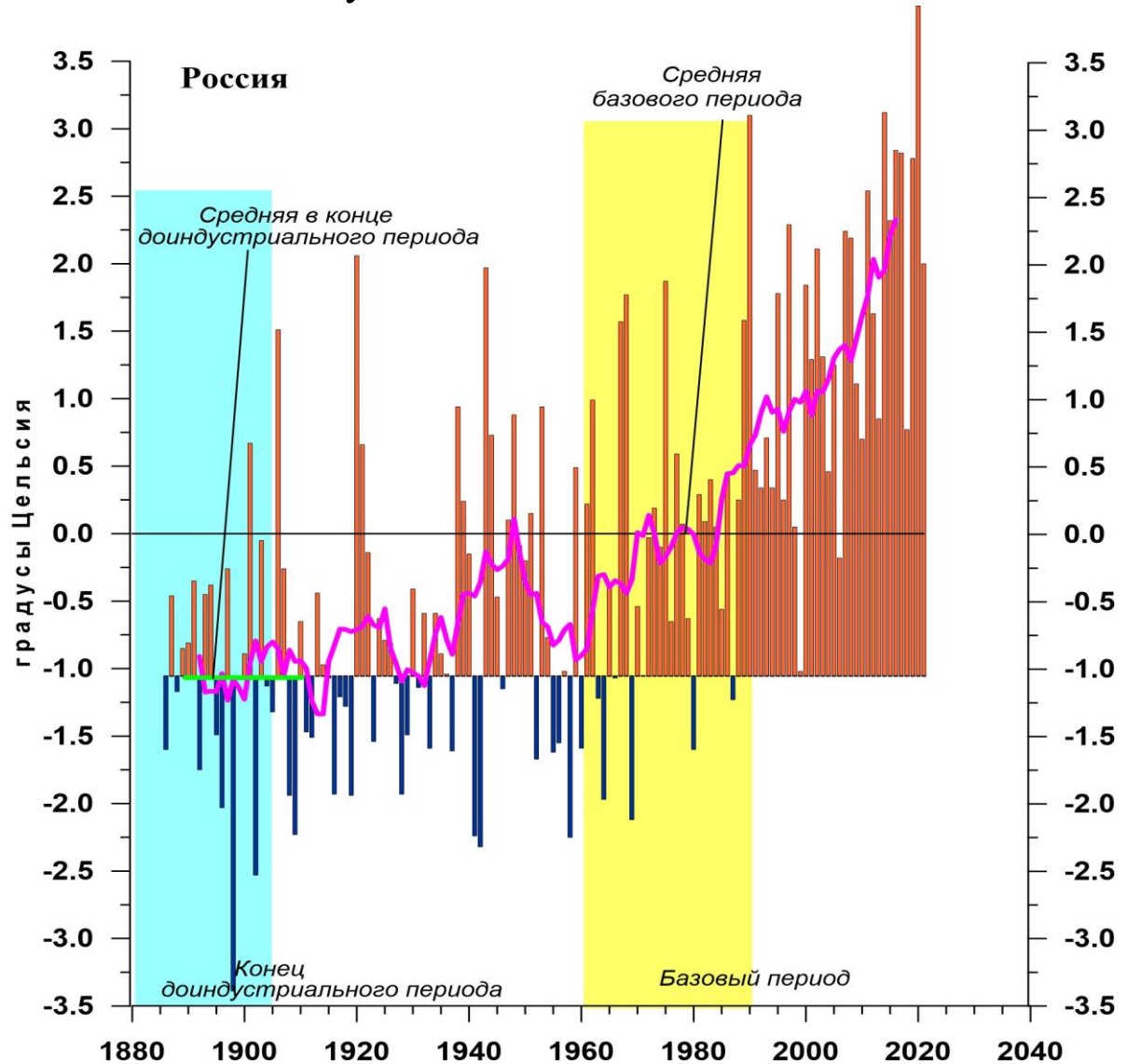


Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2021

ВЕСНА: март – май

Обзор состояния и тенденций изменения
климата России (базовый период 1961-1990)

★
Москва 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (весенний сезон)..... | 6 |
| 2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕСНЫ 2021 г. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ | 7 |
| 3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ВЕСЕННИЙ СЕЗОН..... | 15 |
| 4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ВЕСЕННЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ, 1936-2021 гг..... | 20 |
| 5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2021 гг. (весенний сезон) | 24 |
| ВЫВОДЫ | 28 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности весны 2021 г. на территории Республики Беларусь | 30 |

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2021 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 базовых архивах ФГБУ «ИГКЭ». Архивы включают данные инструментальных наблюдений на 1383 (температура и осадки) и 3288 (только температура) станциях земного шара, в том числе 455 (702) станций стран СНГ и Балтии (из них 310 (576) станций России). В настоящем выпуске использованы данные 247 (404) российских станций, по которым своевременно поступили сводки КЛИМАТ в оперативном потоке.

Под «нормой» в бюллетене понимается среднее многолетнее значение рассматриваемой климатической переменной за 1991-2021 гг. (базовый период). Аномалии температуры определяются как отклонения наблюдаемого значения от нормы. Аномалии осадков рассматриваются как в отклонениях от нормы (аналогично температуре), так и в процентах от нормы, то есть как процентное отношение количества выпавших осадков к соответствующему значению нормы. Вероятность непревышения текущего значения климатической переменной (или ее аномалии) рассчитывается как доля наблюдений в прошлом, в которых значение этой переменной (или ее аномалии) было не больше текущего.

