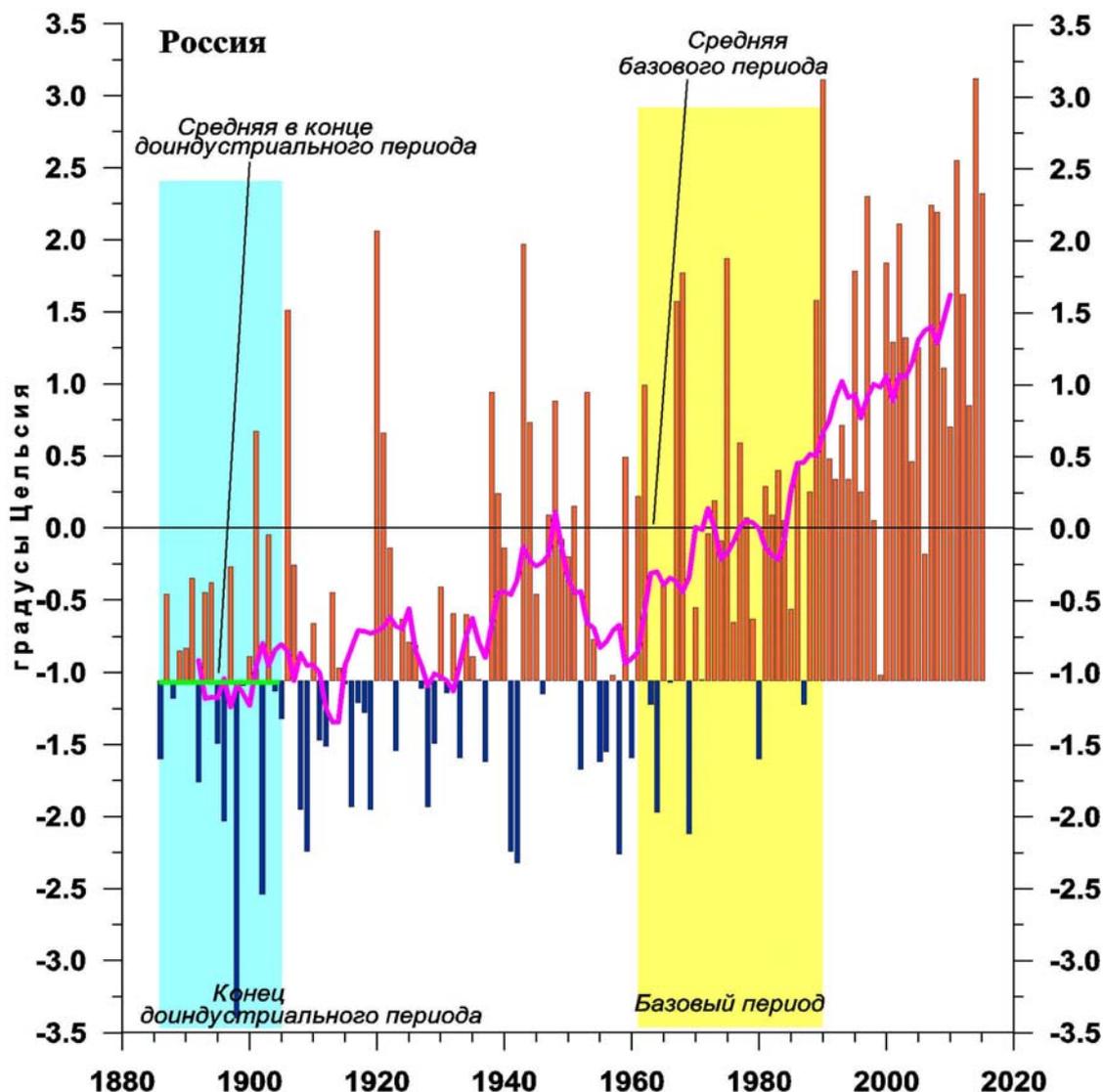


Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

Российская
Академия Наук

ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2015

ВЕСНА: март - май

Обзор состояния и тенденций изменения
климата России

★
Москва 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (весенний сезон)..... | 6 |
| 2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕСНЫ 2015 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, 1936-2015 гг..... | 19 |
| 5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2015 гг. (весенний сезон) | 22 |
| ВЫВОДЫ | 26 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности весны 2015 г. на территории Республики Беларусь | 28 |

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2015 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 310 станций России). В настоящем выпуске использованы данные 254 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.

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 ячейчных 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 неперевышения значения X_0 , как и обеспеченностью. Региональные индексы экстремальности определяются как доля площади региона, где вероятности неперевышения $F(X_0) \leq \alpha\%$ или $F(X_0) \geq 100 - \alpha\%$ и $\alpha\%$ – обеспеченность искомым экстремумом.

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"

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»).

информацией о сложившихся и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды"

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

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 2015: 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 стационарным данным о температуре приземного воздуха ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Представлен также линейный тренд за 1976-2015 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.

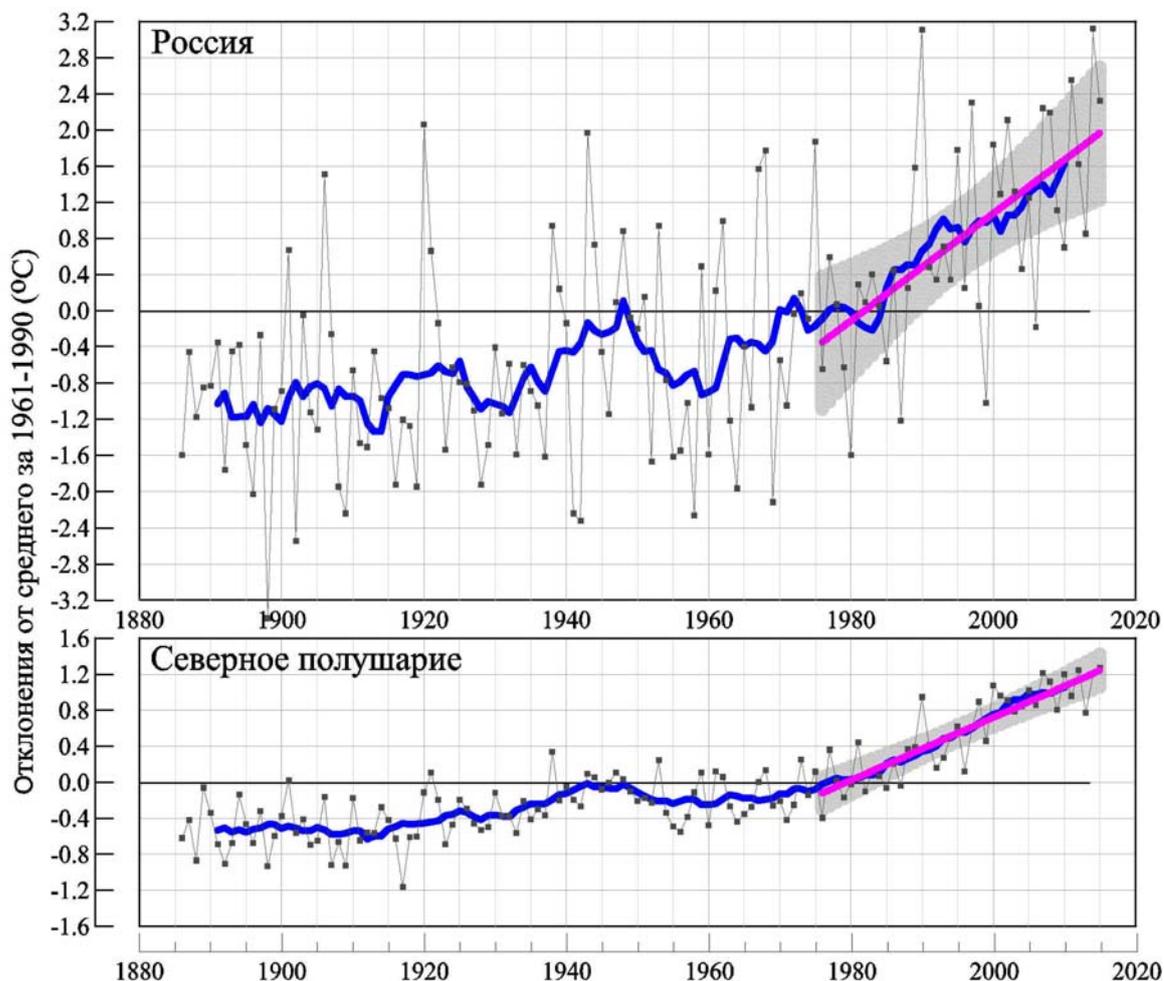


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (весна: март - май) температуры приземного воздуха, осредненная по Северному полушарию (суша) и территории России за 1886-2015 гг.

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 1976-2015 гг. Используются данные Университета Восточной Англии (СП) и данные ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (Россия).

Аномалия температуры воздуха над сушей СП весной составила $+1.27^{\circ}\text{C}$ (при стандартном отклонении 0.18°C) – рекордная величина в ряду с 1886 г.

Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила $+2.32^{\circ}\text{C}$ при величине стандартного отклонения 1.19°C – четвертая величина в ряду с 1886 г. (Рекордная аномалия зафиксирована в 2014 году: $+3.12^{\circ}\text{C}$, затем идет 1990 г. ($+3.11^{\circ}\text{C}$) и 2011 г. ($+2.55^{\circ}\text{C}$)).

Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений весенних температур за период 1976-2015 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. ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по суше СП и России и оценки линейного тренда за период 1976-2015 гг.

| Регионы | νT_{2015} | $s_{1961-90}$ | $b, ^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ | $D \%$ |
|---------|----------------|---------------|--------------------------------------|--------|
| СП | 1.27 | 0.18 | 0.35 | 76 |
| Россия | 2.32 | 1.19 | 0.59 | 36 |

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

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕСНЫ 2015 ГГ. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России весны 2015 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 территории РФ сезонная аномалия $+2.32^{\circ}\text{C}$ – четвертая величина в ряду. Тепло всюду (кроме части Магаданской области), особенно тепло на севере ЕЧР, в Западной и в западных районах Средней Сибири: здесь на большинстве станций температура выше 95-го перцентиля, сезонные аномалии в низовьях Оби и Енисея выше $+6^{\circ}\text{C}$. Осредненные по территории Северо-Западного ФО и региона Западная Сибирь аномалии температуры: $+3.61^{\circ}\text{C}$ и 3.76°C – рекордная и третья величины в соответствующих рядах.

В большинстве районах страны тепло было во все месяцы сезона, при этом, очаги экстремумов располагались, по большей части, в центральных и северных районах страны.

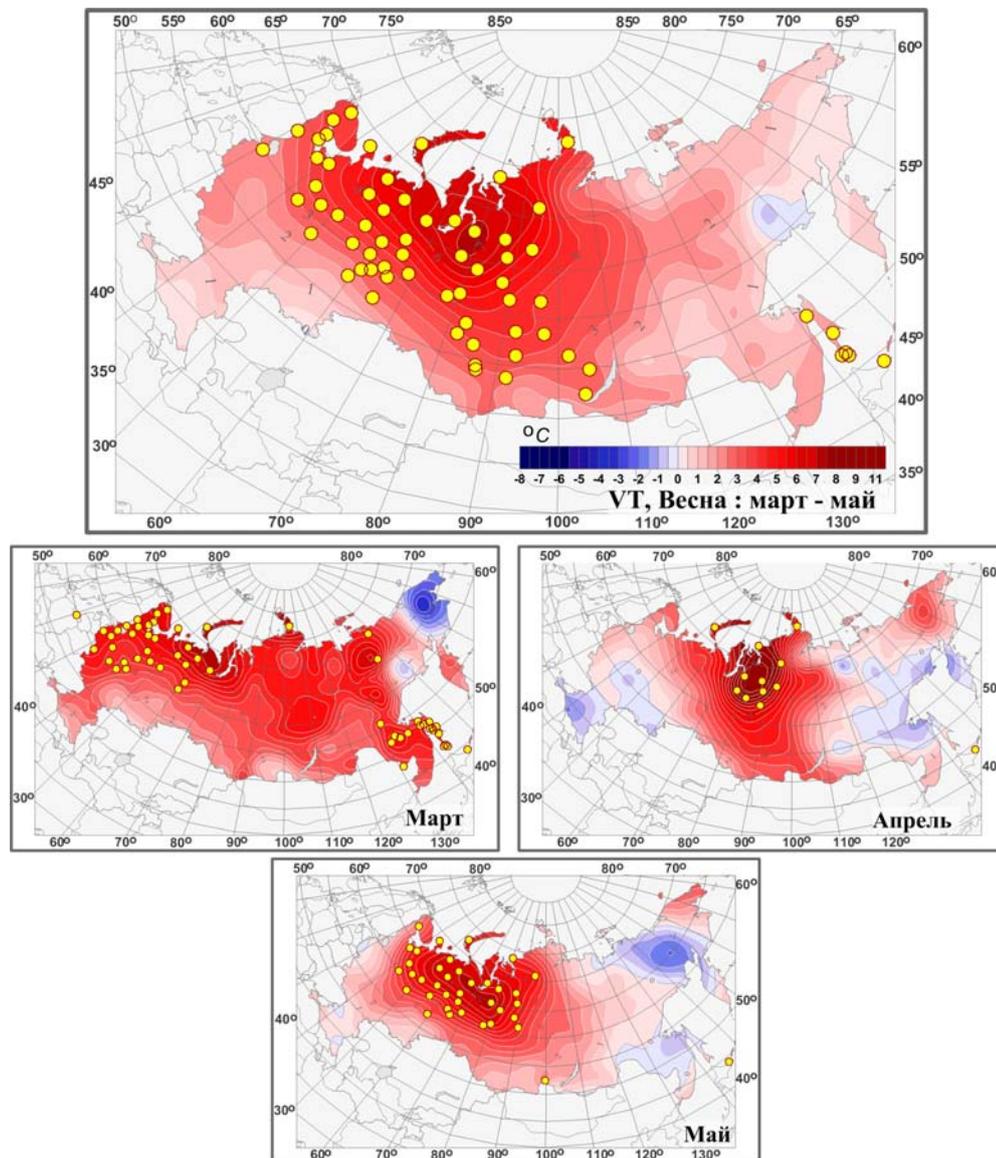


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России весной 2015 г. Кружками белого цвета показано местоположение станционных экстремумов ниже 5-го перцентиля, желтого – выше 95-го перцентиля.

