского края (до $-10\%/10$ лет). На западном побережье Каспийского моря, на Северном Урале и в нижнем течении Оби и Енисея (здесь область увеличения осадков значительно расширилась по сравнению с оценками 1976-2016 гг.), на Алтае, в Якутии, на востоке Чукотки наблюдается значительный рост (более $10\%/10$ лет).

В *мае* преобладает тенденция роста осадков, но не такая сильная как в марте. В ряде областей Центрального ФО, в ряде областей АЧР, в особенности на Камчатке, в Магаданской области, на востоке Чукотки в мае наблюдается уменьшение осадков. По сравнению с оценками 1976-2016 гг. уменьшилась интенсивность убывания осадков в нижнем и среднем течении Оби.

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

Тренд средней по России весенней температуры за период 1976-2017 гг. положителен: он составляет $0.64^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 43% межгодовой изменчивости: тренд значим на 1%-м уровне, как и тренды мартовских, апрельских и майских температур. В марте с начала 1990-х гг. наблюдается замедление роста температуры (сглаженная кривая на рис. 3.3).

Таблица 3.1

Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха и суммы осадков, осредненных по территории России и за весенний 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>b</i> , %/10 лет	<i>D</i> , %
Весна	0.64	43	1.6	6.0	35
Март	0.83	21	2.1	11.3	28
Апрель	0.64	24	0.7	2.7	5
Май	0.46	39	2.0	5.7	22

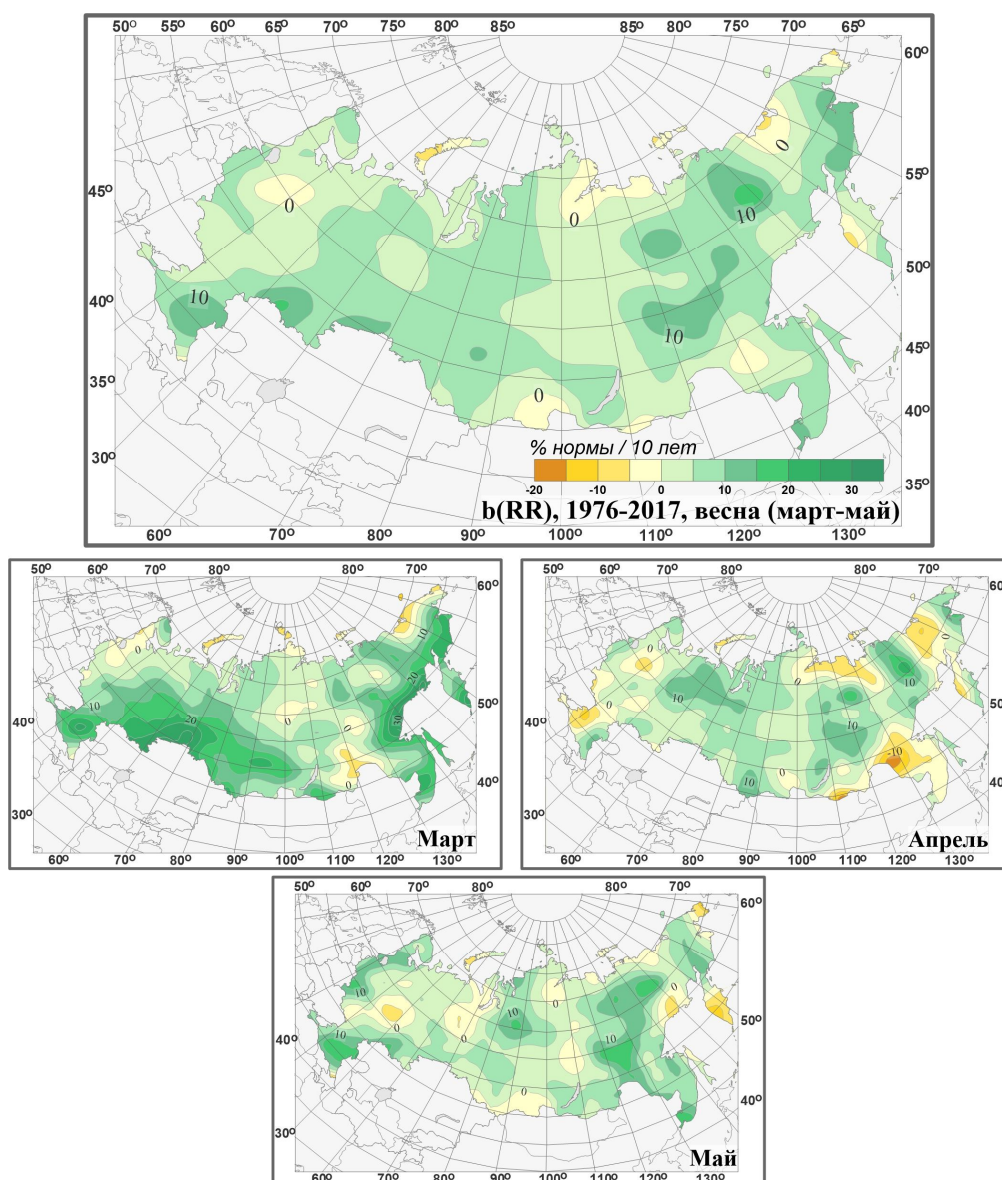


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы /10 лет) на территории России по данным за 1976-2017 (весна).

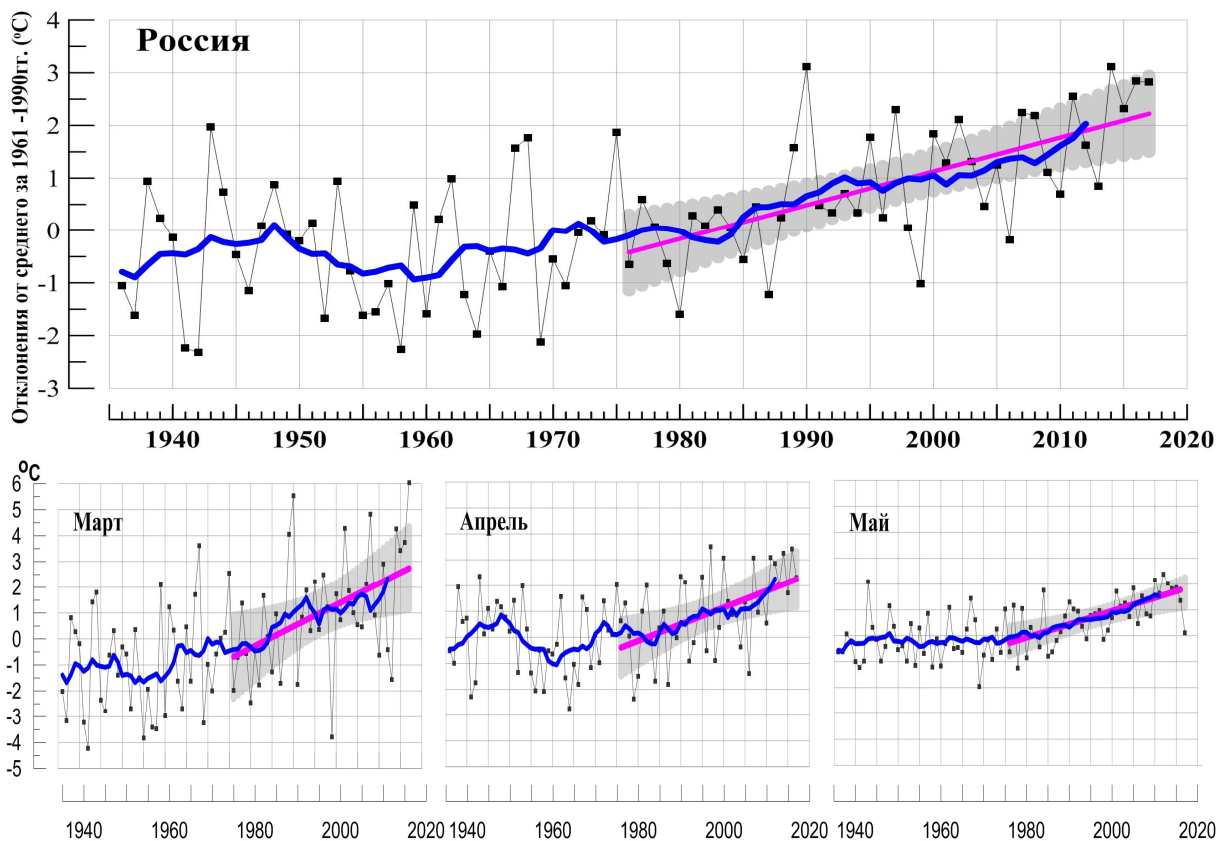


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха (°C) осредненная по территории РФ.