Регионально осредненные оценки приводятся в Бюллетене для физико-географических регионов России (рис. 1) и Федеральных округов РФ (рис. 2) по данным с 1936 г., так как до этого срока в архиве имеются массовые пропуски данных наблюдений.



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

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

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

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

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



Рисунок 2 - Федеральные округа Российской Федерации

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

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

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

Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ»** с использованием материалов НИУ Росгидромета: ФГБУ «Гидрометцентр РФ» 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»).

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

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

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 2021: 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». Представлен также линейный тренд за 1976-2021 гг.

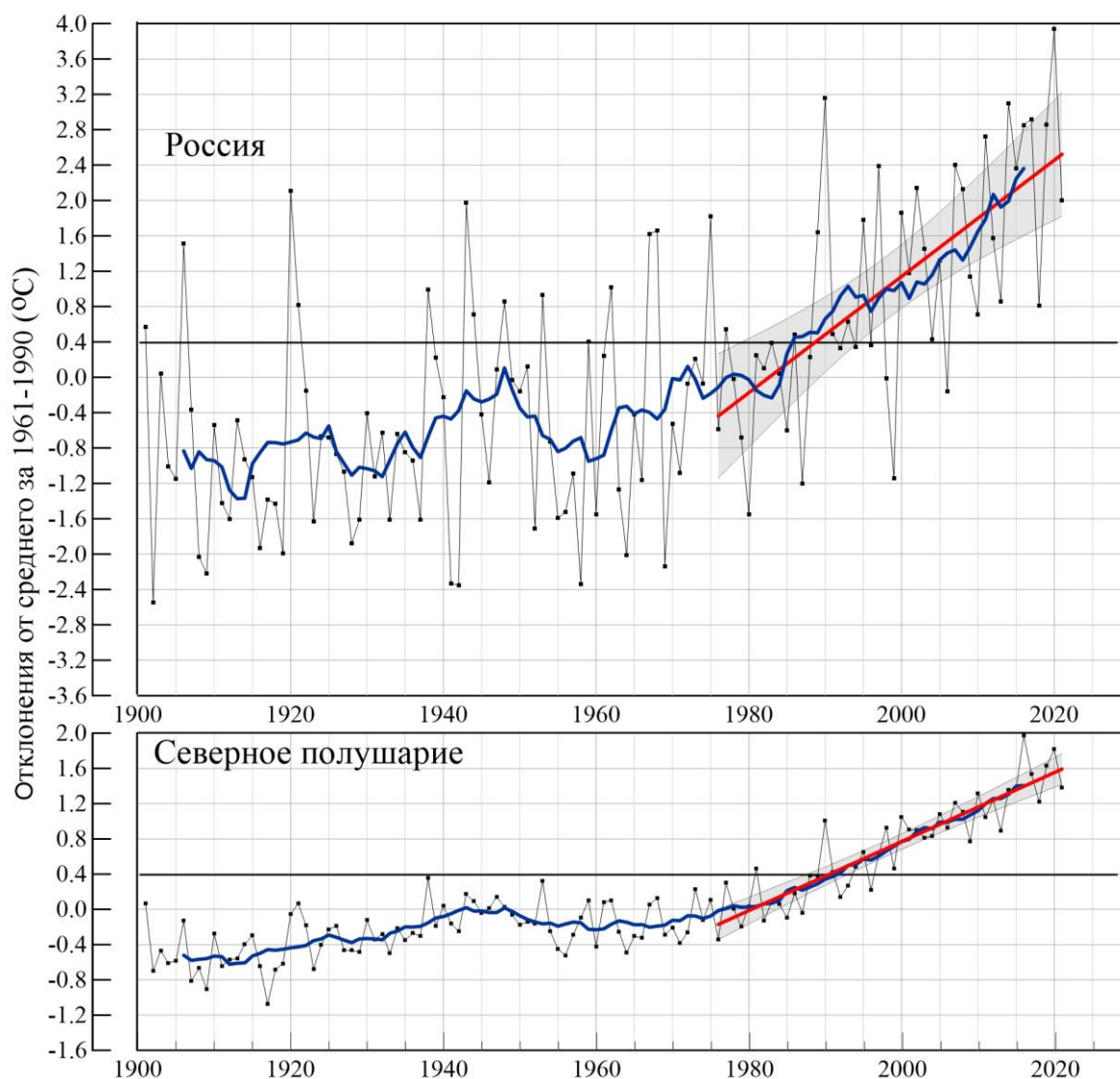


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (весна: март - май) температуры приземного воздуха, осредненная по Северному полушарию (суша) и территории России за 1886-2021 гг.

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

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.

Аномалия температуры воздуха над сушей СП весной составила +1.383°C (при стандартном отклонении 0.18°C) – пятая положительная величина в ряду с 1886 г. Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила +2.00°C при величине стандартного отклонения 1.19°C.

Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений весенних температур за период 1976-2021 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 1976-2021 гг.

| Регионы | νT_{2021} | $s_{1961-1990}$ | b , °C/10 лет | D % |
|---------|----------------|-----------------|-----------------|-------|
| СП | 1.38 | 0.18 | 0.39 | 83 |
| Россия | 0.81 | 1.19 | 0.66 | 46 |

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

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕСНЫ 2021 ГГ. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России весны 2021 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 2021 года осредненная аномалия по РФ составила 2.00°C – тринадцатая величина в ряду с 1936 года. На всей территории страны температуры были выше климатической нормы. Экстремально тепло (аномалии температуры выше 3°C, на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) на Южном Урале, в Приморье, на юге Камчатки.