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

Март. Осредненная по России аномалия температуры $+3.42^{\circ}\text{C}$ – 7-ая положительная величина в ряду.

Тепло на большей части страны (кроме Магаданской области и Чукотки), аномалии в северных районах страны были выше $+5^{\circ}\text{C}$. В центре и на севере ЕЧР на большинстве станций температура выше 95-го перцентиля. Осредненные по Северо-Западному и Центральному ФО аномалии температуры $+5.17^{\circ}\text{C}$ и $+4.18^{\circ}\text{C}$ – 2-ая и 7-ая положительные величины в соответствующих рядах. Максимальная аномалия температуры зафиксирована в ЕЧР на МС Нарьян-Мар Ненецкого АО: $+7.7^{\circ}\text{C}$.

Экстремально тепло в Якутии (максимальная аномалия зафиксирована на МС Усть-Мома: $+7.3^{\circ}\text{C}$), а также в Приамурье и на Сахалине: на большинстве станций температура выше 95-го перцентиля, аномалии $+4^{\circ}\text{C}$ - $+6^{\circ}\text{C}$ (максимальная аномалия

зафиксирована на МС Тымовское: $+6.7^{\circ}\text{C}$). Осредненная по Приамурью и Приморью аномалия температуры $+4.22^{\circ}\text{C}$ – третья величина в ряду.

На Чукотке и севере Корякского АО холодно, аномалии до -4.5°C (на МС Эньмувеем Чукотского АО).

Апрель. Осредненная по России аномалия температуры $+1.71^{\circ}\text{C}$ – 16-ая положительная величина в ряду.

Тепло на севере ЕЧР, и далее, в Западной и Средней Сибири, в Байкальском регионе. Осредненная по Сибирскому ФО аномалия температуры: $+3.38^{\circ}\text{C}$ - 8-ая величина в ряду, аномалии на севере Тюменской области и Красноярского края были выше $+6^{\circ}\text{C}$ (максимальные аномалии зафиксированы на МС Тазовское Ямало-Ненецкого АО: $+9.9^{\circ}\text{C}$ и МС Игарка Красноярского края: $+9.6^{\circ}\text{C}$).

Тепло было на Чукотке, максимальная аномалия зафиксирована на МС Илирней $+4.2^{\circ}\text{C}$.

Холодно в Южном ФО (минимальная аномалия зафиксирована в Сочи: -1.9°C), на большей части Приволжского ФО (наименьшая аномалия -1.2°C зафиксирована на МС Лукьянов Нижегородской области), во многих районах Дальневосточного ФО (с аномалиями от 0°C до -2°C).

Май. Осредненная по России аномалия температуры $+1.87^{\circ}\text{C}$ – 5-ая положительная величина в ряду.

На большей части территории России тепло. Особенно тепло на северо-востоке ЕЧР, в Западной Сибири и в западных районах Средней Сибири: на большинстве станций температура выше 95-го перцентиля (наибольшая аномалия температуры зафиксирована на МС Тарко-Сале Ямало-Ненецкого АО: $+7.8^{\circ}\text{C}$). Осредненная по Уральскому ФО аномалия температуры $+4.85^{\circ}\text{C}$ - рекордная величина в ряду.

Холодно на востоке Якутии, в Магаданской области, на западе Чукотки, на севере Камчатки; а также в Приамурье и на большей части Приморья и Сахалина. Наименьшая аномалия температуры зафиксирована на МС Омолон Чукотского АО: -2.2°C .

Атмосферные осадки. В целом за сезон осредненные по территории РФ осадки составили 115% нормы – седьмая величина в ряду.

Избыток осадков (120%-160% нормы) наблюдался в западных областях ЕЧР (в Мурманске выпало 170% нормы) а также в Южном ФО, в Северо-Кавказском ФО, в Крымском ФО (151% нормы – четвертая величина в ряду), Приволжском ФО, на юге Уральского ФО (на МС Шумиха Курганской области зафиксировано 198% нормы), в Сибирском ФО (129% нормы – третья величина в ряду, наибольшее количество осадков выпало на МС Киренск Иркутской области: 207%), в центральных и юго-восточных областях Дальневосточного ФО (на Сахалине на МС Онор выпало 189%).

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался в центре и на северо-востоке ЕЧР, в центральных и северных районах Уральского ФО, на севере и востоке Якутии, в Магаданской области, на западе Чукотки, в Забайкалье. На ряде станций (в основном АЧР) количество выпавших осадков было меньше 5-го перцентиля.

На сезонное распределение осадков самое большое влияние оказали апрель и март (на распределение осадков в АЧР)..

Март. Осредненные по РФ мартовские осадки составили 106% нормы.

Особенность марта – сильный дефицит осадков в ЕЧР (кроме части СКФО) и далее в АЧР до течения Оби. На большинстве МС центра ЕЧР количество выпавших осадков менее 5-го перцентиля (выпало менее 20% сезонной нормы). Осредненные по ЕЧР осадки 61% нормы – пятая минимальная величина в ряду. Меньше всего осадков в ЕЧР выпало в Приволжском ФО: 35% месячной нормы - пятая минимальная величина в ряду.

Сухо также в Саянах, в горах Забайкалья, на востоке Якутии, на западе Чукотки, в Магаданской области.

Еще одна особенность марта: экстремально влажно на большей части АЧР, на многих станциях осадки превысили 95-й перцентиль (выпало более 2-х норм осадков), особенно много осадков выпало в Красноярске: 313% нормы, в Жиганске (МС Якутии): 398% нормы, в Томпо (МС Якутии): 783% нормы. Осредненные по региону Средняя Сибирь осадки 160% нормы – максимальная величина в ряду.

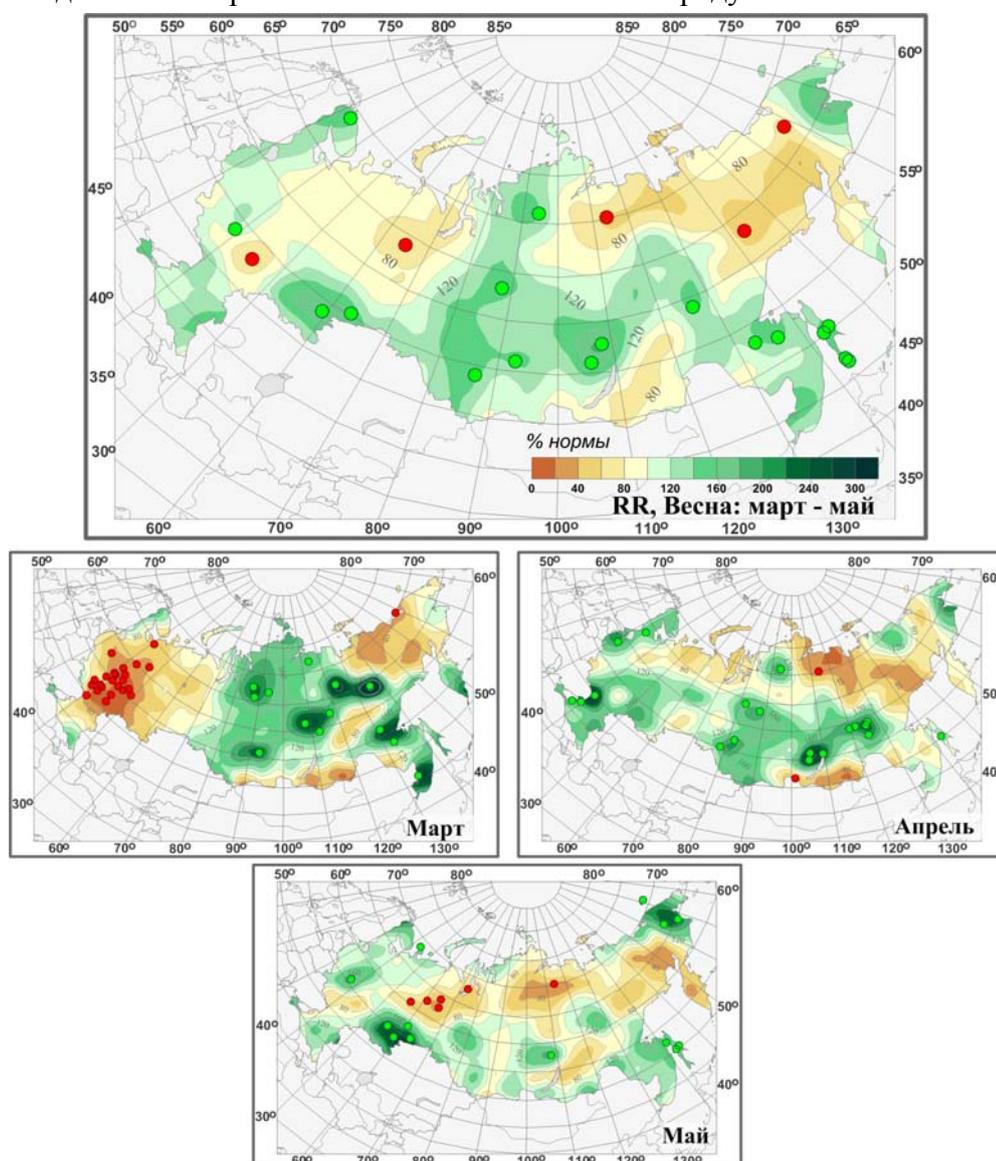


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России весной 2015г. (март – май). Кружками красного цвета показаны станционные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

Апрель. Осредненные по России осадки: 125% нормы - *пятая* максимальная величина в ряду.

На большей части ЕЧР наблюдался избыток осадков (осредненные по региону ЕЧР осадки 135% нормы – 4-ая величина в ряду). Наиболее значительный избыток (более 140% нормы) наблюдался в северо-западных областях ЕЧР (более двух норм выпало: в Новгороде, в Сортавала (МС Республики Карелия)) и в Южном ФО (более двух норм выпало в Ростове-на-Дону) и на юге Центрального ФО (в Воронежской области на МС Богучар выпало более 3-х норм). Осредненные по Южному ФО осадки 194% нормы – максимальная величина в ряду.

В АЧР значительный избыток осадков (более 140% нормы) наблюдался в центральных и южных районах (исключая юг Бурятии и Читинскую область, бассейн Амура): на некоторых станциях Сибирского и Дальневосточного ФО выпало более двух норм осадков и превысило 95-ый перцентиль (осредненные по Сибирскому ФО осадки: 137% нормы – четвертая максимальная величина в ряду). Значительный избыток осадков (более 140% нормы) наблюдался также на Таймыре, в бассейне Колымы, на востоке Чукотки.

Сильный дефицит осадков (менее 40% нормы) наблюдался на юге Бурятии и в Читинской области, в центральных районах Якутии, в Магаданской области.

Май. Осредненные по РФ осадки 113% - 21-ая величина в ряду.

В ЕЧР на большей части (кроме Центрального Черноземья) наблюдался избыток осадков (значительный в центральных районах ЕЧР, в Москве выпало 234% нормы).

Значительный избыток осадков (более 140%) наблюдался на Южном Урале (в Курганской области на МС Шумиха выпало: 360%), на Чукотке (максимальное количество осадков зафиксировано на МС Эньмувеем: 262% нормы), в Приморье и на Сахалине. (191% нормы на МС Погиби), на севере Байкальского региона (243% нормы на МС Киренск Иркутской области).

В Центральном Черноземье, на Среднем и Северном Урале, в низовьях Оби, на Среднесибирском плоскогорье, в Магаданской области, на Камчатке наблюдался сильный дефицит осадков (40%-80% нормы). На ряде станций Среднего Урала и Обской губы количество выпавших осадков меньше 5-го перцентиля.