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.

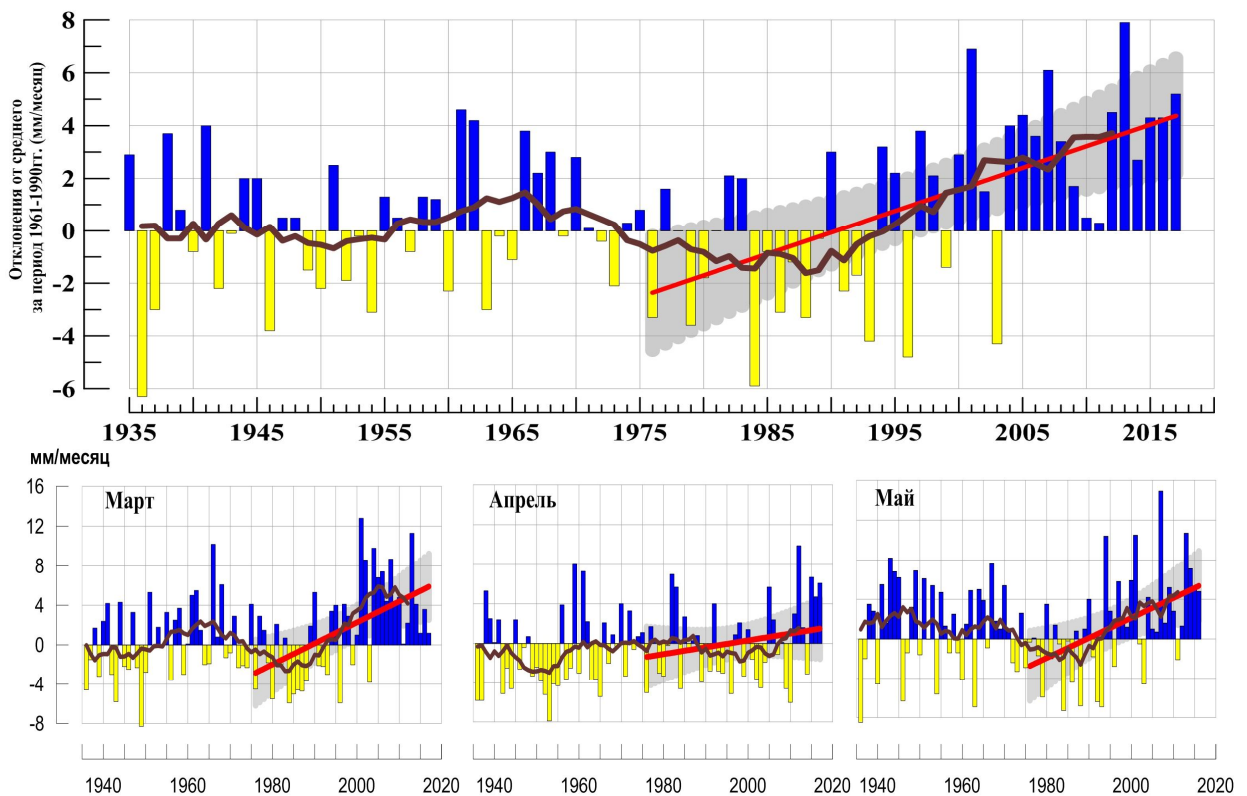


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/мес).

Тренд сезонных сумм осадков составляет 6.0%/10 лет и объясняет 35% межгодовой изменчивости. Рост осадков происходит в марте и мае, начало его относится ко второй половине 1980-х гг. Хотя сезонный, а также мартовский и майский тренды значимы на 1%-м уровне, т.е. можно утверждать достаточно определенно, что осадки растут в рассматриваемый период, общий характер изменения осадков (выраженные долгопериодные колебания с периодами в несколько десятилетий) дает основание для альтернативы: рост осадков является тенденцией, связанной с глобальным потеплением, либо это возрастающая фаза естественного долгопериодного колебания.

4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ВЕСЕННЕГО 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) весеннего 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.

Таблица 4.1

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

Регионы	Температура		Осадки		
	b °C/10 лет	D , %	b мм/мес/10 лет	b , %/10 лет	D , %
Россия	0.64	43	1.6	6.0	35
Физико-географические регионы России					
Европейская часть России	0.46	23	1.8	5.0	17
Азиатская часть России	0.72	41	1.6	6.4	33
Западная Сибирь	0.74	30	2.3	8.0	30
Средняя Сибирь	0.83	35	1.3	6.2	31
Прибайкалье и Забайкалье	0.60	25	0.8	3.9	6
Приамурье и Приморье	0.37	17	2.2	5.7	9
Восточная Сибирь	0.80	39	1.2	6.1	22
Федеральные округа РФ					
Северо-Западный	0.47	17	1.4	4.0	10
Центральный	0.49	21	1.7	4.3	6
Приволжский	0.47	18	1.9	5.7	9
Южный	0.48	21	2.2	5.7	10
Северно-Кавказский	0.35	20	3.1	5.6	10
Уральский	0.72	25	2.3	8.2	25
Сибирский	0.74	35	1.3	5.6	19
Дальневосточный	0.69	38	1.5	6.4	33

В таблице 4.1 приведены оценки линейных трендов регионально осредненных значений температуры и осадков за 1976-2017 гг. для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. Во всех регионах в среднем за период 1976-2017 гг. наблюдается рост температуры: тренды значимы на 1%-м уровне для всех регионов. Для большинства регионов (рис. 4.1) начало потепления можно отнести к 1960-м годам, хотя начало глобального потепления, связываемого с ростом индустриальных выбросов парниковых газов, относится к середине 1970-х гг. По-видимому, эти региональные отличия следует связывать с долгопериодными колебаниями в системе океан-атмосфера, которые, накладываясь на глобальный тренд, дают несколько отличающуюся картину изменений. Во многих регионах в конце 20-го – начале 21-го столетия весенние температуры оставались примерно постоянными (некоторое замедление потепления), затем рост температуры возобновился.

По сравнению с периодом 1976-2016 гг. во всех регионах и федеральных округах АЧР из-за аномально теплой весны наблюдается увеличение трендов на 0.03°C - $0.07^{\circ}\text{C}/10$ лет.

В изменениях осадков (рис. 4.3, 4.4, 4.5) для физико-географических регионов и Федеральных округов РФ выражены колебания с периодами в несколько десятилетий. В последние десятилетия во всех регионах наблюдается рост весенних осадков, в ряде регионов – значимый на 1%-м уровне (ЕЧР, Западная, Средняя и Восточная Сибирь; Уральский, Сибирский и Дальневосточный ФО).