Распределение средних сезонных температур на рис. 2.2 позволяет проследить рассмотренные особенности несколько под другим углом. Сезонные изотермы на большей части страны смещены к северу на ~ 3-7° с.ш. относительно своего климатического положения, особенно изотермы 0°C и -5°C.

В марте осредненная аномалия температуры по РФ 1.25°C. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на востоке ЕЧР и, далее, на севере Западной

Сибири и на севере Средней Сибири, на Чукотке (на Таймыре аномалии достигали -4.5°C).

Температуры выше климатической нормы наблюдались на западе и в центре ЕЧР, в центре и на юге АЧР. Экстремально теплые условия сложились в Приамурье и Приморье, где на большинстве станций фиксировались 95%-е экстремумы, аномалии на станциях до $+5.6^{\circ}\text{C}$).

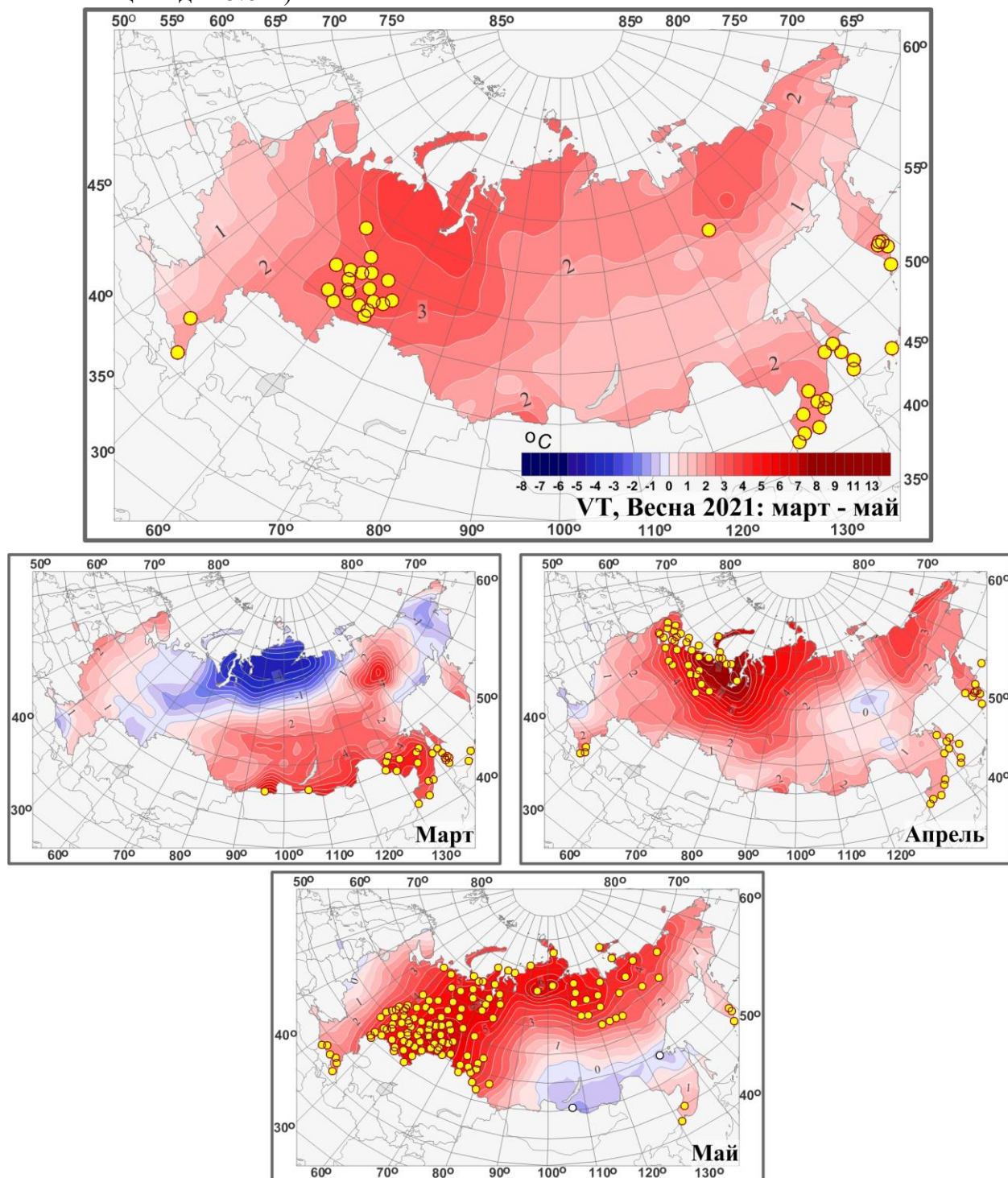


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России весной 2021 г. Кружками белого цвета показано местоположение станционных экстремумов ниже 5-го перцентиля, желтого – выше 95-го перцентиля.