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 1936-2014 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 +2.32°C. Тепло было во всех регионах. Самой теплой была весна в Западной Сибири, осредненная по региону аномалия +3.76°C – третья величина в ряду. Очень теплыми был март и май (см. табл. 2.1.1): осредненные по РФ аномалии +3.42°C и +1.84°C – седьмая и шестая положительные величины в рядах.

Весна (табл. 2.2) в РФ в целом была влажной, количество выпавших осадков составило 115% нормы (ранг 7). Весенние осадки, осредненные по регионам: Средняя Сибирь (за счет марта (особенно) и апреля) и Приамурье и Приморье (за счет марта и мая) составили 126% и 128% нормы – это третья и седьмая величины в соответствующих рядах.

Из месяцев следует отметить апрель: осредненные по РФ осадки составили 125% - пятая величина в ряду (больше всего осадков выпало в ЕЧР (135% нормы – ранг 4) и в Средней Сибири (141% - ранг 4)). Из особенностей других месяцев сезона следует март в ЕЧР: осадков выпало лишь 61% - это пятая минимальная величина в ряду и март в Средней Сибири (упоминался выше): выпало 160% нормы – рекордная величина в ряду.

Таблица 2.1

Регионально осредненные аномалии температуры весной 2015 г.

| Регионы | vT_{2015} | $S_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2015})$ |
|---|-------------|---------------|----------------------|
| Российская Федерация | 2.32 | 1.19 | 96.2 |
| Физико-географические регионы России | | | |
| Европейская часть России | 2.11 | 1.44 | 93.7 |
| Западная Сибирь | 3.76 | 1.62 | 97.5 |
| Средняя Сибирь | 2.99 | 1.66 | 92.4 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 2.06 | 1.39 | 86.1 |
| Приамурье и Приморье | 1.34 | 1.15 | 87.3 |
| Восточная Сибирь | 0.92 | 1.23 | 68.4 |
| Федеральные округа РФ | | | |
| Северо-Западный | 3.61 | 1.54 | 100 |
| Центральный | 2.01 | 1.68 | 88.6 |
| Приволжский | 1.43 | 1.70 | 81.0 |
| Южный | 0.88 | 1.47 | 73.4 |
| Северо-Кавказский | 0.36 | 0.96 | 65.8 |
| Уральский | 4.28 | 1.75 | 97.5 |
| Сибирский | 3.01 | 1.47 | 94.9 |
| Дальневосточный | 1.30 | 1.23 | 78.5 |
| Крымский | 0.72 | 1.13 | 69.6 |

Примечание: 1. Аномалии vT_{2015} ($^{\circ}C$) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s ($^{\circ}C$) – среднее квадратическое отклонение за базовый период; вероятности непревышения $P(t \leq T_{2015})$ рассчитаны по выборке за 1936-2014гг. 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_{2015} | $s_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2015})$ | vT_{2015} | $s_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2015})$ | vT_{2015} | $s_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2015})$ |
| Российская Федерация | 3.42 | 2.07 | 92.4 | 1.71 | 1.40 | 81.0 | 1.84 | 0.89 | 93.7 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | | | | |
| Европейская часть России | 3.55 | 2.54 | 91.1 | 0.55 | 1.99 | 57.0 | 2.23 | 1.59 | 86.1 |
| Западная Сибирь | 3.44 | 2.84 | 89.9 | 3.93 | 2.49 | 88.6 | 3.90 | 1.77 | 98.7 |
| Средняя Сибирь | 4.08 | 3.12 | 88.6 | 2.87 | 2.05 | 84.8 | 2.02 | 1.20 | 81.0 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 2.83 | 2.57 | 87.3 | 1.99 | 1.78 | 82.3 | 1.32 | 1.08 | 81.0 |
| Приамурье и Приморье | 4.22 | 1.93 | 97.5 | 0.02 | 1.49 | 50.6 | -0.26 | 1.05 | 40.5 |
| Восточная Сибирь | 2.29 | 2.12 | 78.5 | 0.53 | 1.58 | 55.7 | -0.08 | 1.16 | 35.4 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | | | | |
| Северо-Западный | 5.17 | 3.20 | 98.7 | 1.96 | 2.00 | 72.2 | 3.70 | 1.89 | 97.5 |
| Центральный | 4.18 | 2.81 | 92.4 | 0.37 | 2.09 | 58.2 | 1.47 | 2.10 | 75.9 |
| Приволжский | 2.11 | 2.83 | 75.9 | -0.02 | 2.55 | 55.7 | 2.21 | 1.81 | 83.5 |
| Южный | 2.67 | 2.62 | 81.0 | -0.62 | 2.14 | 50.6 | 0.58 | 1.54 | 67.1 |
| Северо-Кавказский | 1.98 | 1.91 | 79.7 | -1.12 | 1.61 | 34.2 | 0.22 | 1.12 | 58.2 |
| Уральский | 3.90 | 3.30 | 91.1 | 4.10 | 2.74 | 86.1 | 4.85 | 1.93 | 100 |
| Сибирский | 3.25 | 2.76 | 87.3 | 3.38 | 1.99 | 91.1 | 2.36 | 1.02 | 91.1 |
| Дальневосточный | 3.30 | 2.04 | 88.6 | 0.51 | 1.47 | 53.2 | 0.10 | 1.09 | 45.6 |
| Крымский | 2.29 | 2.23 | 84.8 | -0.83 | 1.73 | 38.0 | 0.69 | 1.39 | 67.1 |

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков весной 2015 г.

| Регионы | vR_{2015} | RR_{2015} | m | $m-q1$ | $q3-m$ | $P(r \leq R_{2015})$ |
|---|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Российская Федерация | 4.2 | 115 | -0.1 | 1.6 | 2.2 | 92.4 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | |
| Европейская часть России | 3.4 | 109 | -0.3 | 2.9 | 2.2 | 67.1 |
| Западная Сибирь | 7.1 | 125 | 0.6 | 4.5 | 3.3 | 88.6 |
| Средняя Сибирь | 5.4 | 126 | -0.2 | 1.7 | 2.1 | 97.5 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 1.5 | 108 | 0.2 | 2.6 | 1.3 | 64.6 |
| Приамурье и Приморье | 10.7 | 128 | -0.2 | 4.5 | 4.3 | 92.4 |
| Восточная Сибирь | -0.8 | 96 | -0.6 | 2.0 | 2.9 | 50.6 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | |
| Северо-Западный | 1.2 | 104 | -1.2 | 1.8 | 5.6 | 55.7 |
| Центральный | 2.9 | 107 | 1.0 | 7.0 | 4.0 | 60.8 |
| Приволжский | 2.0 | 106 | 0.7 | 5.9 | 3.8 | 50.6 |
| Южный | 8.1 | 121 | -0.7 | 5.1 | 6.7 | 79.7 |
| Северо-Кавказский | 7.2 | 113 | 2.2 | 3.9 | 9.2 | 74.7 |
| Уральский | 3.3 | 112 | 0.2 | 4.5 | 2.8 | 64.6 |
| Сибирский | 6.8 | 129 | 0.0 | 1.5 | 2.5 | 97.5 |
| Дальневосточный | 3.0 | 113 | -0.6 | 0.6 | 1.8 | 87.3 |
| Крымский | 19.0 | 151 | -0.04 | 1.10 | 0.84 | 96.2 |

Примечание: 1. Аномалии νR_{2015} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за базовый период 1961-1990 гг.), RR_{2015} – отношение R_{2015} к норме, выраженное в %, $q1$, $q3$ и m – соответственно первый, третий квартиль и медиана аномалий (мм/месяц) за базовый период; вероятности непревышения $P(r \leq R_{2015})$ – рассчитаны по выборке за 1936-2014 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 | | |
|---|----------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------|
| | νR_{2015} | RR_{2015} | $P(r \leq R_{2015})$ | νR_{2015} | RR_{2015} | $P(r \leq R_{2015})$ | νR_{2015} | RR_{2015} | $P(r \leq R_{2015})$ |
| Российская Федерация | 1.2 | 106 | 51.9 | 6.7 | 125 | 94.9 | 4.7 | 113 | 75.9 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | | | | |
| Европейская часть России | -11.8 | 61 | 5.1 | 12.6 | 135 | 96.2 | 9.6 | 122 | 77.2 |
| Западная Сибирь | 6.2 | 134 | 78.5 | 9.0 | 134 | 91.1 | 6.3 | 116 | 72.2 |
| Средняя Сибирь | 8.3 | 160 | 100 | 7.6 | 141 | 96.2 | -0.8 | 97 | 39.2 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 1.8 | 121 | 72.2 | 3.0 | 116 | 73.4 | -0.5 | 99 | 41.8 |
| Приамурье и Приморье | 9.3 | 150 | 86.1 | 3.4 | 109 | 74.7 | 19.4 | 135 | 83.5 |
| Восточная Сибирь | 5.4 | 137 | 77.2 | -2.7 | 84 | 43.0 | -5.4 | 79 | 34.2 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | | | | |
| Северо-Западный | -8.4 | 70 | 20.3 | 6.4 | 120 | 77.2 | 5.6 | 113 | 59.5 |
| Центральный | -13.7 | 57 | 12.7 | 9.7 | 125 | 79.7 | 12.7 | 127 | 75.9 |
| Приволжский | -17.1 | 35 | 5.1 | 14.6 | 145 | 88.6 | 8.3 | 121 | 63.3 |
| Южный | -14.8 | 55 | 8.9 | 35.1 | 194 | 100 | 5.8 | 113 | 72.2 |
| Северо-Кавказский | -1.0 | 98 | 48.1 | -0.3 | 99 | 54.4 | 24.7 | 138 | 88.6 |
| Уральский | 3.7 | 119 | 59.5 | 5.2 | 119 | 75.9 | 1.0 | 103 | 49.4 |
| Сибирский | 7.7 | 154 | 94.9 | 7.9 | 137 | 96.2 | 4.5 | 113 | 75.9 |
| Дальневосточный | 5.7 | 139 | 86.1 | 1.3 | 105 | 79.7 | 2.0 | 106 | 68.4 |
| Крымский | 13.0 | 137 | 72.2 | 16.1 | 146 | 83.5 | 27.9 | 167 | 92.4 |

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 1976-2015 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.

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 +1.4°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).

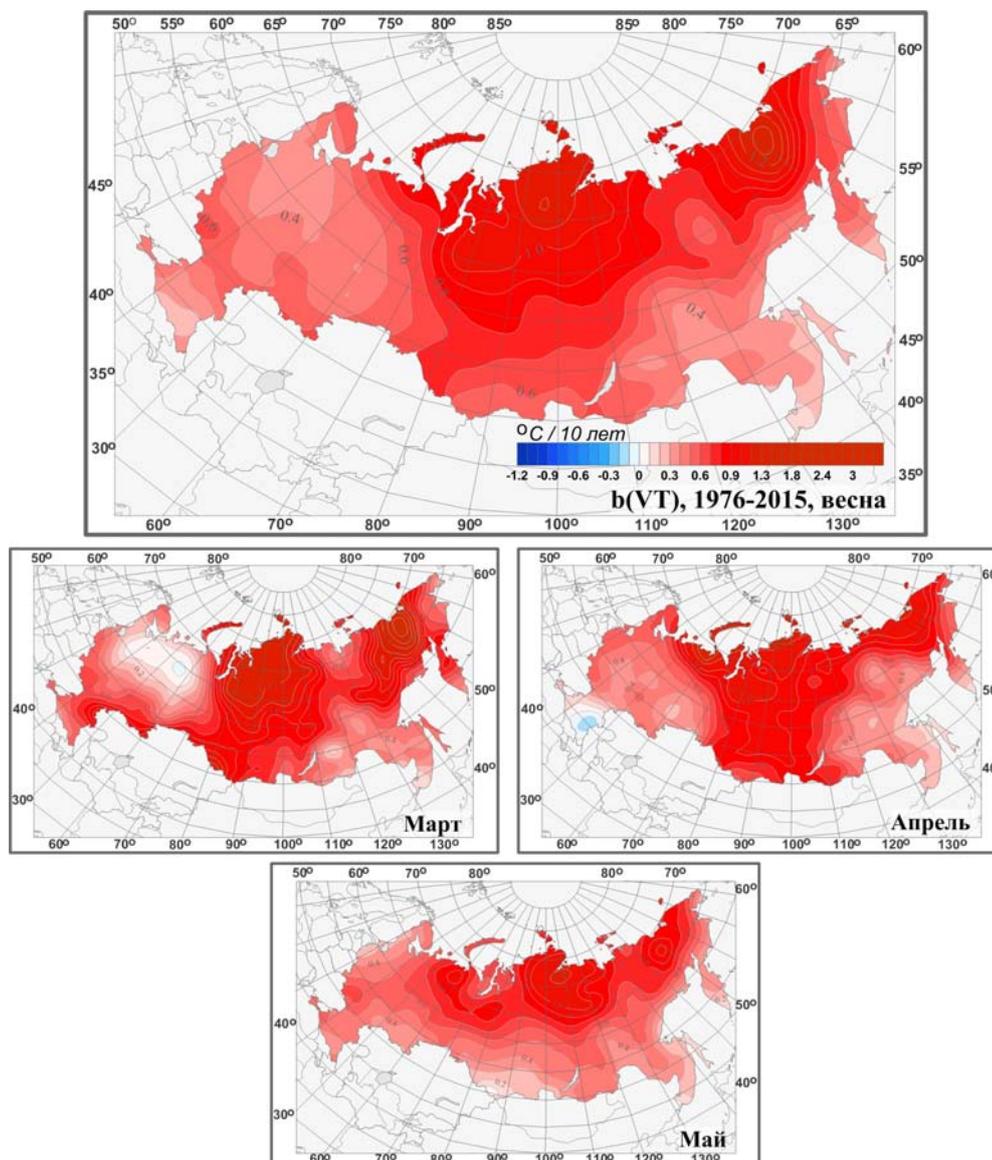


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) на территории России по данным за 1976-2015 (весна)

Рост температуры наблюдается во все месяцы сезона практически на всей территории РФ.