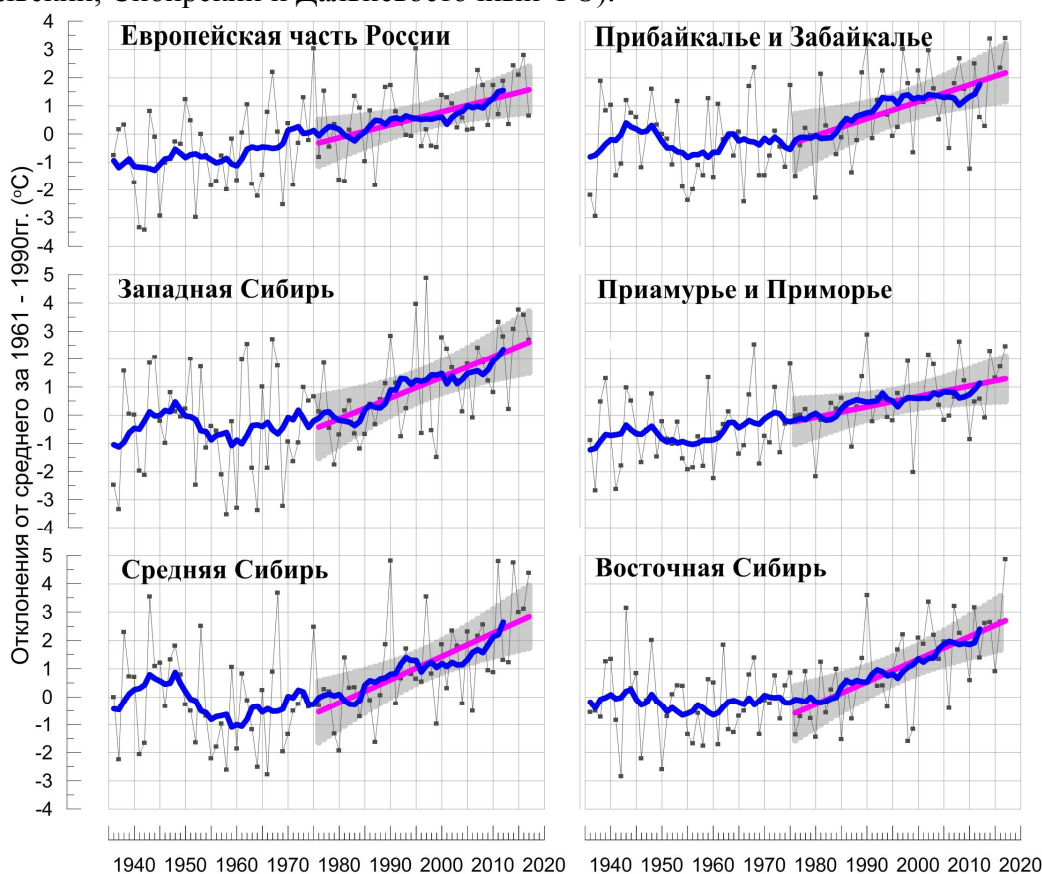


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, весна 2017 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен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

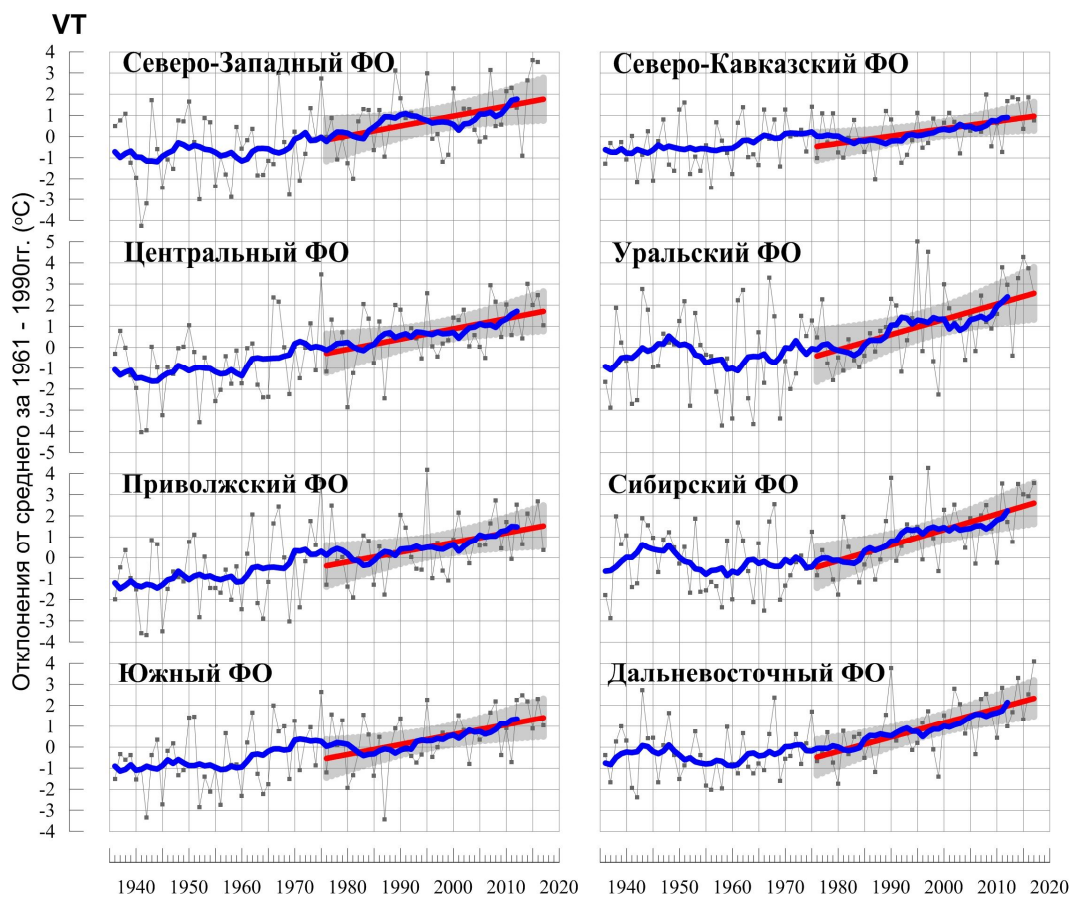


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

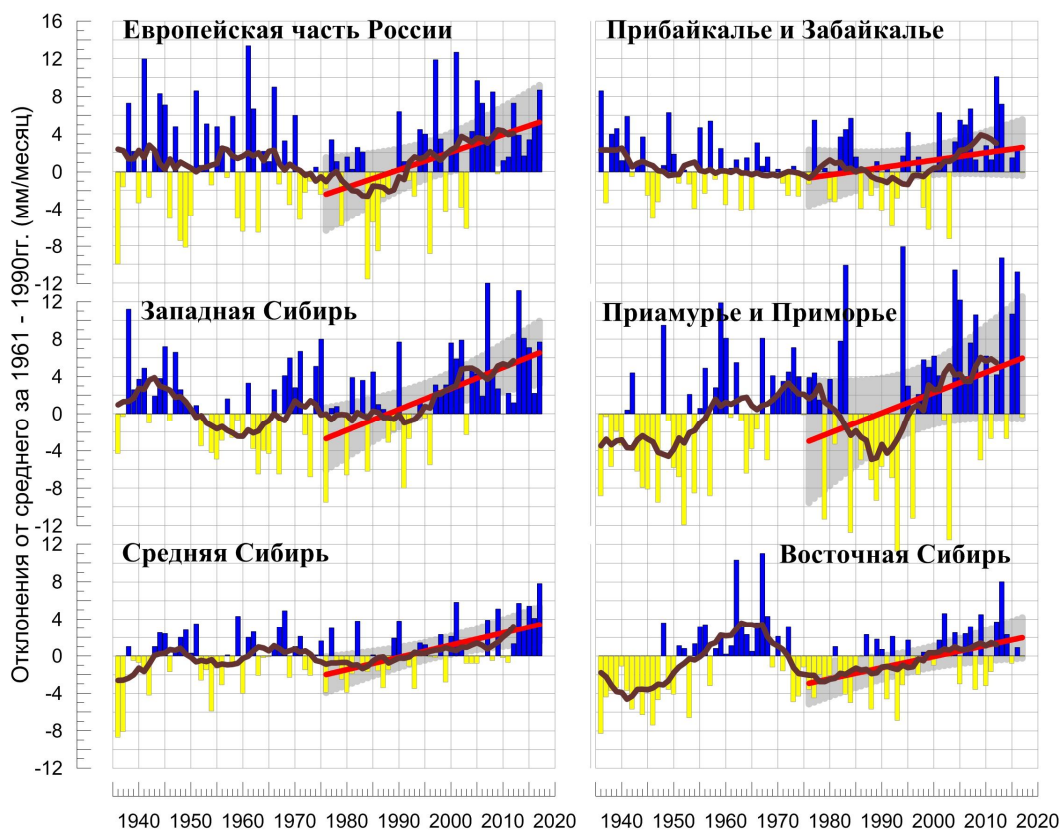


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, весна 2017гг.

Условные обозначения см. на рис. 4.1.