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

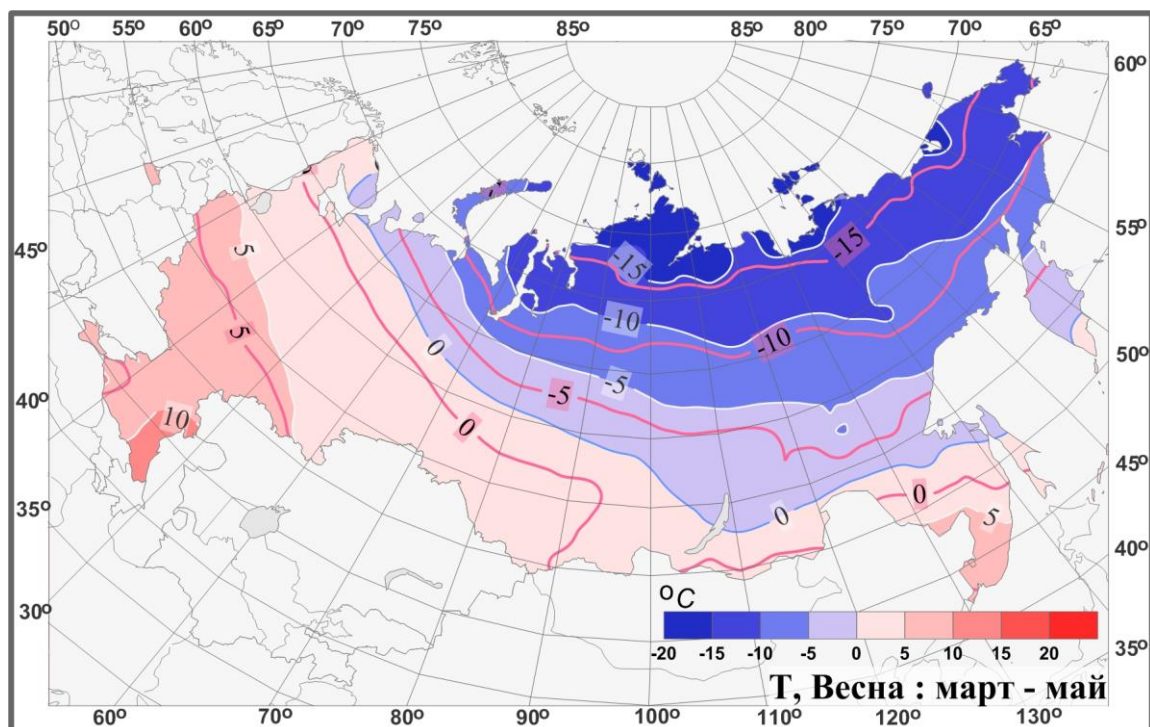


Рисунок 2.2 – Поля средней сезонной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России весной 2021 гг. Розовые изолинии: средние изотермы за период 1961-1990 гг.

Апрель. Осредненная по РФ аномалия температуры 2.29°C . На всей территории страны (кроме юга Якутии и некоторых районов Приамурья температуры были выше климатической нормы. Экстремальные условия (на большинстве станций фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдались на севере ЕЧР и севере Западной Сибири, а также в Приморье, на Сахалине, на Камчатке. Осредненная по СЗФО аномалия составила 4.07°C – пятая величина в ряду.

Май. Осредненная по РФ аномалия температуры составила 2.44°C – вторая величина в ряду (рекордное значение наблюдалось весной 2020 года: 2.73°C). Осредненная по ЕЧР аномалия температуры составила 2.98°C (ранг 2), по АЧР: 2.24°C (ранг 5). Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме района Байкала и бассейна Амура). 95%-е экстремумы наблюдались в районе предгорий Кавказа, востоке ЕЧР и, далее, до течения Енисея и на севере АЧР.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в районе Байкала и в бассейне Амура (аномалии до -2°C).

Атмосферные осадки. В целом за сезон осредненные по территории РФ осадки составили 122% нормы третья величина в ряду. В ЕЧР выпало 122% (ранг 12), а в АЧР (121% - ранг 3), особенно много осадков выпало в Прибайкалье и Забайкалье (140% нормы – ранг 3) и в ДФО (118% нормы – ранг 3). Дефицит осадков наблюдался на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало 87% сезонной нормы), на юге Западной Сибири, на Алтае, на востоке Среднесибирского плоскогорья.