Наибольший рост температуры наблюдается в марте: в Западной и Средней Сибири (до $+1.2^{\circ}\text{C}/10$ лет), а также на северо-востоке (до $+1.8^{\circ}\text{C}/10$ лет), в апреле: на севере страны (до $+1.2^{\circ}\text{C}/10$ лет), в мае: на севере Средней Сибири (до $+1.2^{\circ}\text{C}/10$ лет).

В марте на севере европейской части страны наблюдается область, где похолодания практически нет (в оценках за период 1976-2014 гг. в этой области наблюдалось похолодание до $-0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет). В апреле на территории Северо-Кавказского ФО наблюдается слабое похолодание.

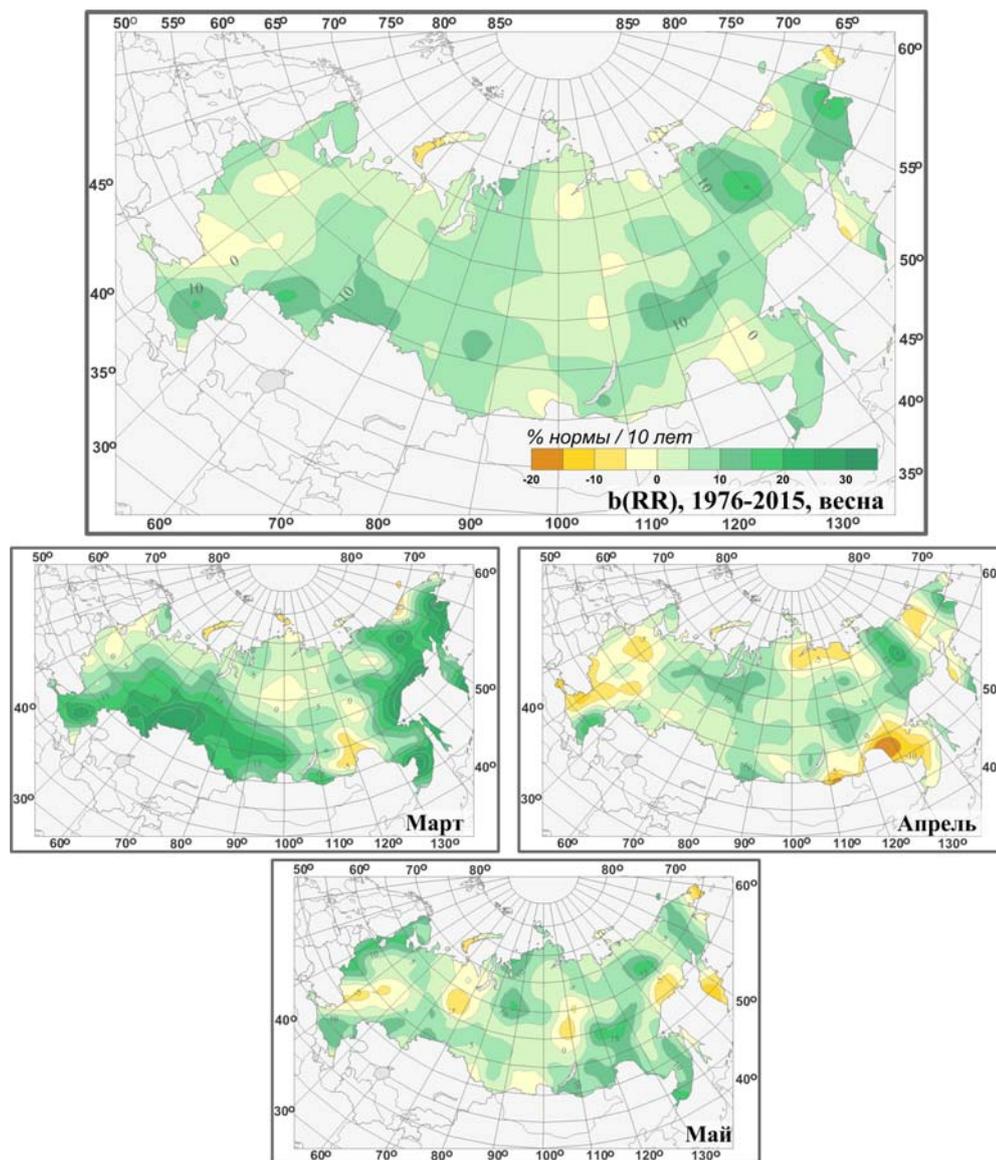


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы /10 лет) на территории России по данным за 1976-2015 (весна).

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 на западе 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 ЕЧР, на Среднем и Южном Урале и юге Западной и Средней Сибири, на востоке Якутии, вдоль побережья морей Тихого океана. Уменьшение осадков наблюдается на Среднесибирском плоскогорье (незначительное), в верхнем течении Амура (довольно значительное).

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, на западе Чукотского АО и Камчатского края. На западном побережье Каспийского моря, на Северном Урале и в нижнем течении Оби и Енисея, 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, на востоке Чукотки в мае наблюдается уменьшение осадков.

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

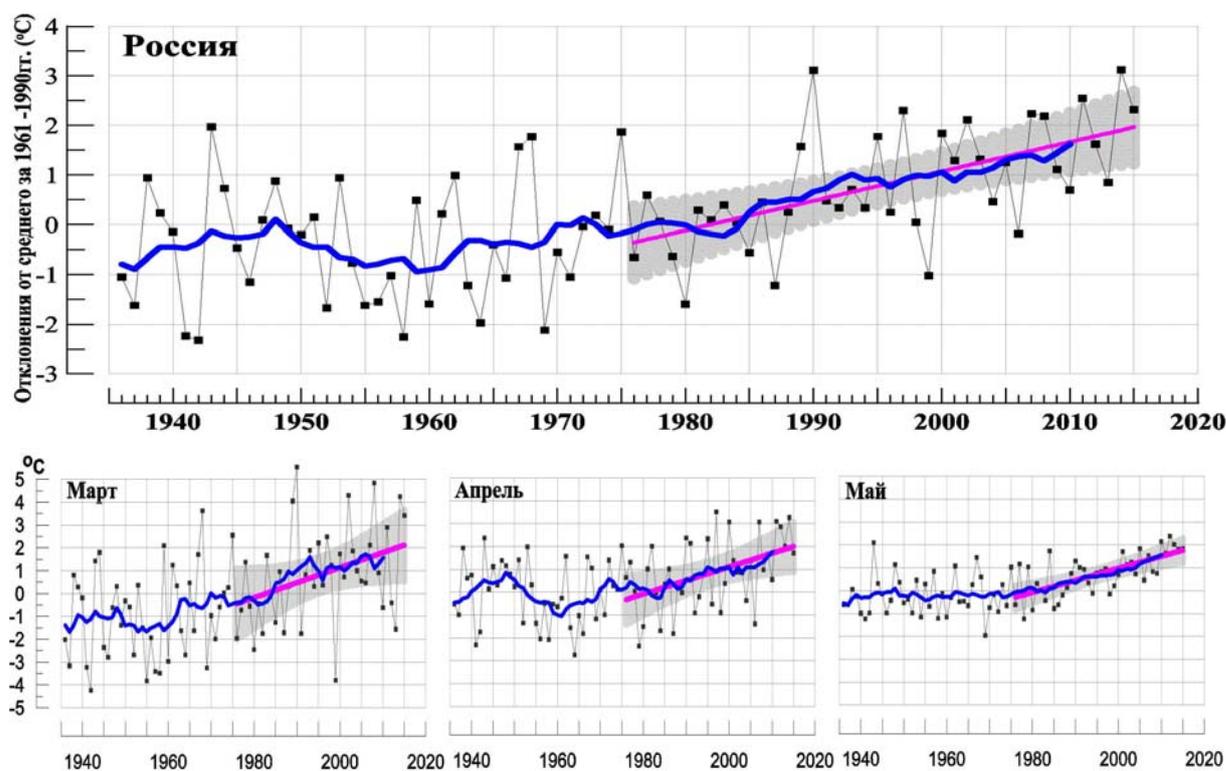


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) осредненная по территории РФ.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2015 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

Тренд средней по России весенней температуры за период 1976-2015 гг. положителен: он составляет $0.59^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 36% межгодовой изменчивости (табл. 3.1): тренд значим на 1%-м уровне, как и тренды 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 1976-2015 гг.

b – коэффициенты линейного тренда, D - вклад тренда в дисперсию ряда.

| Регион Российская Федерация | Температура | | Осадки | |
|-----------------------------|------------------|---------|----------------------|---------|
| | b °C/10 лет | D , % | b мм/мес/10 лет | D , % |
| Весна | 0.59 | 36 | 1.6 | 31 |
| Март | 0.66 | 13 | 2.4 | 31 |
| Апрель | 0.59 | 21 | 0.4 | 1 |
| Май | 0.53 | 46 | 2.0 | 21 |

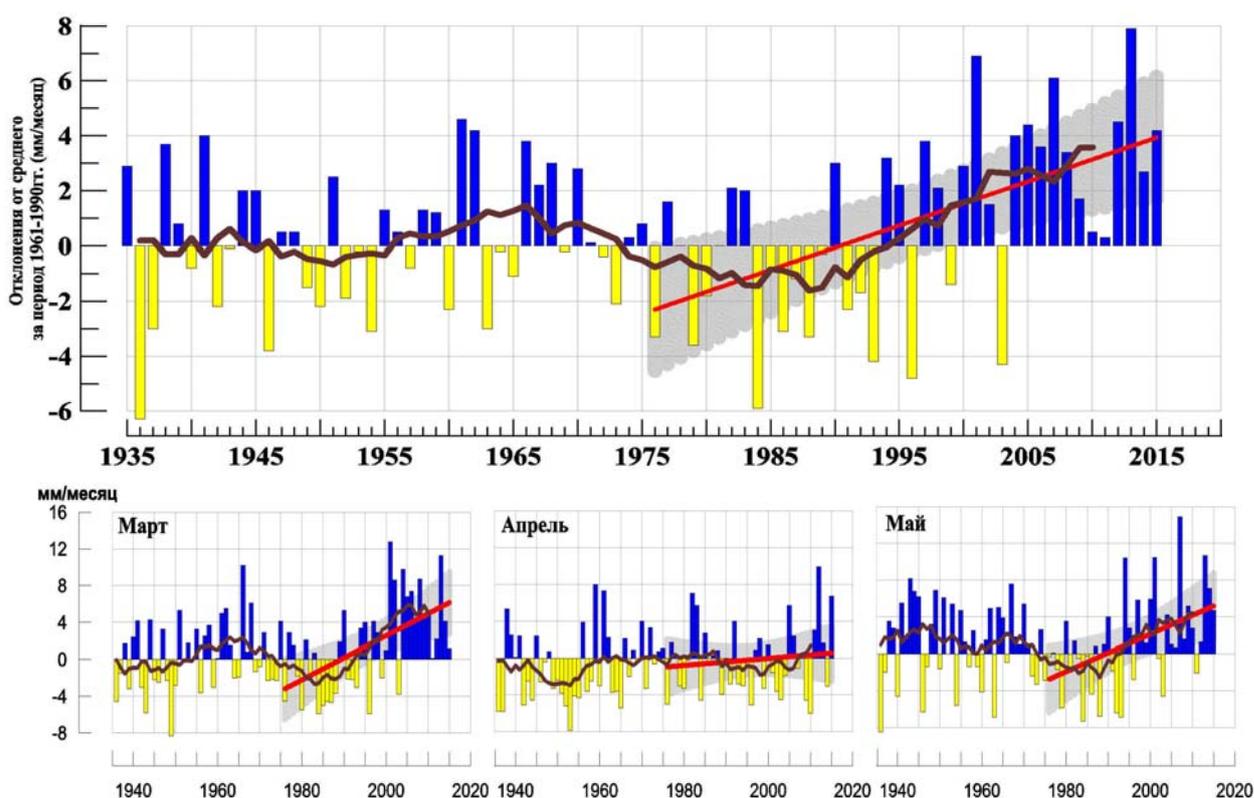


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/мес).