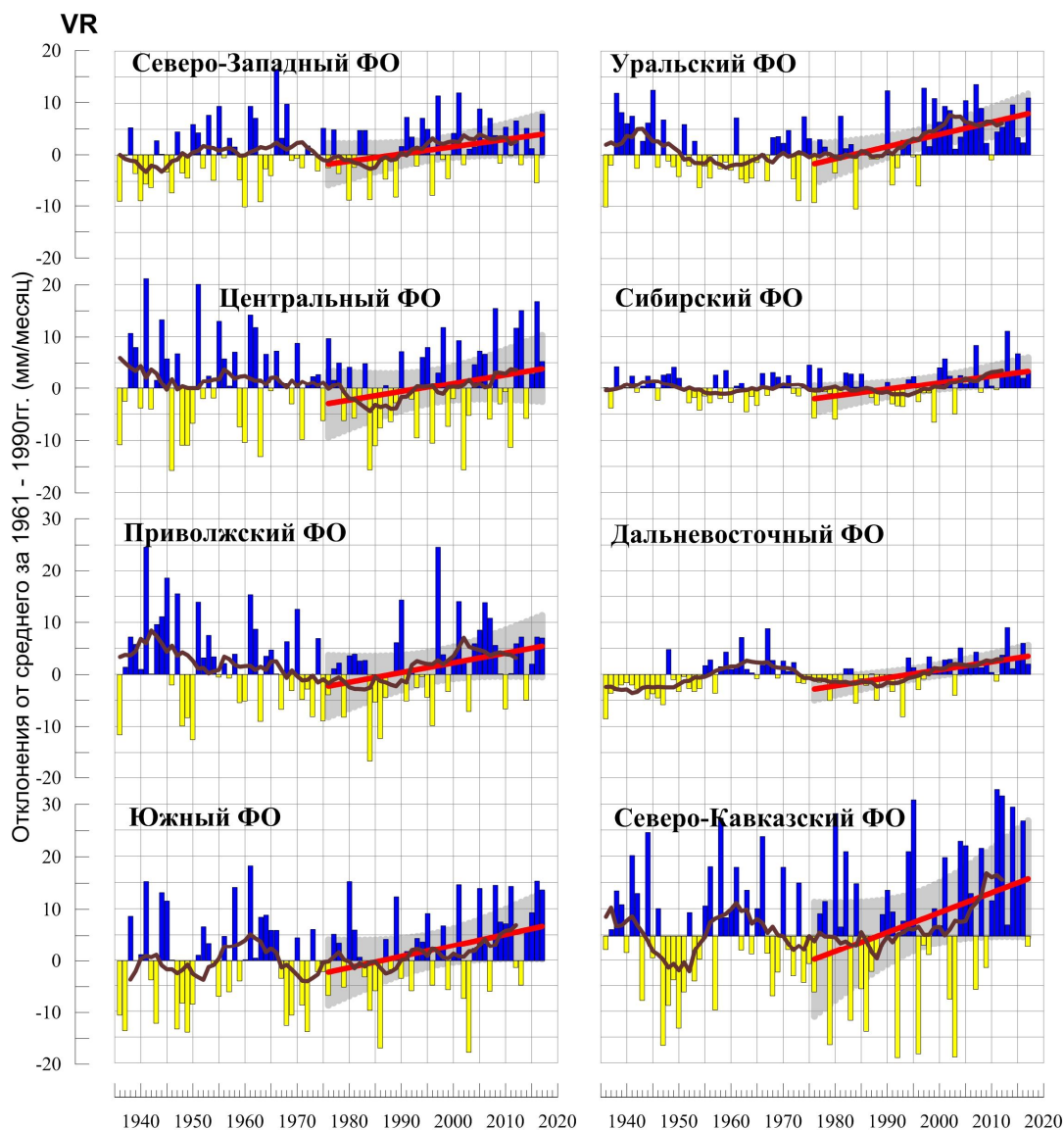


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

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

В разделе приведены некоторые индексы экстремальности и аномальности для весеннего 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 непревышения ниже 20% и выше 80%), а также экстремальными (абсолютная величина превосходит 2 стандартных отклонения) аномалиями температуры.

Температура. Весной 2017 г. (рис. 5.1) площадь, занятая крупными положительными аномалиями (выше 80-го перцентиля) составила 67% - седьмая величина в ряду. Площадь, занятая аномалиями меньше 20-го перцентиля весной 2017 года составила 1%. С 1976 г. (начало глобального потепления) наблюдается увеличение площади под крупными положительными аномалиями, тренд за период 1976-2017 составляет 14,7%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 40%).

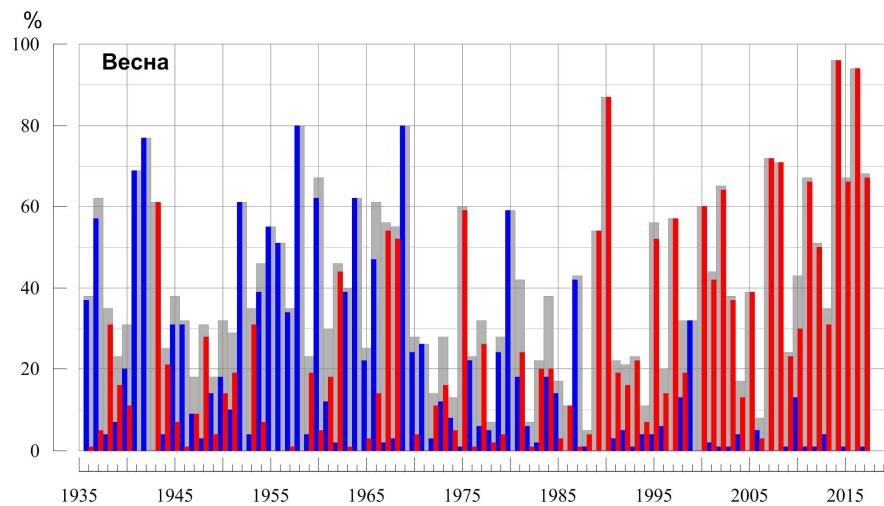


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2017 гг. (весна):

— 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 2σ и ниже -2σ) аномалиями сезонной температуры (в предположении гауссовости распределения это соответствует вероятности примерно 2.3% процента для каждого хвоста распределения). На графике хорошо прослеживаются весны, когда на значительной территории наблюдались экстремальные отрицательные аномалии: 1941 (22% площади занято экстремально холодными аномалиями), 1937 (19%), 1945 (15%), 1958 (10%), 1966 (10%). С конца 1980-х гг. преобладают положительные экстремумы.

Весной 2017 года площадь под экстремумами тепла (выше 2σ) составила 23% территории страны – четвертая величина с 1936 года (после рекордной весны 1990 г. (35% площади), весны 1997 (26%) и весны 1995 (24%). Весной 2017 г. площадь под экстремумами холода (ниже -2σ) не наблюдалась.

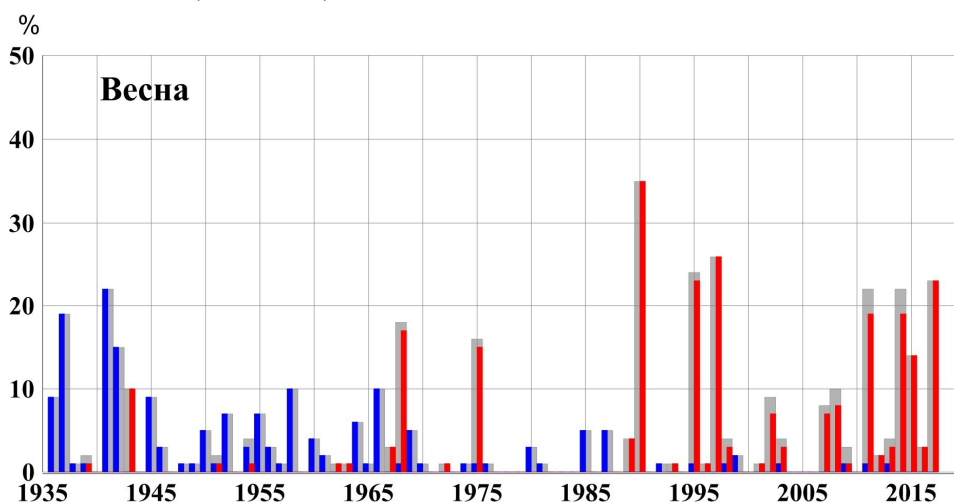


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры весной, 1936-2017 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

Индекс аномальности Багрова (рис. 5.3) весной 2017 года равен двум – это 2-4 величина в ряду (такое же значение индекса было весной 1990 г., 2014 г., максимальное значение индекса наблюдалось в 1898 г. (2.4)). Анализ индекса аномальности Багрова показывает, что с начала 1980-х гг. аномальность температурного режима на территории РФ в весенний сезон растет – тренд за период 1976-2017 гг. составил 0.20 / 10 лет и объясняет 30% общей дисперсии ряда.