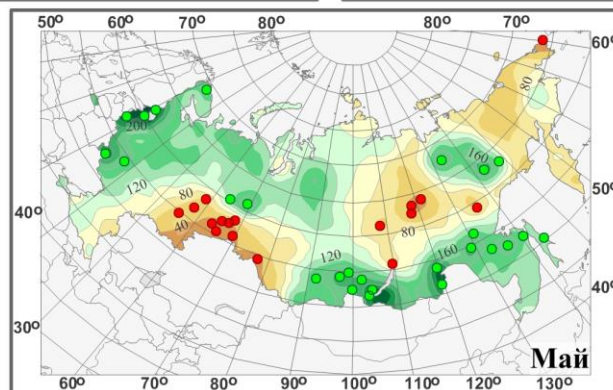
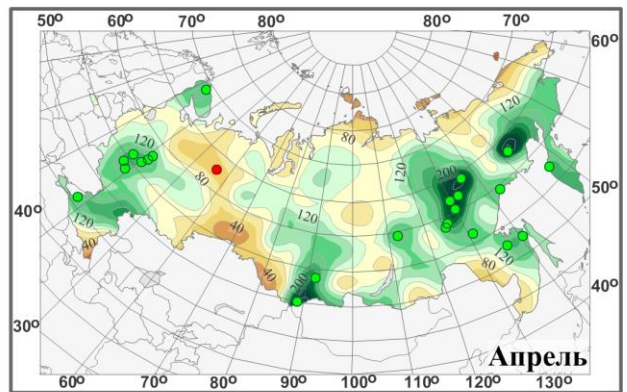
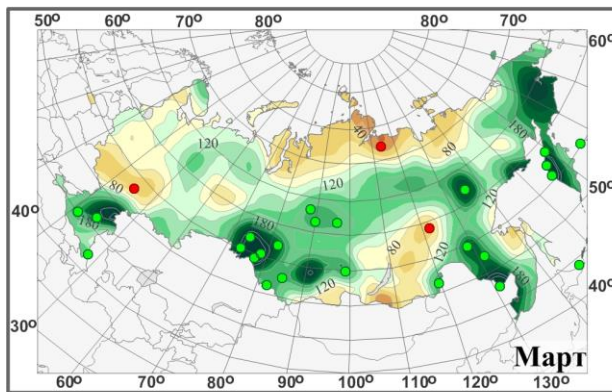
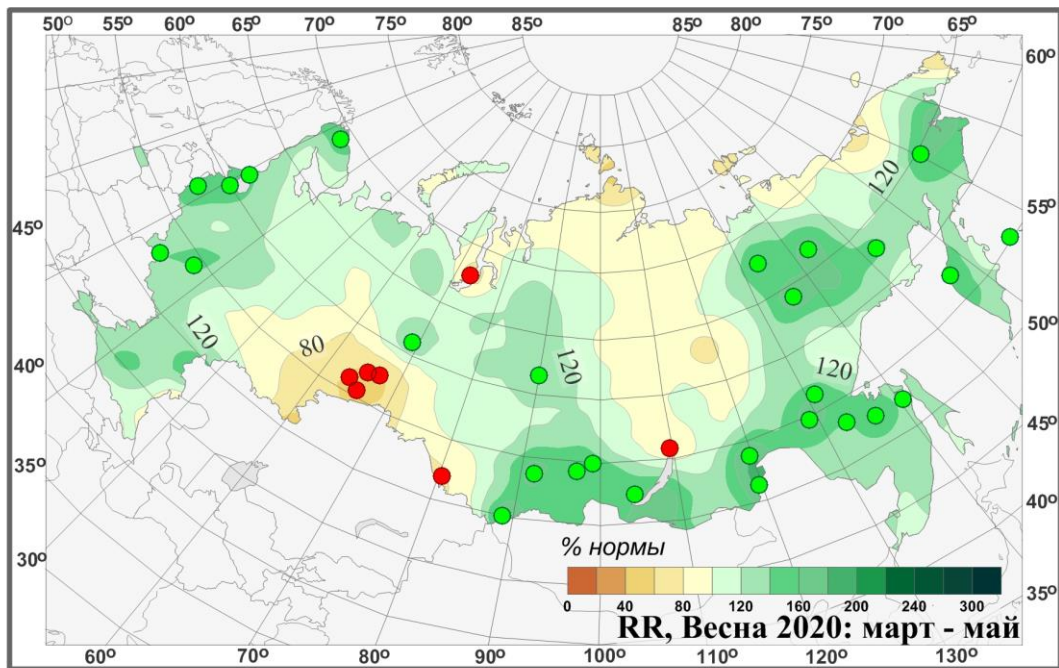


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России весной 2021 г. (март – май). Кружками красного цвета показаны стационарные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

Март. Осредненные по РФ осадки 135% нормы. Избыток осадков (более 120% нормы, на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдался на юге ЕЧР (в СКФО выпало 177% - ранг 3), на юге Западной Сибири и Средней Сибири (в СФО выпало 166% нормы – ранг 5), на востоке ДФО.

Дефицит осадков (менее 80% нормы, местами 40-60%) наблюдался в центре ЕЧР, в районе Байкала, на севере АЧР от полуострова Ямал до течения Индигирки.

Апрель. Осредненные по РФ осадки 116% нормы.

Значительный избыток осадков (более 120% нормы, на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы) в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 145% нормы – ранг 8), на Алтае, в ДФО (133%- ранг 6).

Дефицит осадков (60-80% нормы) наблюдался на северо-востоке ЕЧР, на юге Западной Сибири, на Алтае.

Май. Осредненные по РФ осадки: 119% нормы – десятая величина в ряду. Избыток осадков наблюдался на большей части ЕЧР (кроме ПФО, в СЗФО выпало 167% месячной нормы – ранг 2, в ЦФО – 162% - ранг 5)) и, далее, на севере Западной Сибири, на западе Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье (в среднем по региону выпало 167% нормы – ранг 3), в Приамурье и Приморье, на востоке Якутии.

Сильный дефицит осадков (40-80% нормы, на многих станциях фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в ПФО (за месяц выпало лишь 87% нормы), на юге Западной Сибири, на Алтае, на западе и юге Якутии, на Чукотке и Камчатке

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены регионально осредненные аномалии температуры и осадков, рассчитанные по значениям стационарных аномалий весеннего сезона; для характеристики масштаба аномалий приведены также средние квадратические отклонения региональных аномалий за базовый период 1961-1990 гг. Оценки приведены для физико-географических регионов (рис.1) и федеральных округов (рис.2) Российской Федерации.

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

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

Как уже отмечалось выше, весна для России в целом (см. табл. 2.1) по погодным условиям была теплой, осредненная по РФ аномалия температуры составила +2.00°C – тринадцатая величина в ряду с 1936 года. Осредненные по всем регионам и федеральным округам аномалии были положительными. Самые теплые условия

наблюдались в Западной Сибири (аномалия 2.97°C – ранг 9) и в Уральском ФО (3.34°C – ранг 9).

Из месяцев сезона выделяется май, осредненная по РФ аномалия составила 2.44°C – вторая величина в ряду, по ЕЧР: 2.98°C - ранг 2, особенно тепло в ПФО (4.58°C – ранг 1); а по АЧР: 2.24°C - ранг 5, особенно тепло в УФО (5.77°C – ранг 2). В мае в Прибайкалье и Забайкалье погодные условия были ниже, чем в среднем за период 1961-1990, аномалия составила -0.39°C)

В апреле осредненные по всем регионам и федеральным округам аномалии были положительными; особенно тепло в СЗФО: аномалия температуры составила 4.07°C – пятая величина в ряду

В марте в большинстве регионов и ФО осредненные аномалии были положительными (исключение: ПФО (-0.07°C) и УФО (-0.80°C), где аномалии отрицательные).