Тренд сезонных сумм осадков составляет 1.6 (мм/мес) / 10 лет и объясняет 31% 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 1936-2015 гг.

В разделе анализируется характер изменения регионально-осредненных температур и осадков для физико-географических регионов России и Федеральных округов. На рис. 4.1 – 4.4 приведены временные ряды осредненных по регионам аномалий средней месячной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и месячных сумм осадков (мм/месяц) весеннего сезона за 1936 – 2015 гг. На всех рисунках показаны линейные тренды за 1976-2015 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 1976-2015 гг. (весенний сезон),

b – коэффициенты линейного тренда, D - вклад тренда в дисперсию ряда.

| Регионы | Температура | | Осадки | | |
|---|----------------------------------|---------|----------------------|-------------------|---------|
| | b $^{\circ}\text{C}/10$ лет | D , % | b мм/мес/10 лет | b , %/10 лет | D , % |
| Россия | 0.59 | 36 | 1.6 | 5.8 | 31 |
| Физико-географические регионы России | | | | | |
| Европейская часть России | 0.45 | 21 | 1.7 | 4.6 | 14 |
| Западная Сибирь | 0.70 | 25 | 2.4 | 8.4 | 29 |
| Средняя Сибирь | 0.75 | 29 | 1.1 | 5.2 | 23 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 0.54 | 20 | 0.9 | 4.5 | 7 |
| Приамурье и Приморье | 0.31 | 11 | 2.1 | 5.4 | 8 |
| Восточная Сибирь | 0.71 | 33 | 1.3 | 6.7 | 23 |
| Федеральные округа РФ | | | | | |
| Северо-Западный | 0.45 | 15 | 1.6 | 4.5 | 13 |
| Центральный | 0.48 | 18 | 1.1 | 2.8 | 3 |
| Приволжский | 0.46 | 16 | 1.7 | 5.3 | 7 |
| Южный | 0.46 | 17 | 1.7 | 4.3 | 5 |
| Северно-Кавказский | 0.32 | 16 | 3.1 | 5.6 | 9 |
| Уральский | 0.68 | 20 | 2.4 | 8.5 | 24 |
| Сибирский | 0.69 | 29 | 1.4 | 5.7 | 18 |
| Дальневосточный | 0.60 | 31 | 1.5 | 6.3 | 29 |
| Крымский | 0.46 | 20 | -0.2 | -0.6 | 0 |

Во всех регионах в среднем за период 1976-2015 гг. наблюдается рост температуры: тренды значимы на 1%-м уровне для всех регионов, исключая Приамурье и Приморье. Для большинства регионов 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. С середины 1990-х гг. рост температуры в

Прибайкалье и Забайкалье, в Приамурье и Приморье, в Сибирском ФО весенние температуры остаются примерно постоянными.

В таблице 4.1 приведены оценки линейных трендов регионально осредненных значений температуры и осадков за 1976-2015 гг. для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. По сравнению с периодом 1976-2014 гг. в Северо-Западном и Центральном ФО, Уральском ФО наблюдается увеличение трендов на $0.08^{\circ}\text{C}/10$ лет, $0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет, $0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно, за счет аномально теплой весны в этих регионах. В Южном и Северо-Кавказском ФО наблюдается уменьшение трендов на $0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет и $0.02^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно.

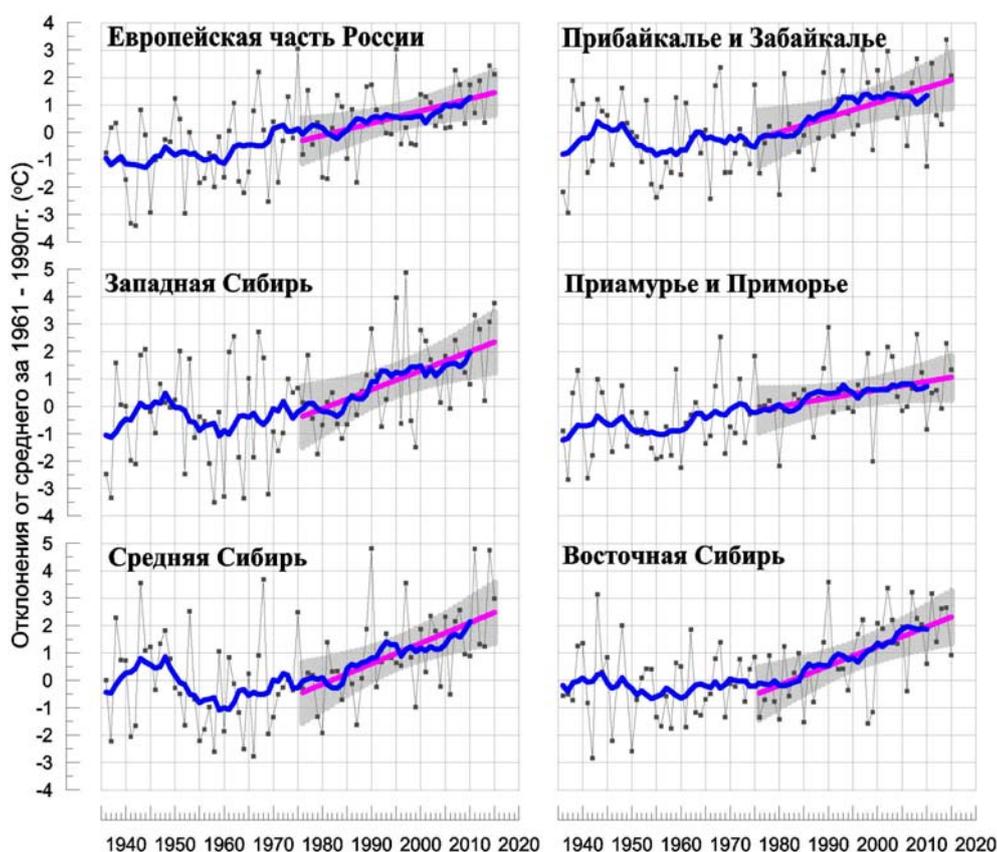


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, весна 2015 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2015 гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда.

В изменениях осадков (рис. 4.3, 4.4) 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; Северо-Западный, Уральский, Сибирский и Дальневосточный ФО).

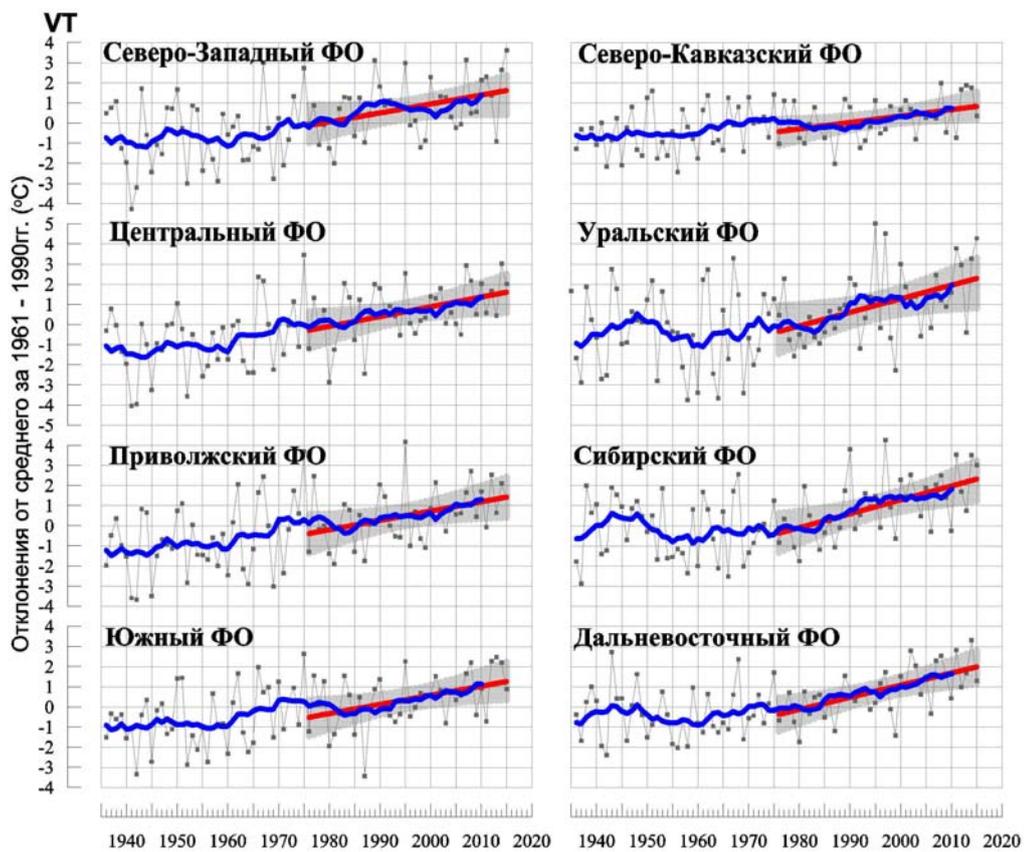


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

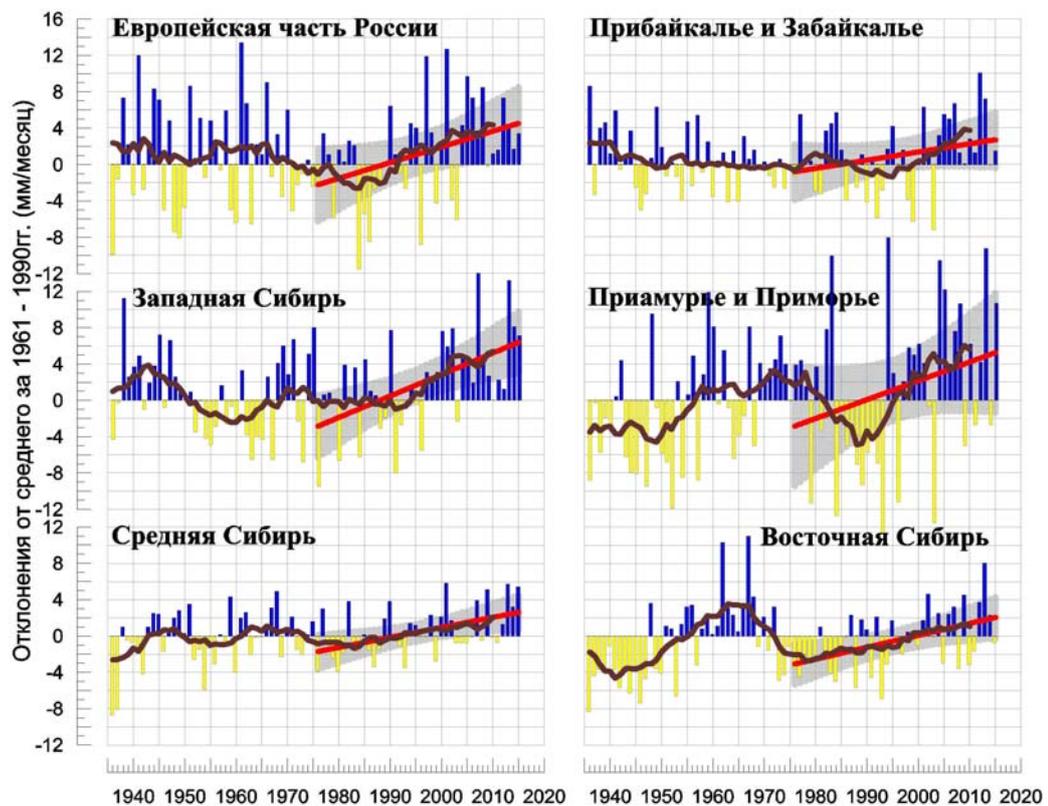


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, весна 2015 гг.

Условные обозначения см. на рис. 4.1.