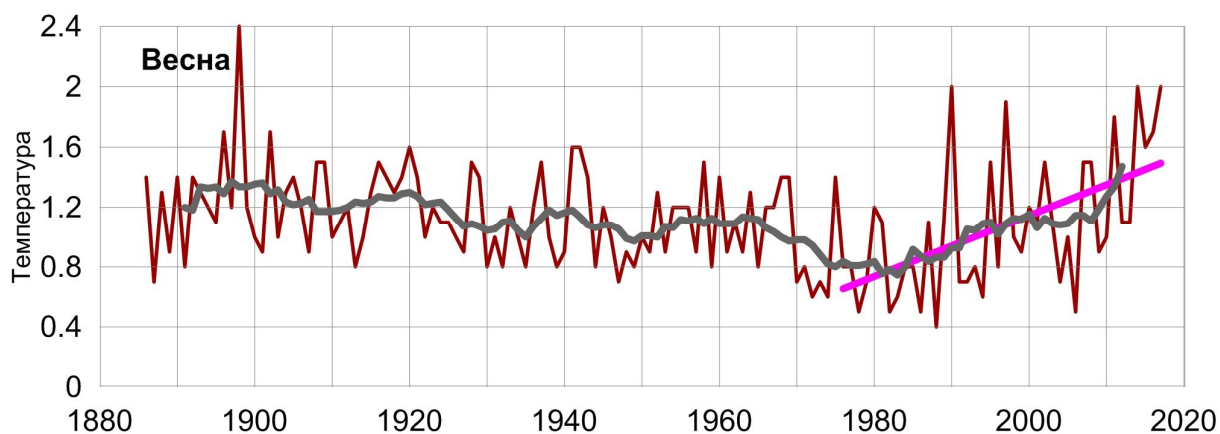


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России весной 1886-2017 гг.

Осадки. Весной 2017 г. площадь, занятая крупными аномалиями выше 80 перцентиля (рис. 5.4) составила 31% (немного выше среднего с начала 21 века), ниже 20-го перцентиля – 6% (почти в два раза ниже среднего с начала 21 века). С 1976 г. наблюдается увеличение площади под аномалиями выше 80-го перцентиля, тренд за период 1976-2017 составляет 4.9%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 41%: тренд значим на уровне 1%) и уменьшение площади под аномалии ниже 20-го перцентиля, тренд за период 1976-2017 составляет -2.6%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 16%).

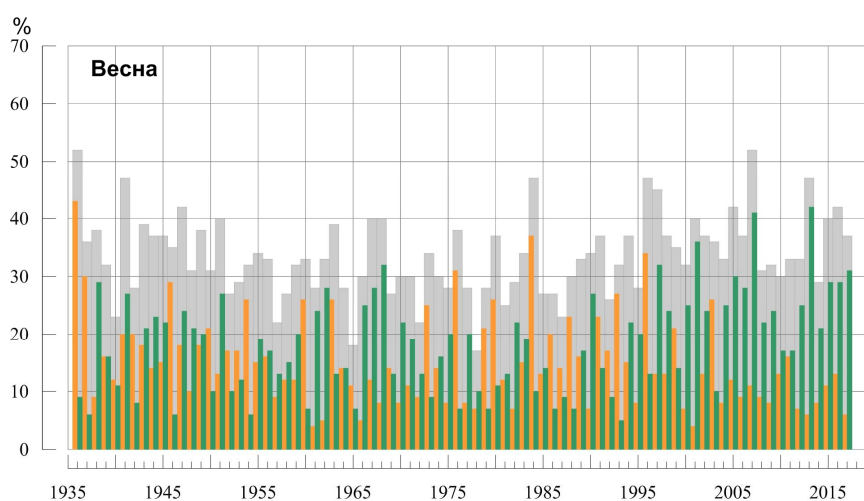


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2017 гг. (весна):

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

ВЫВОДЫ

1. Весна для Северного полушария в целом была экстремально теплой: аномалия температуры воздуха над сушей СП $+1.42^{\circ}\text{C}$ – вторая величина в ряду с 1886 г. (ожидаемая при потеплении, разность между сезонной аномалией и линией тренда $+0.05^{\circ}\text{C}$).

2. Весна для России в целом была теплой (осредненная сезонная аномалия $+2.82^{\circ}\text{C}$ – четвертая величина в ряду, значительно выше ожидаемой при потеплении: разность между весенней аномалией и величиной тренда около $+0.6^{\circ}\text{C}$). Экстремально тепло в АЧР (аномалия 3.69°C – максимальная величина в ряду) повсеместно восточнее Енисея отмечались 95%-е экстремумы, аномалии на станциях до $+7^{\circ}\text{C}$, особенно тепло в Сибирском ФО (3.55°C – ранг 3) и Дальневосточном ФО (4.09°C – ранг 1).

В ЕЧР сезон в целом был умеренно теплым (аномалия 0.65°C – ранг 27 из 82, хотя за последние 10 лет это был третий самый холодный весенний сезон); области небольшой (менее 0.5°C по величине) отрицательной аномалии наблюдались на юго-западе СЗФО, в междуречье Волги и Камы, на Южном Урале.

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными среднесезонными аномалиями температуры (выше 80-го перцентиля), составила 67% (седьмая величина в ряду), при этом под экстремальными положительными аномалиями (выше 2σ): 23% – четвертая величина с 1936 г.

4. Экстремально теплым был март. Осредненная по РФ аномалия температуры $+6.03^{\circ}\text{C}$ – максимальная величина в ряду, тепло всюду, на 64% станций температуры были выше 95-го перцентиля. Осредненные аномалии температуры для всех регионов (кроме Прибайкалья и Забайкалья – ранг 6) попали в пятерку наивысших величин. Особенно тепло в АЧР севернее 60° с.ш.: аномалии на станциях около $+13^{\circ}\text{C}$, повсеместно отмечались 95%-е экстремумы.

В апреле очень тепло в АЧР, особенно в Восточной Сибири (4.79°C – ранг 1, повсеместно отмечались 95%-е экстремумы). В ЕЧР апрель был умеренно холодным: аномалия температуры -0.3°C (близка к медиане распределения); за последнее десятилетие это был второй самый холодный апрель после холодного апреля 2009 г. (аномалия -1.13°C). Отрицательные аномалии наблюдались во всех федеральных округах европейской России.

Необычным для последних десятилетий был май. В целом по РФ температура была близка к климатической норме 1961-90 гг., аномалия составила 0.12°C : однако, это самый холодный май в 21-м веке. В ЕЧР и на западе Западной Сибири, а также на большей части Якутии температуры были ниже климатической нормы. В ЕЧР (аномалия -1.89°C) – это 9-й самый холодный май с 1936 г. и самый холодный с 2000 года; особенно холодно на юго-западе СЗФО, где аномалии на станциях были ниже -3.5°C . На большей части Сибирского ФО и в восточных районах Дальневосточного ФО тепло, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы, аномалии температуры в районе Байкала до 3.0°C .

5. Весной наблюдался значительный избыток осадков, в среднем по РФ выпало 119% нормы осадков (ранг 4). Много осадков выпало на большей части ЕЧР и в

центральных районах АЧР (116% нормы – ранг 5); на многих станциях этих районов осадков выпало более 95-го перцентиля или более полутора норм.

Сильный дефицит осадков наблюдался на Чукотке: на многих станциях наблюдались 5%-е экстремумы. Дефицит осадков наблюдался также на побережье Северного Ледовитого океана от Новой Земли до дельты Лены; на Алтае, в Саянах, в горах Забайкалья; в Приморье, на Сахалине; вдоль побережья Охотского моря.