Таблица 2.1

Регионально осредненные аномалии температуры весной 2021 гг.

| Регионы | vT_{2021} | $s_{1961-1990}$ | $P(t \leq T_{2021})$ |
|---|-------------|-----------------|----------------------|
| Российская Федерация | 2.00 | 1.17 | 85.9 |
| Физико-географические регионы России | | | |
| Европейская часть России | 1.95 | 1.08 | 89.4 |
| Азиатская часть России | 2.01 | 1.24 | 83.5 |
| Западная Сибирь | 2.97 | 1.93 | 90.6 |
| Средняя Сибирь | 1.77 | 1.69 | 76.5 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 1.48 | 1.31 | 71.8 |
| Приамурье и Приморье | 1.70 | 1.10 | 85.9 |
| Восточная Сибирь | 1.80 | 1.45 | 76.5 |
| Федеральные округа РФ | | | |
| Северо-Западный | 2.48 | 1.54 | 88.2 |
| Центральный | 1.18 | 1.68 | 74.1 |
| Приволжский | 2.16 | 1.70 | 89.4 |
| Южный | 1.05 | 1.47 | 74.1 |
| Северо-Кавказский | 1.32 | 0.96 | 82.4 |
| Уральский | 3.34 | 1.75 | 90.6 |
| Сибирский | 1.99 | 1.53 | 80.0 |
| Дальневосточный | 1.70 | 0.99 | 82.4 |

Примечание: Аномалии vT_{2021} (°C) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s (°C) – среднее квадратическое отклонение за базовый период; вероятности превышения $P(t \leq T_{2021})$ рассчитаны по выборке за 1936-2020 гг. и выражены в %.

Таблица 2.1.1

Регионально осредненные аномалии температуры в весенние месяцы 2021 года

| Регионы | Март | | | Апрель | | | Май | | |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| | νT_{2021} | $S_{1961-1990}$ | $P(t \leq T_{2021})$ | νT_{2021} | $S_{1961-1990}$ | $P(t \leq T_{2021})$ | νT_{2021} | $S_{1961-1990}$ | $P(t \leq T_{2021})$ |
| Российская Федерация | 1.25 | 2.07 | 70.6 | 2.29 | 1.40 | 84.7 | 2.44 | 0.89 | 98.8 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | | | | |
| Европейская часть России | 0.38 | 2.54 | 56.5 | 2.51 | 1.99 | 87.1 | 2.98 | 1.59 | 98.8 |
| Азиатская часть России | 1.57 | 2.18 | 74.1 | 2.21 | 1.56 | 77.6 | 2.24 | 1.24 | 95.3 |
| Западная Сибирь | 0.35 | 2.84 | 51.8 | 3.79 | 2.49 | 83.5 | 4.76 | 1.77 | 98.8 |
| Средняя Сибирь | 1.31 | 3.12 | 67.1 | 1.70 | 2.05 | 62.4 | 2.31 | 1.20 | 88.2 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 3.43 | 2.57 | 87.1 | 1.40 | 1.78 | 64.7 | -0.39 | 1.08 | 30.6 |
| Приамурье и Приморье | 3.62 | 1.93 | 92.9 | 1.34 | 1.49 | 81.2 | 0.14 | 1.05 | 50.6 |
| Восточная Сибирь | 0.97 | 2.12 | 58.8 | 2.13 | 1.58 | 75.3 | 2.26 | 1.16 | 90.6 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | | | | |
| Северо-Западный | 0.37 | 3.20 | 54.1 | 4.07 | 2.00 | 95.3 | 3.00 | 1.89 | 92.9 |
| Центральный | 1.06 | 2.81 | 62.4 | 1.32 | 2.09 | 74.1 | 1.18 | 2.10 | 70.6 |
| Приволжский | -0.07 | 2.83 | 51.8 | 1.99 | 2.55 | 81.2 | 4.58 | 1.81 | 100 |
| Южный | 0.59 | 2.62 | 55.3 | 0.69 | 2.14 | 64.7 | 1.86 | 1.54 | 81.2 |
| Северо-Кавказский | 0.18 | 1.91 | 50.6 | 1.68 | 1.61 | 84.7 | 2.11 | 1.12 | 92.9 |
| Уральский | -0.80 | 3.30 | 40.0 | 5.07 | 2.74 | 88.2 | 5.77 | 1.93 | 98.8 |
| Сибирский | 1.86 | 2.87 | 70.6 | 2.13 | 2.14 | 69.4 | 1.96 | 1.12 | 85.9 |
| Дальневосточный | 1.94 | 2.02 | 80.0 | 1.55 | 1.43 | 71.8 | 1.58 | 1.03 | 83.5 |

Примечание: Выделены экстремальные значения, попавшие в 5% максимальных и 5% минимальных.

Весна (табл. 2.2) в РФ в целом была влажной, количество выпавших осадков составило 122% нормы – третья величина в ряду. Во всех регионах и во всех федеральных округах (кроме ПФО) наблюдался избыток осадков. В АЧР (121% - ранг 3) экстремальный избыток осадков наблюдался в Прибайкалье и Забайкалье (140% - ранг 3), в Восточной Сибири (128% - ранг 4) и в ДФО (118% - ранг 3).