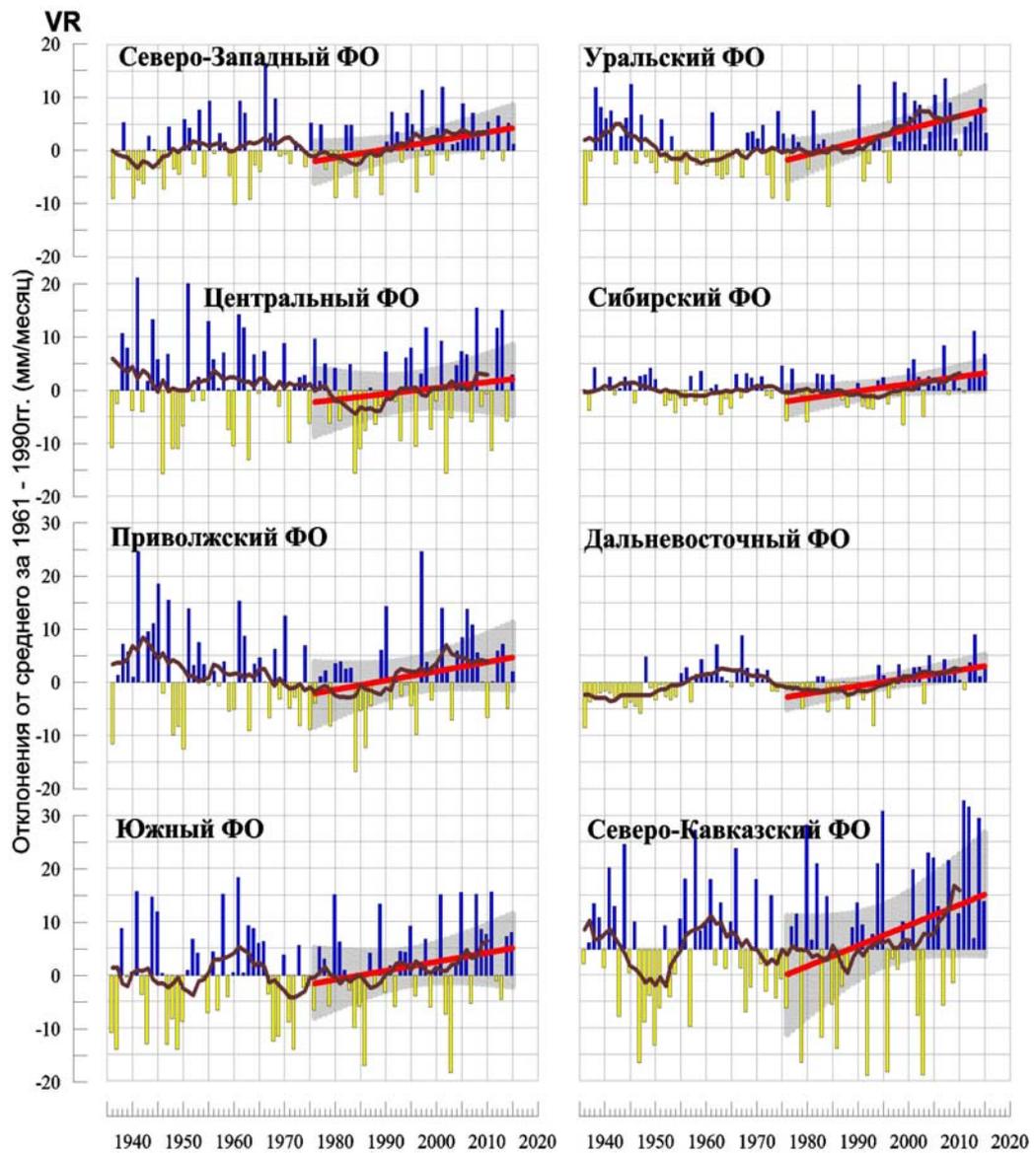


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

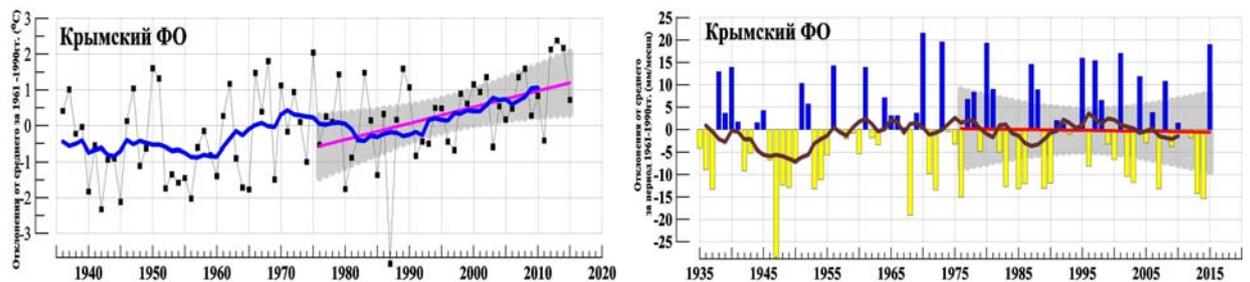


Рисунок 4.5 – – То же, что на рис. 4.1 - 4.4, но для Крымского ФО.

5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2015 гг. (весенний сезон)

В разделе приведены некоторые индексы экстремальности и аномальности для весеннего сезона в целом по территории России за период 1936 -2015 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 2015 г. (рис. 5.1) площадь, занятая крупными положительными аномалиями (выше 80-го перцентиля) была велика (66% - седьмая величина в ранжированном по убыванию ряду), наибольшая площадь, занятая аномалиями более 80-го перцентиля наблюдалась весной 2014 года: 96%). Площадь, занятая аномалиями меньше 20-го перцентиля весной 2015 года составила лишь 1%. С 1976 г. (начало глобального потепления) наблюдается увеличение площади под крупными положительными аномалиями, тренд за период 1976-2015 составляет 13,3%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 33%).

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%), 1937 (19%), 1945 (15%), 1958 (10%), 1966 (10%). С конца 1980-х гг. преобладают положительные экстремумы.

Весны с наибольшими площадями под экстремумами тепла: 1990 (35% площади занято экстремально теплыми аномалиями), 1997 (26%), 1995 (23%), 2014 (22%), 2011 (22%), 1968 (18%), 1975 (16%), 2015 (14%). Как видно, весна 2015 г. входит в число семи весен с наибольшей площадью под экстремумами тепла: доля площади под экстремально теплыми аномалиями составила 14%, под экстремально холодными - 0%. Однако, хотя в среднем весна 2014 г. была четвертой самой теплой с 1936 г., по степени экстремальности она лишь 7-я.

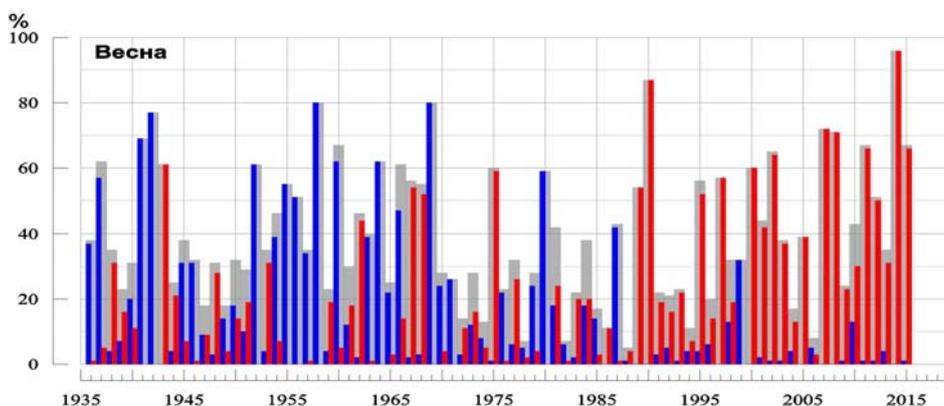


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2015 гг. (весна):

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

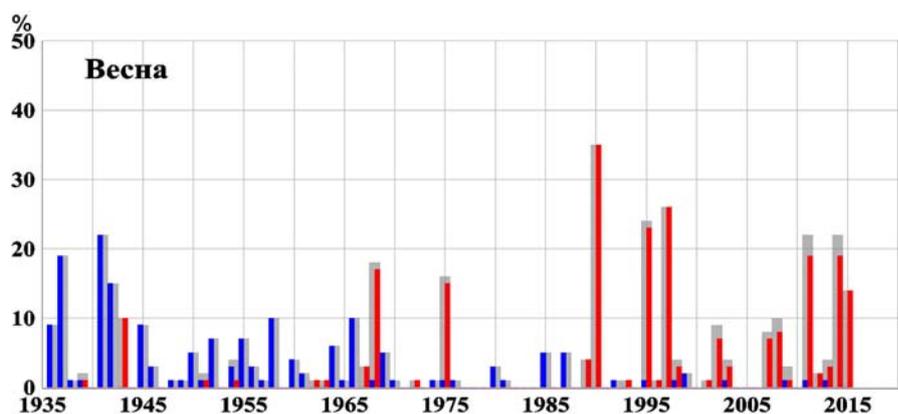


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры весной, 1936-2015 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

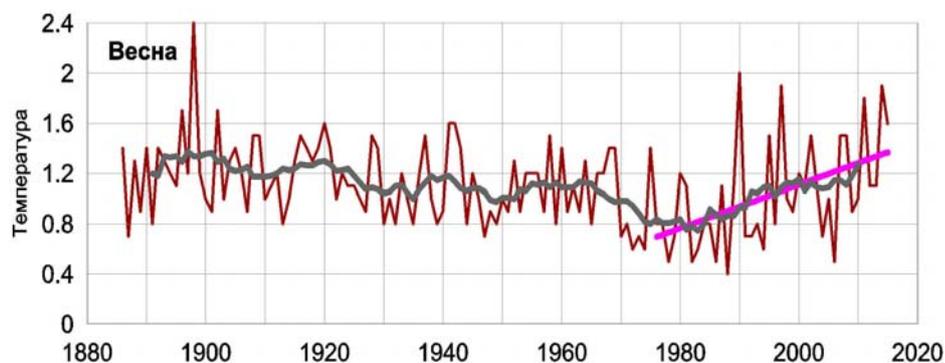


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России весной 1886-2015 гг.

Анализ изменений индекса аномальности Багрова (рис. 5.3) показывает, что с начала 1980-х гг. аномальность температурного режима на территории РФ в весенний сезон растет – тренд за период 1976-2015 гг. составил $0.17 / 10$ лет и объясняет 22% общей дисперсии ряда.

Осадки. Весной 2015 г. площадь, занятая крупными аномалиями выше 80-го перцентиля (рис. 5.4) составила 29%, ниже 20-го перцентиля – 11%, и то и другое близко к среднему с начала 21-го века. С 1976 г. наблюдается увеличение площади под аномалиями выше 80-го перцентиля, тренд за период 1976-2015 составляет $4.9\%/10$ лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 37%: тренд значим на уровне 1%) и уменьшение площади под аномалии ниже 20-го перцентиля, тренд за период 1976-2015 составляет $-2.6\%/10$ лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 14%).

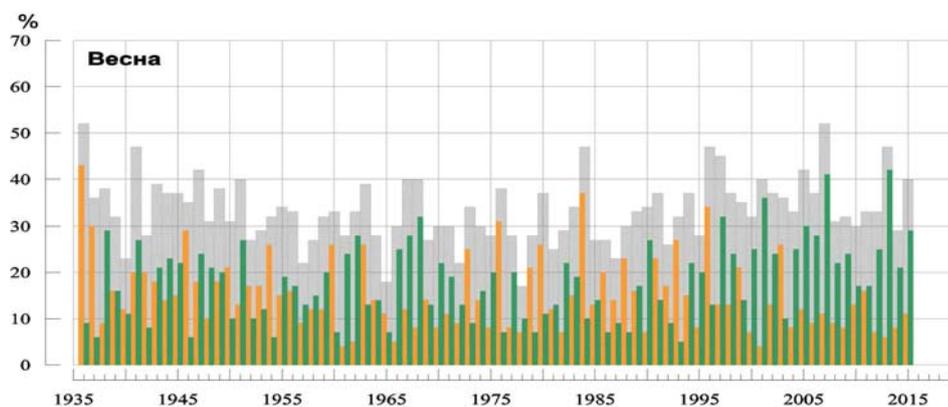


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2015 гг. (весна):

- 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 $+1.27^{\circ}\text{C}$ – рекордная величина в ряду с 1886 г.

2. Весна для России в целом была очень теплой (осредненная сезонная аномалия $+2.32^{\circ}\text{C}$ – четвертая величина в ряду). Тепло всюду (кроме Магаданской области), особенно тепло в Северо-Западном ФО и в Западной Сибири (осредненные аномалии температуры: $+3.61^{\circ}\text{C}$ и 3.76°C – рекордная первая и третья величины в соответствующих рядах).

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными среднесезонными аномалиями температуры (выше 80-го перцентиля), составила 66%, а под экстремальными положительными аномалиями (выше 2σ) 14% - это седьмые величины в соответствующих ранжированных по убыванию рядах.

4. Очень теплым был март. Осредненная по России аномалия температуры $+3.42^{\circ}\text{C}$ – 7-ая положительная величина в ряду. Экстремально тепло было на севере ЕЧР (осредненная по Северо-Западному ФО аномалия температуры $+5.17^{\circ}\text{C}$, ранг 2), а также в Приамурье и Приморье (осредненная по территории аномалия температуры $+4.22^{\circ}\text{C}$, ранг 3). Лишь на Чукотке и севере Корякского АО холодно (аномалии до -4.5°C).

Очень теплым был также май. Осредненная по России аномалия температуры $+1.87^{\circ}\text{C}$ – 5-ая положительная величина в ряду. Экстремально тепло на северо-востоке ЕЧР, в Западной Сибири и в западных районах Средней Сибири. Осредненная по Уральскому ФО аномалия температуры $+4.85^{\circ}\text{C}$ - рекордная величина в ряду. Холодно лишь на востоке Дальневосточного ФО (аномалии до -2.2°C).

Осредненная по России апрельская аномалия температуры $+1.71^{\circ}\text{C}$ – 16-ая положительная величина в ряду. Очень тепло в Сибирском ФО (особенно в северных районах), осредненная по территории ФО аномалия температуры $+3.38^{\circ}\text{C}$, ранг 8. Холодно в апреле в южных районах ЕЧР и на большей части Дальневосточного ФО.