6. Весной 2017 г. площадь, занятая крупными аномалиями выше 80 перцентиля составила 31%, ниже 20-го перцентиля – 6%.

7. Из месяцев сезона следует особенно выделить май. В среднем по РФ выпало 123% нормы осадков (ранг 5). Особенно много осадков выпало на юге ЕЧР (в Северо-Кавказском ФО: 183% - ранг 1)), и далее, в центральных районах АЧР (в Средней Сибири 183% - ранг 1).

В апреле избыток наблюдался почти всюду от западных границ до течения Лены, особенно значительный (на многих станциях отмечались 95%-е экстремумы) на севере ЕЧР (Северо-Западном ФО: 165% нормы – ранг 2), на Среднем Урале, на большей части Красноярского края.

В марте значительный избыток осадков наблюдался на севере Сибирского ФО (до двух норм на станциях), вдоль побережья Охотского моря.

Сильный дефицит осадков в марте наблюдался на юге Сибирского ФО, в Амурской области, на Чукотке; а апреле – восточнее Лены; в мае – вдоль азиатского побережья Северного Ледовитого океана.

8. В целом по России линейный тренд весенней температуры воздуха за период 1976-2017 гг. составил $+0.64^{\circ}\text{C}/10$ лет при вкладе тренда в дисперсию ряда 43%, что более чем в полтора раза выше, чем в среднем для суши Северного полушария ($+0.37^{\circ}\text{C}/10$ лет, вклад в дисперсию ряда 80%). Наиболее быстрое потепление наблюдается на севере АЧР (до $+1.5^{\circ}\text{C}/10$ лет в Чукотском АО), максимум - в марте (в Чукотском АО до $+2.0^{\circ}\text{C}/10$ лет). На ЕЧР, в Приамурье и Приморье весенние температуры растут значительно слабее (до $+0.4^{\circ}\text{C}$). Во многих регионах в конце 20-го – начале 21-го столетия наблюдалось замедление роста температуры, затем рост температуры возобновился.

9. Тренд весенних сумм осадков для России в целом положителен: составляет $+6.0\%/10$ лет, объясняет 35% межгодовой изменчивости. Наиболее интенсивный рост осадков (более $10\%/10$ лет) наблюдается в Прикаспийской низменности, на Южном Урале, на востоке Якутии, в бассейне Анадыря. Регионально осредненные суммы весенних осадков растут для всех физико-географических регионов и Федеральных округов. Следует отметить для марта исключительно высокие темпы роста осадков (выше 10% за 10 лет) на огромных территориях южной половины и Дальнего Востока России, исключая лишь часть Читинской и Амурской области.

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

ВЕСНА 2017



ВВЕДЕНИЕ

В настоящем Приложении^{*} приводится информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) весной 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 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 широты на 5 градусов долготы), и в каждой ячейке сетки рассчитывается «ячеечное»

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

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 ВЕСНОЙ 2017 г.

В таблицах 2 и 3 приведены стационарные данные о наблюдаемой температуре и осадках для каждого месяца рассматриваемого весеннего 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.

Весной (рис. 1) в Беларуси было тепло, осредненная по территории республики сезонная аномалия температуры $+1.62^{\circ}\text{C}$ – ранг 23, на всех станциях республики аномалии температуры были выше нормы, аномалии от $+1.38^{\circ}\text{C}$ (в Могилеве) до $+2.17^{\circ}\text{C}$ (в Пинске).

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси весной 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)							
Весна	6.90	7.77	6.97	9.30	9.27	8.60	8.70
Март	3.2	4.2	3.5	5.9	5.9	5.1	4.6
Апрель	5.3	6.0	5.6	7.6	7.5	7.9	8.1
Май	12.2	13.1	11.8	14.4	14.4	12.8	13.4
б) аномалия температуры (град. Цельсия)							
Весна	1.55	1.92	1.38	1.79	2.17	1.52	1.74
Март	5.36	5.58	5.41	4.80	5.84	5.46	5.39
Апрель	-0.25	0.01	-0.11	-0.14	-0.06	0.46	0.71
Май	-0.47	0.17	-1.16	0.71	0.74	-1.36	-0.89

Март – очень теплый месяц в сезоне (аномалия 5.23°C – ранг 4), аномалии на станциях от $+4.80^{\circ}\text{C}$ (в Бресте) до $+5.84^{\circ}\text{C}$ (в Пинске), на всех станциях (кроме Могилева) отмечались 95%-е экстремумы.

В апреле на большей части республики температуры на станциях были около нормы (по модулю не более 0.5°C), лишь на юго-востоке республики (в Гомеле) аномалия температуры составила 0.7°C .

В мае осредненная по территории республики сезонная аномалия температуры -0.44°C – ранг 57-60. На востоке республики температуры ниже нормы (в Василевичах -1.36°C), на западе температуры были немного выше нормы (в Пинске 0.74°C).

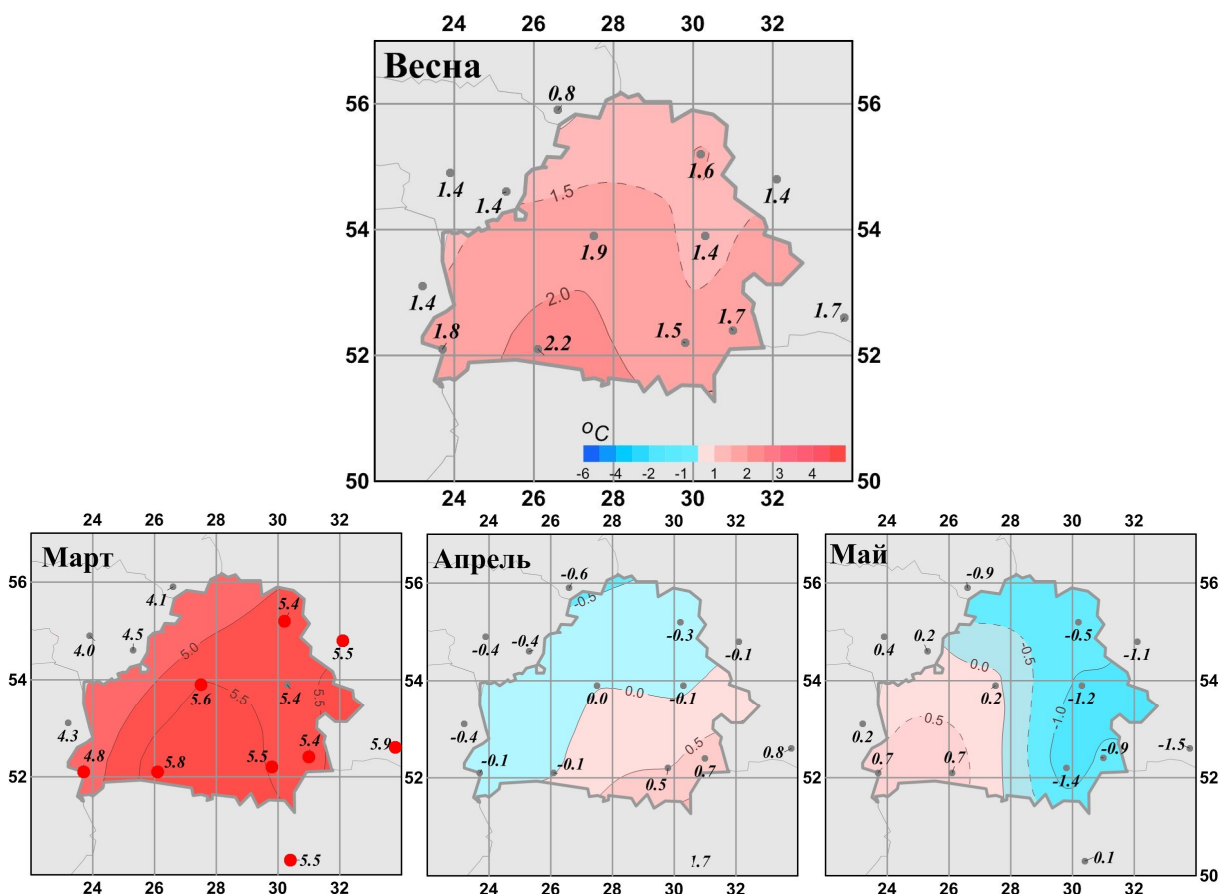


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры ($^{\circ}\text{C}$) приземного воздуха на территории республики Беларусь весной.