Хотя в целом по РФ по условиям выпадения осадков в целом по РФ ни один из месяцев не был экстремальным, следует особо отметить экстремально влажный март в СКФО (177% - ранг 3) и в СФО (166% - ранг 5); апрель в Восточной Сибири (156% - ранг 4); май в Прибайкалье и Забайкалье (167% - ранг 3), в СЗФО (162% - ранг 2) и в ЦФО (162% - ранг 5).

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков весной 2021 г.

| Регионы | vR_{2021} | RR_{2021} | m | $m-q1$ | $q3-m$ | $P(r \leq R_{2021})$ |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|------------|----------------------|
| Российская Федерация | 6.0 | 122 | -0.1 | 1.6 | 2.2 | 97.6 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | |
| Европейская часть России | 8.1 | 122 | -0.3 | 2.9 | 2.2 | 87.1 |
| Азиатская часть России | 5.2 | 121 | 0.3 | 1.9 | 1.6 | 97.6 |
| Западная Сибирь | 2.1 | 108 | 0.6 | 4.5 | 3.3 | 54.1 |
| Средняя Сибирь | 2.6 | 112 | -0.2 | 1.7 | 2.1 | 77.6 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 8.0 | 140 | 0.2 | 2.6 | 1.3 | 97.6 |
| Приамурье и Приморье | 13.1 | 135 | -0.2 | 4.5 | 4.3 | 94.1 |
| Восточная Сибирь | 5.5 | 128 | -0.6 | 2.0 | 2.9 | 96.5 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | |
| Северо-Западный | 25.9 | 162 | -1.2 | 1.8 | 5.6 | 91.8 |
| Центральный | 29.5 | 162 | 1.0 | 7.0 | 4.0 | 92.9 |
| Приволжский | -5.0 | 87 | 0.7 | 5.9 | 3.8 | 32.9 |
| Южный | 3.9 | 108 | -0.7 | 5.1 | 6.7 | 85.9 |
| Северо-Кавказский | 10.4 | 116 | 2.2 | 3.9 | 9.2 | 94.1 |
| Уральский | 2.8 | 107 | 0.2 | 4.5 | 2.8 | 44.7 |
| Сибирский | 2.4 | 106 | 0.2 | 0.2 | 2.6 | 89.4 |
| Дальневосточный | 6.0 | 118 | -0.5 | 0.7 | 1.6 | 97.6 |

Примечание: 1. Аномалии vR_{2021} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за базовый период 1961-1990 гг.), RR_{2021} - отношение R_{2021} к норме, выраженное в %, $q1$, $q3$ и m – соответственно первый, третий квартиль и медиана аномалий (мм/месяц) за базовый период; вероятности неперевышения $P(r \leq R_{2021})$ – рассчитаны по выборке за 1936-2020 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_{2021} | RR_{2021} | $P(r \leq R_{2021})$ | vR_{2021} | RR_{2021} | $P(r \leq R_{2021})$ | vR_{2021} | RR_{2021} | $P(r \leq R_{2021})$ |
| Российская Федерация | 6.6 | 135 | 88.2 | 4.3 | 116 | 87.1 | 7.2 | 119 | 89.4 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | | | | |
| Европейская часть России | 4.7 | 115 | 64.7 | 5.9 | 116 | 80.0 | 13.4 | 130 | 89.4 |
| Азиатская часть России | 7.4 | 149 | 91.8 | 3.6 | 116 | 88.2 | 4.7 | 113 | 80.0 |
| Западная Сибирь | 11.3 | 161 | 90.6 | -2.6 | 90 | 28.2 | -2.5 | 94 | 41.2 |
| Средняя Сибирь | 4.7 | 134 | 89.4 | 4.8 | 126 | 88.2 | -1.5 | 95 | 36.5 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 0.2 | 102 | 49.4 | 2.0 | 111 | 70.6 | 21.8 | 167 | 97.6 |
| Приамурье и Приморье | 9.0 | 148 | 88.2 | 4.3 | 111 | 77.6 | 26.4 | 147 | 90.6 |
| Восточная Сибирь | 9.9 | 167 | 84.7 | 10.4 | 156 | 96.5 | -3.2 | 88 | 45.9 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | | | | |
| Северо-Западный | 2.9 | 110 | 58.8 | -2.1 | 94 | 42.4 | 25.9 | 162 | 98.8 |
| Центральный | -4.6 | 86 | 37.6 | 17.3 | 145 | 91.8 | 29.9 | 162 | 95.3 |
| Приволжский | -1.0 | 96 | 37.6 | 3.1 | 110 | 60.0 | -5.0 | 87 | 32.9 |
| Южный | 18.1 | 156 | 84.7 | 16.5 | 145 | 88.2 | 3.9 | 108 | 64.7 |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|-------------|------|-----|------|------|-----|------|
| Северо-Кавказский | 34.8 | 177 | 97.6 | 9.4 | 117 | 78.8 | 10.4 | 116 | 67.1 |
| Уральский | 3.8 | 119 | 60.0 | -3.2 | 89 | 35.3 | 2.8 | 107 | 55.3 |
| Сибирский | 10.7 | 166 | 95.3 | 0.2 | 101 | 44.7 | 2.4 | 106 | 64.7 |
| Дальневосточный | 6.4 | 147 | 89.4 | 7.3 | 133 | 94.1 | 6.0 | 118 | 83.5 |

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 1976-2021 гг.: температуры приземного воздуха и атмосферных осадков на территории России для весеннего сезона в целом и для каждого из месяцев весны.