5. Весной в среднем по РФ выпало 115% нормы осадков (ранг 7).

Экстремальный избыток осадков наблюдался в Сибирском ФО (129% нормы, ранг 3) и в Приамурье и Приморье (127% нормы, ранг 7). Значительный дефицит осадков весной (60% - 80% нормы) наблюдался в Магаданской области, на части Якутии и Чукотки.

6. Весной площадь, занятая крупными аномалиями осадков выше 80 перцентиля составила 29%, ниже 20-го перцентиля – 11%.

7. Экстремальное количество осадков выпало **в апреле** - осредненные по РФ осадки 125% нормы – ранг 5. Значительный избыток осадков наблюдался в ЕЧР и в Сибирском ФО: осредненные по территории осадки: 135%, 137% нормы – четвертые максимальные величины в рядах. В ЕЧР наибольшее количество осадков выпало в Южном ФО: 194% нормы - рекордная величина в ряду. В апреле сильный дефицит осадков (менее 40% нормы) наблюдался на юге Бурятии и в Читинской области, в центральных районах Якутии, в Магаданской области.

В *марте* сильный дефицит осадков наблюдался в ЕЧР: осредненные по территории ЕЧР осадки 61% нормы – пятая минимальная величина в ряду. Значительный избыток осадков *в марте* наблюдался на большей части АЧР, особенно в Средней Сибири: осредненные по региону осадки 160% нормы – рекордная величина в ряду.

В *мае* значительный избыток осадков (40%-80%) наблюдался на Южном Урале (на ряде станций выпало более 2-х месячных норм). Сильный дефицит осадков наблюдался на Среднем и Северном Урале, в низовьях Оби, на Среднесибирском плоскогорье, в Магаданской области, на Камчатке,

8. В целом по России линейный тренд весенней температуры воздуха за период 1976-2015 гг. составил $+0.59^{\circ}\text{C}/10$ лет при вкладе тренда в дисперсию ряда 36%, что более чем в полтора раза выше, чем в среднем для суши Северного полушария ($+0.35^{\circ}\text{C}/10$ лет, вклад в дисперсию ряда 76%). Наиболее быстрое потепление наблюдается на севере АЧР (до $+1.4^{\circ}\text{C}/10$ лет в Чукотском АО), максимум - в марте (в Чукотском АО до $+1.8^{\circ}\text{C}/10$ лет). На ЕЧР, в Приамурье и Приморье весенние температуры растут значительно слабее. В Прибайкалье и Забайкалье, в Приамурье и Приморье, в Сибирском ФО начиная с 1990 гг. происходит замедление роста температуры.

9. Тренд весенних сумм осадков для России в целом положителен: составляет $+1.6\% /10$ лет, объясняет 31% межгодовой изменчивости. Наиболее интенсивный рост осадков (более $10\%/10$ лет) наблюдается на западе 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 (кроме Крымского ФО). Следует отметить для марта исключительно высокие темпы роста осадков (выше 20% 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 2015



ВВЕДЕНИЕ

В настоящем Приложении* приводится информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) весной 2015 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 2015 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 станционных «нормах» (средних многолетних за базовый период) рассчитываются регионально осредненные «нормы». Регионально осредненные значения самих климатических переменных рассчитываются суммированием регионально осредненных «норм» и регионально осредненных аномалий (этот алгоритм уменьшает смещение средних, вызываемое пропусками в рядах наблюдений).

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ВЕСНОЙ 2015 г.

В таблицах 2 и 3 приведены станционные 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) на всех станциях республики аномалии температуры были выше нормы, аномалии от +1.56°C (в Бресте) до +2.48°C (в Витебске). Сезонная аномалия температуры, осредненная по территории республики +1.93°C – 12-ая положительная величина в ряду.

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси весной 2015 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 | 7.83 | 8.00 | 7.63 | 9.07 | 9.03 | 8.90 | 9.17 |
| Март | 3.6 | 4.0 | 3.6 | 5.2 | 5.1 | 4.6 | 4.2 |
| Апрель | 7.1 | 7.3 | 6.8 | 8.5 | 8.1 | 7.9 | 8.4 |
| Май | 12.8 | 12.7 | 12.5 | 13.5 | 13.9 | 14.2 | 14.9 |
| б) аномалия температуры (град. Цельсия) | | | | | | | |
| Весна | 2.48 | 2.15 | 2.05 | 1.56 | 1.94 | 1.82 | 2.20 |
| Март | 5.76 | 5.38 | 5.51 | 4.10 | 5.04 | 4.96 | 4.99 |
| Апрель | 1.55 | 1.31 | 1.09 | 0.76 | 0.54 | 0.46 | 1.01 |
| Май | 0.13 | -0.23 | -0.46 | -0.19 | 0.24 | 0.04 | 0.61 |

Тепло было в марте (особенно) и в апреле. Март очень теплый месяц в сезоне: на всех станциях температура выше 95-го перцентиля, аномалии температуры от +4.10°C (в Бресте) до +5.76°C (в Витебске). Мартовская аномалия температуры, осредненная по территории республики +5.00°C – 4-ая положительная величина в ряду (в прошлом

2014 году в марте было также очень тепло: аномалия температуры составила $+6.13^{\circ}\text{C}$). В апреле аномалии температуры от $+0.46^{\circ}\text{C}$ (в Василевичах) до $+1.55^{\circ}\text{C}$ (в Витебске).

В мае температура на станциях на западе республике была ниже нормы, на востоке – выше нормы, но аномалии температуры по модулю не превышали 0.6°C .

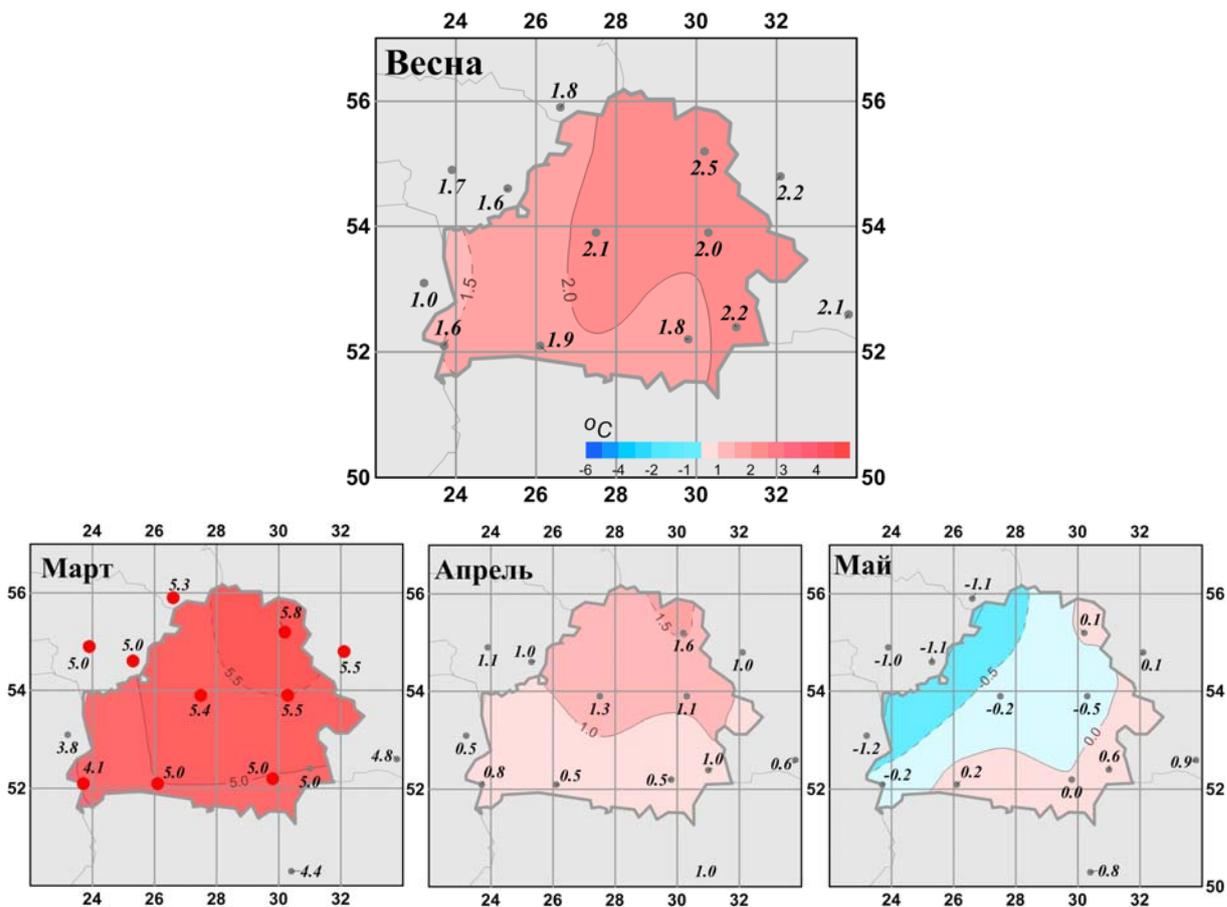


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры ($^{\circ}\text{C}$) приземного воздуха на территории республики Беларусь весной.

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

Весной (рис. 2) осредненные по территории республики осадки составили 104% сезонной нормы (ранг 36). Много осадков выпало на юго-западе республики (126% нормы выпало в Бресте). Меньше всего осадков выпало в Василевичах: 82% сезонной нормы.

В марте в центральных районах республики отмечался дефицит осадков (в Минске выпало 65% нормы, в Пинске: 71%). На остальной территории республики отмечался избыток осадков, особенно на востоке (в Могилеве выпало 118% нормы).

В апреле избыток осадков отмечался в центральных и северных районах республики (в Минске выпало 142% нормы, в Витебске – 137%). В юго-восточных районах отмечался дефицит осадков: в Гомеле выпало 35% месячной нормы.

В мае в западных и восточных районах отмечался значительный избыток осадков (в Бресте выпало 157% нормы, в Гомеле – 158%), в центральных районах

отмечался небольшой дефицит осадков, меньше всего осадков выпало в Василевичах: 77% нормы.

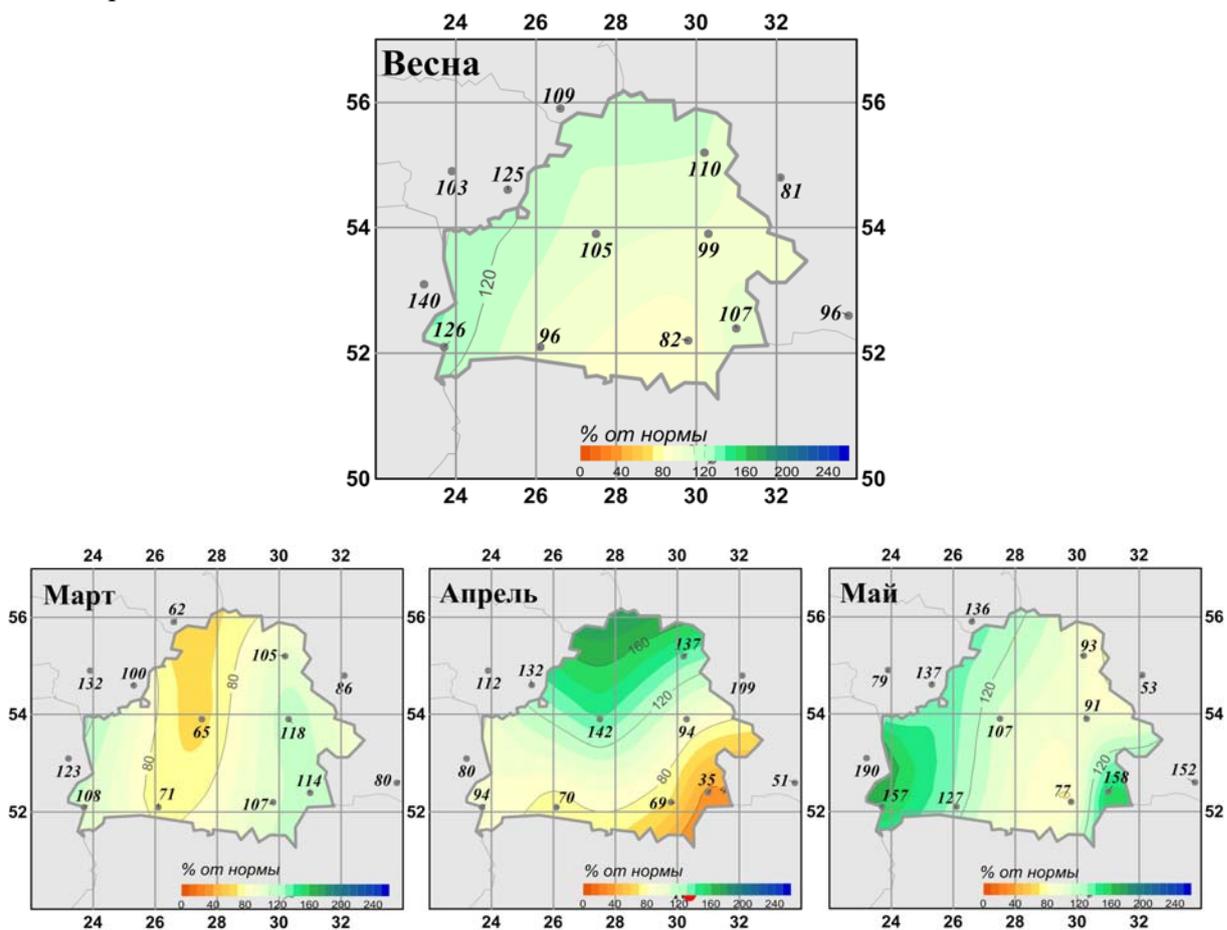


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь весной.

Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1990 гг. Цифрами приведены значения аномалий температуры (в градусах Цельсия) и осадков (в % от нормы) на станциях. Красным кружком показан стационарный экстремум – ниже 5-го процентиля

Таблица 3

Характеристики режима осадков на станциях Беларуси весной 2015 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> | 46.7 | 51.0 | 43.0 | 54.0 | 38.7 | 36.0 | 42.0 |
| Март | 41 | 27 | 41 | 33 | 21 | 36 | 37 |
| Апрель | 53 | 60 | 38 | 37 | 26 | 31 | 13 |
| Май | 46 | 66 | 50 | 92 | 69 | 41 | 76 |
| б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц) | | | | | | | |
| <i>Весна</i> | 4.3 | 2.5 | -0.4 | 11.2 | -1.7 | -8.1 | 2.8 |
| Март | 2. | -14.8 | 6.4 | 2.4 | -8.6 | 2.3 | 4.6 |
| Апрель | 14.2 | 17.8 | -2.3 | -2.3 | -11.3 | -14.2 | -24.2 |
| Май | -3.2 | 4.4 | -5.2 | 33.5 | 14.7 | -12.3 | 28.0 |
| в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы) | | | | | | | |

| <i>Весна</i> | <i>110</i> | <i>105</i> | <i>99</i> | <i>126</i> | <i>96</i> | <i>82</i> | <i>107</i> |
|--------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| Март | 105 | 65 | 118 | 108 | 71 | 107 | 114 |
| Апрель | 137 | 142 | 94 | 94 | 70 | 69 | 35 |
| Май | 93 | 107 | 91 | 157 | 127 | 77 | 158 |

На рисунках 3, 4 показаны временные ряды осредненных по территории Беларуси сезонных и месячных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 по 2015 гг.

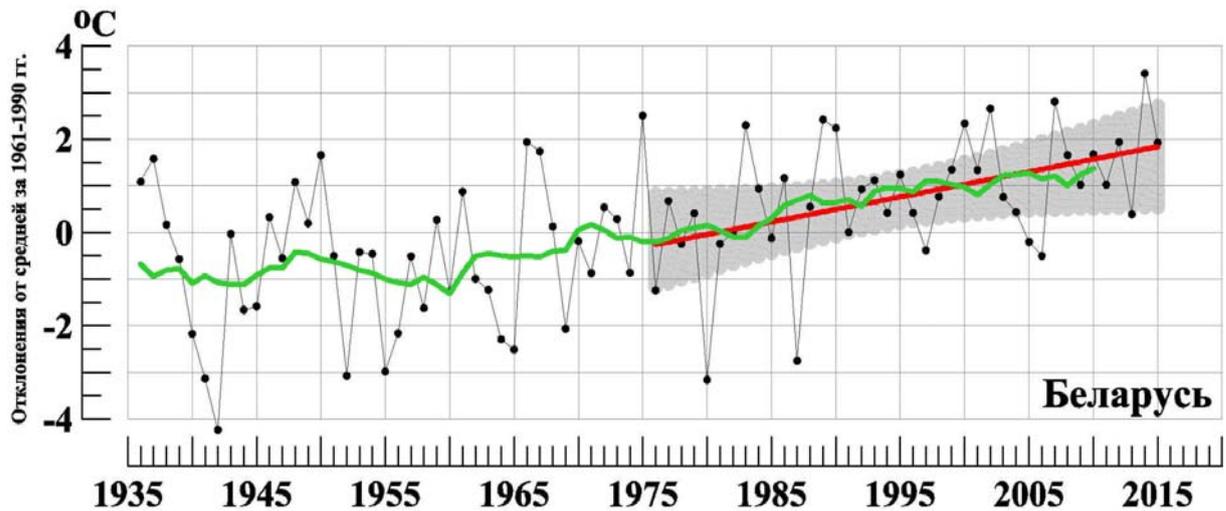


Рисунок 3 - Сезонные (март - май) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2015 гг.

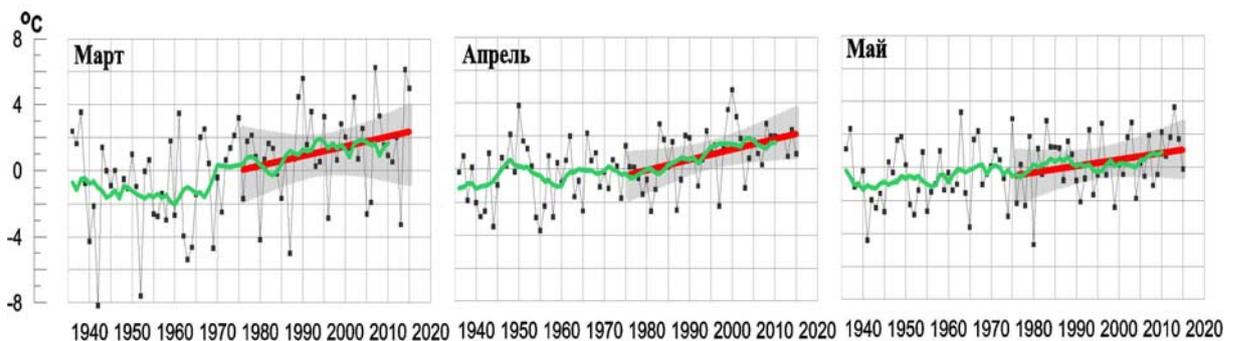


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рисунке 3.

Тренд весенних температур, в среднем по территории Беларуси, составил $+0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 22% дисперсии). Во все месяцы сезона тренд положителен. Наибольшее потепление наблюдается в апреле: тренд составил $+0.63^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 20% дисперсии ряда).

В изменении регионально осредненных осадков сезонный тренд составил 2.7 мм/месяц/10 лет (ответствен за 11% дисперсии). Рост осадков отмечается в мае: $+7.8$ мм/месяц/10 лет (ответствен за 20% дисперсии), в марте рост осадков незначительный:

1.1 мм/месяц/10 лет, 1%. В апреле наблюдается слабое уменьшение осадков.

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.

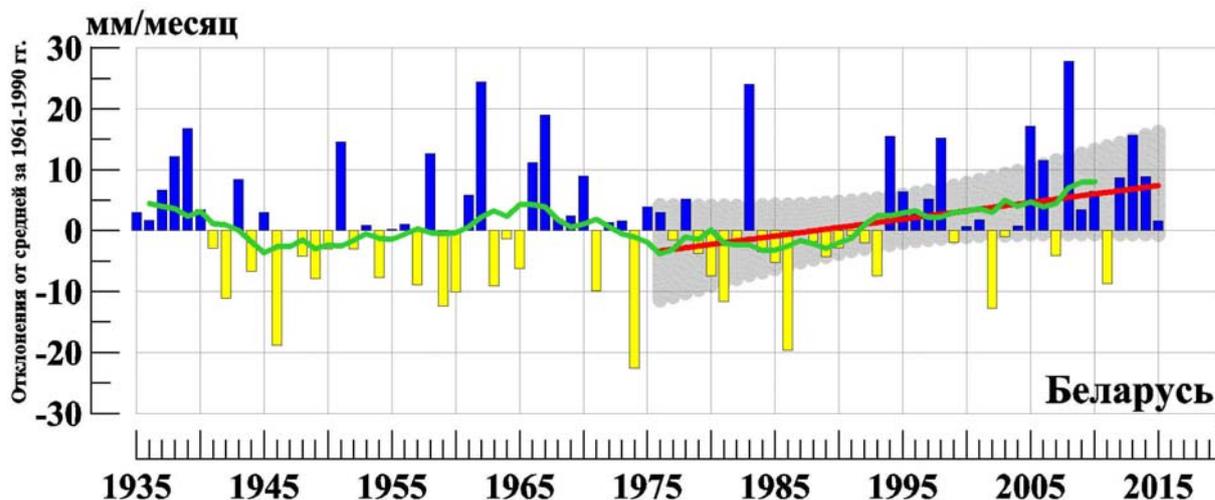


Рисунок 5 - Сезонные (март - май) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рис. 3

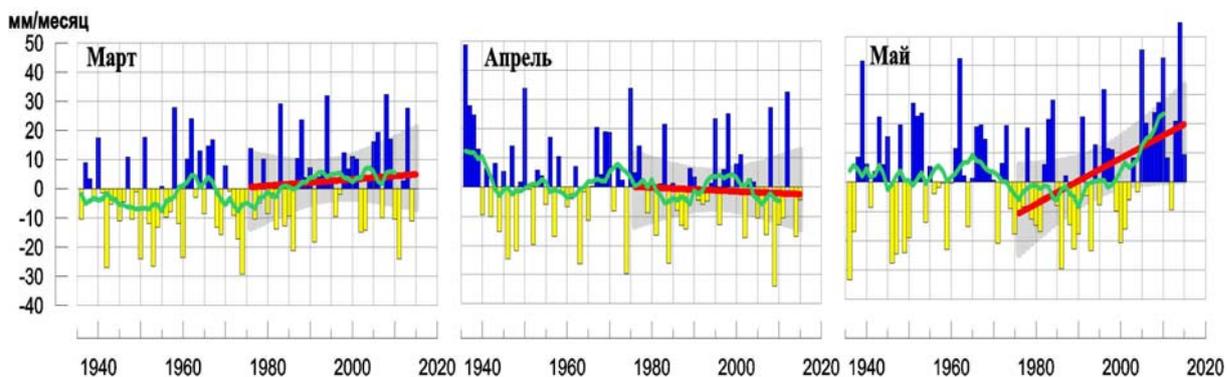


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.

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_{2015} | s | νR_{2015} | s |
|--------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| Весна | 1.93 | 1.58 | 1.6 | 10.6 |
| Март | 5.00 | 2.93 | -0.2 | 14.5 |
| Апрель | 0.91 | 1.51 | -4.4 | 14.8 |
| Май | -0.11 | 1.95 | 9.4 | 17.4 |

Примечание: Аномалии νT_{2015} ($^{\circ}\text{C}$), νR_{2015} (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 1976-2015 гг. в среднем по Республике Беларусь

| Сезон | Температура | | Осадки | |
|--------------|--|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| | $b_{1976-2015}$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет | $D_{1976-2015}$ % | $b_{1976-2015}$ мм/мес/10лет | $D_{1976-2015}$ % |
| Весна | 0.54 | 22 | 2.7 | 11 |
| Март | 0.59 | 7 | 1.1 | 1 |
| Апрель | 0.63 | 20 | -0.7 | 0 |
| Май | 0.40 | 7 | 7.8 | 20 |

ВЫВОДЫ

1. Весна в Беларуси была теплой, осредненная по территории республики сезонная аномалия температуры $+1.93^{\circ}\text{C}$ – 12-ая положительная величина в ряду, на всех станциях республики сезонные аномалии выше $+1.5^{\circ}\text{C}$. Особенно тепло было в марте: аномалия температуры, осредненная по территории республики составила $+5.00^{\circ}\text{C}$ – 4-ая положительная величина в ряду. Следует отметить, что в марте второй год подряд наблюдается аномально теплая погода.

В апреле аномалии температуры на станциях были не выше $+1.5^{\circ}\text{C}$. В мае аномалии температуры на станциях по модулю не превышали 0.6°C

2. В среднем по Беларуси осадки составили 104% нормы (ранг 36).

Из месяцев следует отметить апрель: в северных районах значительный избыток осадков (до 142% нормы), в юго-восточных районах наблюдался сильный дефицит осадков (в Гомеле выпало лишь 35% нормы).

Значительный избыток осадков отмечался также в мае на западе республики (в Бресте выпало 157% нормы) и на востоке (в Гомеле выпало 158% нормы).

Дефицит наблюдался в марте в центральных районах (в Минске выпало лишь 65% 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 22% дисперсии), так и в отдельные весенние месяцы. Наибольшее потепление наблюдается в апреле: тренд составил $+0.63^{\circ}\text{C}/10$ лет (ответствен за 20% дисперсии ряда).

В целом для Беларуси отмечается тенденция к увеличению осадков, линейный тренд составил 2.7 мм/месяц/10 лет (ответствен за 11% дисперсии), рост осадков отмечается в мае: $+7.8$ мм/месяц/10 лет (ответствен за 20% дисперсии). В апреле наблюдается слабое уменьшение осадков.