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 процентиля

Весной (рис. 2) осредненные по территории республики осадки составили 104% сезонной нормы. На севере и западе республики – избыток осадков. Дефицит осадков – на востоке, меньше всего осадков выпало в Гомеле: 64%.

В марте избыток осадков наблюдался на западе и в центральных областях республики (в Пинске выпало 193% нормы); дефицит осадков наблюдался на востоке республики (в Гомеле выпало 83%).

В апреле распределение осадков было похоже на распределение осадков в марте: избыток осадков на большей части республики (наибольшее количество осадков выпало в Витебске: 219% нормы), дефицит осадков на юго-востоке страны (в Гомеле (выпало 46% нормы, в Василевичах 49%).

В мае осредненные по территории республики осадки составили 72% нормы, всюду (кроме юга-востока) отмечался дефицит осадков (в Могилеве выпало лишь 31% нормы).

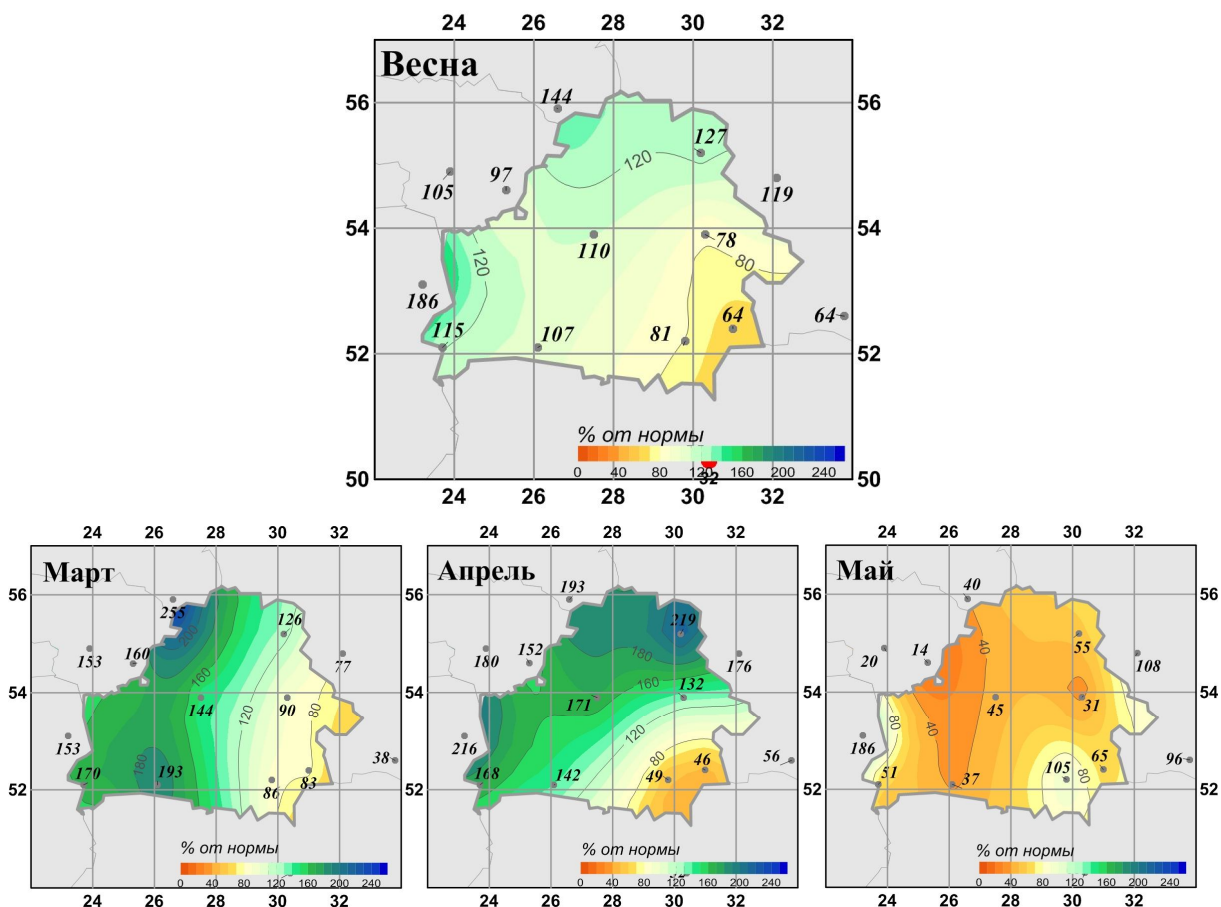


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь весной.

Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1990 гг. Цифрами приведены значения аномалий температуры (в градусах Цельсия) и осадков (в % от нормы) на станциях.

Таблица 3

Характеристики режима осадков на станциях Беларуси весной 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>Весна</i>	53.7	53.3	33.7	49.3	43.3	35.7	25.0
Март	49	60	31	52	57	29	27
Апрель	85	72	53	66	53	22	17
Май	27	28	17	30	20	56	31
б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц)							
<i>Весна</i>	11.3	3.8	-9.7	6.5	2.9	-8.4	-14.2
Март	10.0	18.2	-3.6	21.4	27.4	-4.7	-5.4
Апрель	46.2	29.8	12.7	26.7	15.7	-23.2	-20.2
Май	-22.2	-36.6	-38.2	-28.5	-34.3	2.7	-17.0
в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы)							
<i>Весна</i>	127	110	78	115	107	81	64
Март	126	144	90	170	193	86	83

Апрель	219	171	132	168	142	49	46
Май	55	45	31	51	37	105	65

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

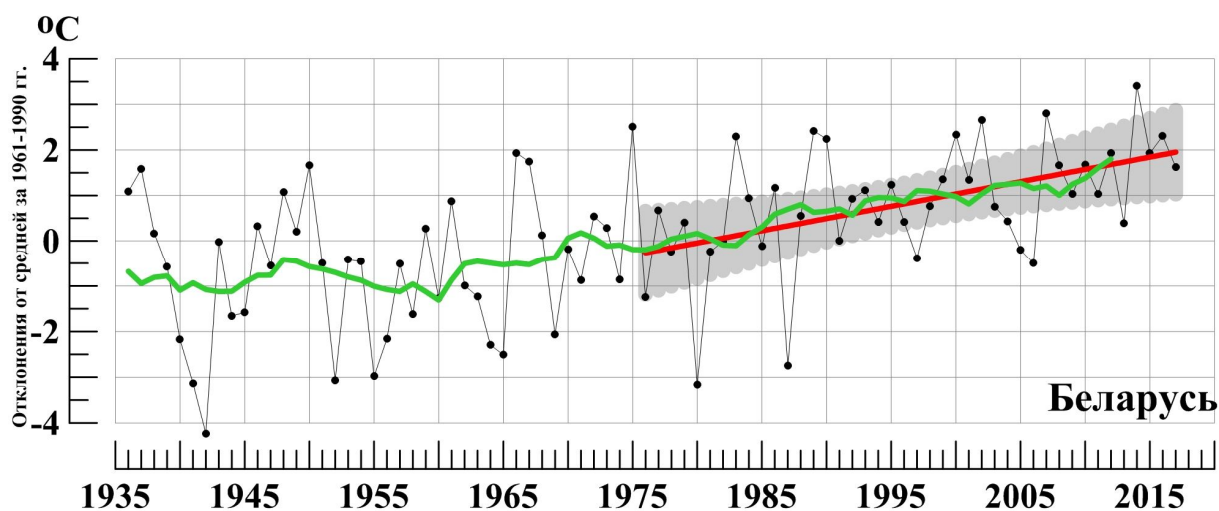


Рисунок 3 - Сезонные (март - май) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

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.

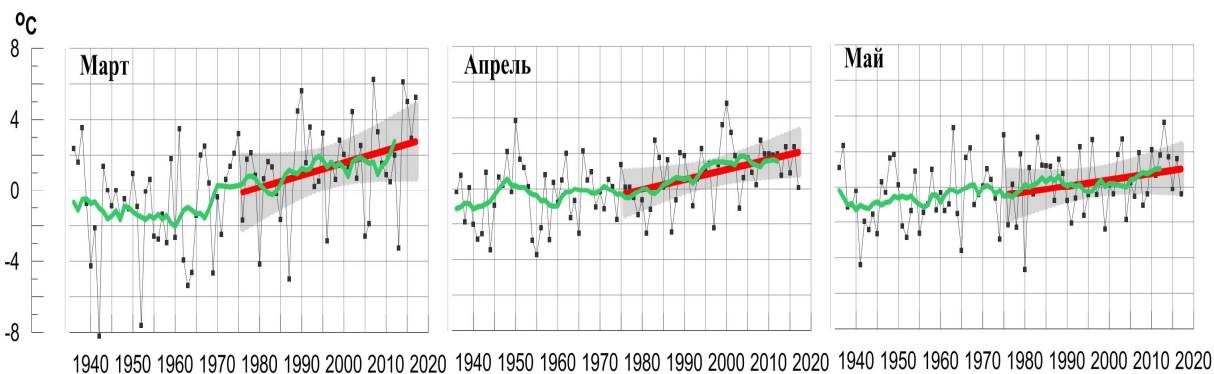


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рисунке 3.

Тренд весенних температур, в среднем по территории Беларуси, составил $+0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 24% дисперсии). Во все месяцы сезона тренд положителен. Значимое на 1% уровне значимости потепление наблюдается в апреле: тренд составил $+0.57^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 18% дисперсии ряда)

В изменении регионально осредненных осадков сезонный тренд составил 2.7 мм/месяц/10 лет (ответствен за 12% дисперсии). Рост осадков отмечается в мае: $+6.3$ мм/месяц/10 лет (ответствен за 14% дисперсии), в марте рост осадков незначительный: 1.4 мм/месяц/10 лет, 2%. В апреле рост осадков практически отсутствует.

Вклад трендов температуры и осадков в суммарную изменчивость во все месяцы

сезона статистически незначим даже на 5%-ом уровне значимости, за исключением положительного тренда температуры в апреле и положительного тренда осадков - в мае.

мм/месяц

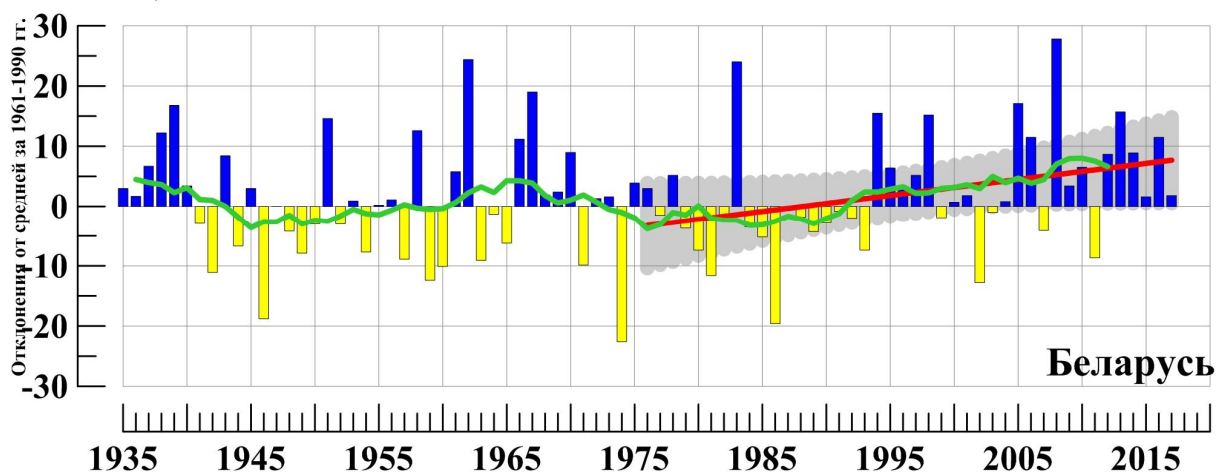


Рисунок 5 - Сезонные (март - май) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рис. 3

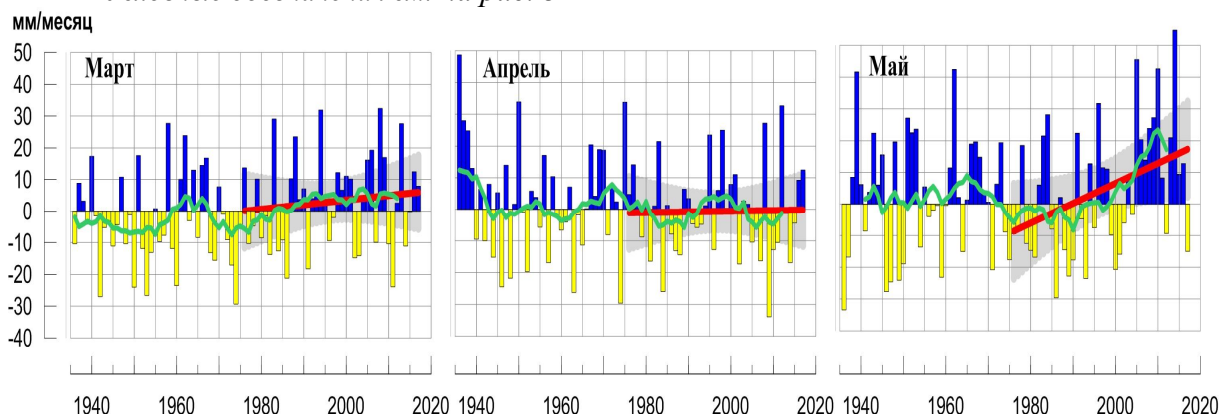


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рисунке 3.

Таблица 4

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

	νT_{2017}	s	RR_{2017}	νR_{2017}	s
Весна	1.62	1.58	104	1.8	10.6
Март	5.23	2.93	122	7.9	14.5
Апрель	0.08	1.51	131	12.5	14.8
Май	-0.44	1.95	72	-15.0	17.4

Примечание: Аномалии νT_{2017} ($^{\circ}C$), νR_{2017} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за период 1961-1990 гг.), RR_{2017} (%) – осадки в процентах от нормы, s ($^{\circ}C$, мм/месяц), – среднее квадратическое отклонение

Таблица 5

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

Сезон	Температура		Осадки	
	$b_{1976-2017}$ °C/10 лет	$D_{1976-2017}$ %	$b_{1976-2017}$ мм/мес/10лет	$D_{1976-2017}$ %
Весна	0.54	24	2.7	12
Март	0.70	10	1.4	2
Апрель	0.57	18	0.2	0
Май	0.36	6	6.3	14

ВЫВОДЫ

1. Весна в Беларуси была очень теплой, осредненная по территории республики сезонная аномалия температуры $+1.62^{\circ}\text{C}$, на всех станциях республики сезонные аномалии выше $+1^{\circ}\text{C}$. В марте было экстремально тепло (аномалия 5.23°C – ранг 4), аномалии на станциях около $+5^{\circ}\text{C}$. В апреле на большей части республики температуры на станциях были около нормы (по модулю не более 0.5°C). В мае осредненная по территории республики сезонная аномалия температуры -0.44°C , температуры ниже нормы – на востоке, немного выше нормы – на западе республики.

2. В среднем по Беларуси осадки составили 104% нормы. В марте и в апреле на западе и в центре – избыток осадков (более 150% нормы), на востоке и юго-востоке – дефицит. В мае дефицит осадков на большей части республики, осредненные по территории республики осадки составили 72% нормы.

3. В среднем по территории Беларуси отмечается тенденция к потеплению, как в среднем за сезон (линейный тренд составил $0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет, ответствен за 24% дисперсии), так и в отдельные весенние месяцы. Значимое на 1% уровне значимости потепление наблюдается в апреле: тренд составил $+0.57^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 18% дисперсии ряда).

В целом для Беларуси отмечается тенденция к увеличению осадков, линейный тренд составил 2.7 мм/месяц/10 лет (ответствен за 12% дисперсии), рост осадков отмечается в мае: $+6.3$ мм/месяц/10 лет (ответствен за 14% дисперсии).