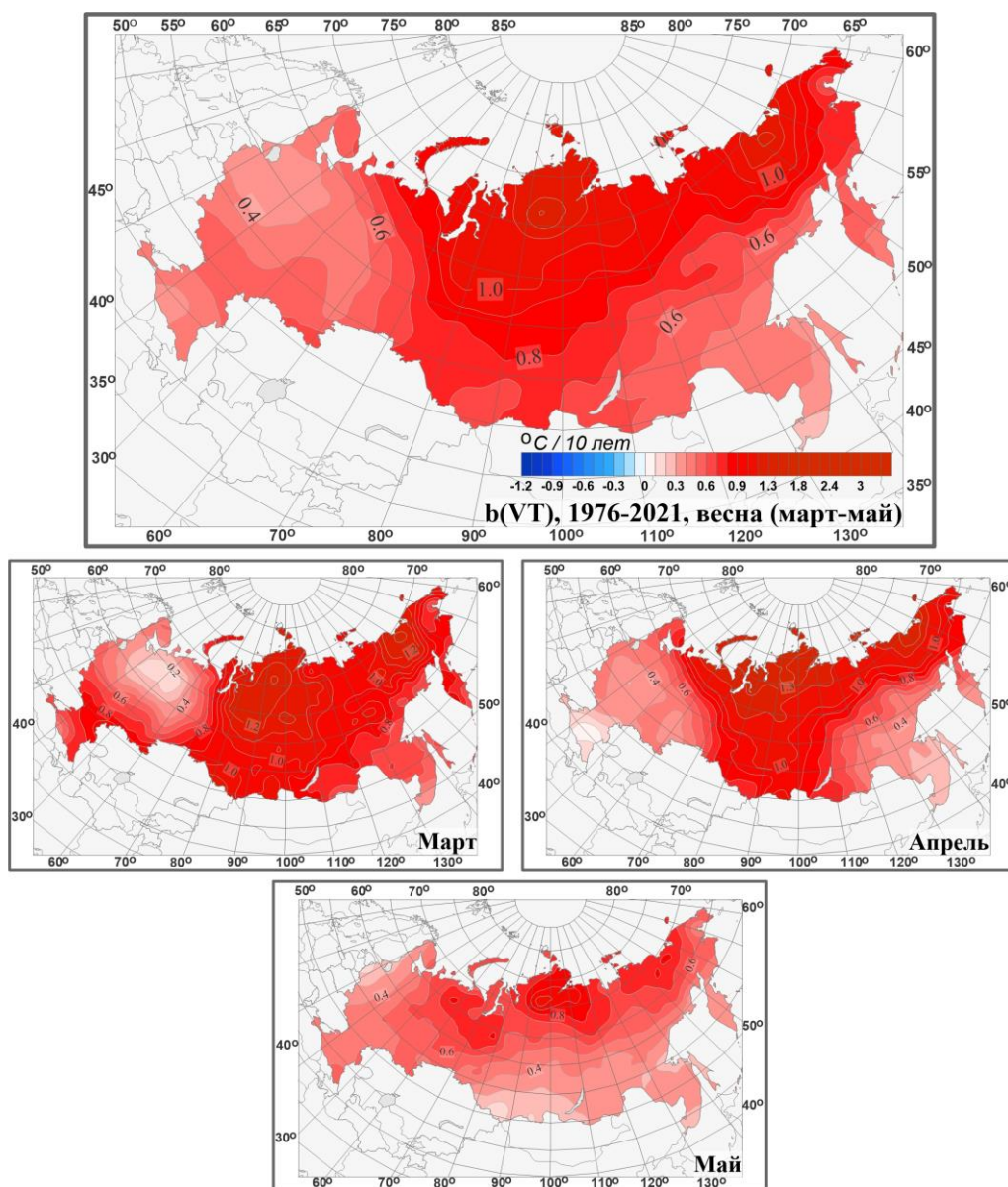


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры (°C/10 лет) на территории России по данным за 1976-2021 (весна)

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 $+1.5^{\circ}\text{C}/10$ лет на Таймыре), в Чукотском АО (до $+1.4^{\circ}\text{C}/10$ 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 $+0.5^{\circ}\text{C}/10$ лет). Рост температуры наблюдается во все месяцы сезона практически на всей территории РФ.

Наибольший рост температуры наблюдается в марте в АЧР: в Западной и Средней Сибири (до $+1.7^{\circ}\text{C}/10$ лет), а также на северо-востоке (до $+1.7^{\circ}\text{C}/10$ лет), в апреле: на севере страны (до $+1.6^{\circ}\text{C}/10$ лет на Таймыре), в мае: на севере Средней Сибири (до $+1.3^{\circ}\text{C}/10$ лет).

В марте на севере европейской части страны наблюдается область, где потепление очень мало (до $0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет). Области, где потепления практически нет (коэффициент линейного тренда: $-0.1 - +0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдаются в апреле в центре ЕЧР, на юге ЮФО, в СКФО, на Южном Урале; в мае – на Алтае.

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 Кольском полуострове, на юге Поволжья, на юге Западной Сибири, в нижнем течении Енисея, в 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

Характерной особенностью изменения *апрельских* осадков является наличие нескольких крупных областей убывания осадков. В ЕЧР осадки убывают в юго-западных районах (около $-10\%/10$ лет); в Амурской области наблюдается более значительное убывание (до $-15\%/10$ лет); осадки также убывают в Восточной Сибири, на западе Камчатки (до $-10\%/10$ лет). На Северном Урале и в нижнем течении Оби и Енисея, в Якутии 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 побережье Восточно-Сибирского моря и на востоке Чукотки в мае наблюдается уменьшение осадков.

По сравнению с оценками 1976-2020 гг. уменьшилась интенсивность областей роста осадков в ряде областей АЧР.

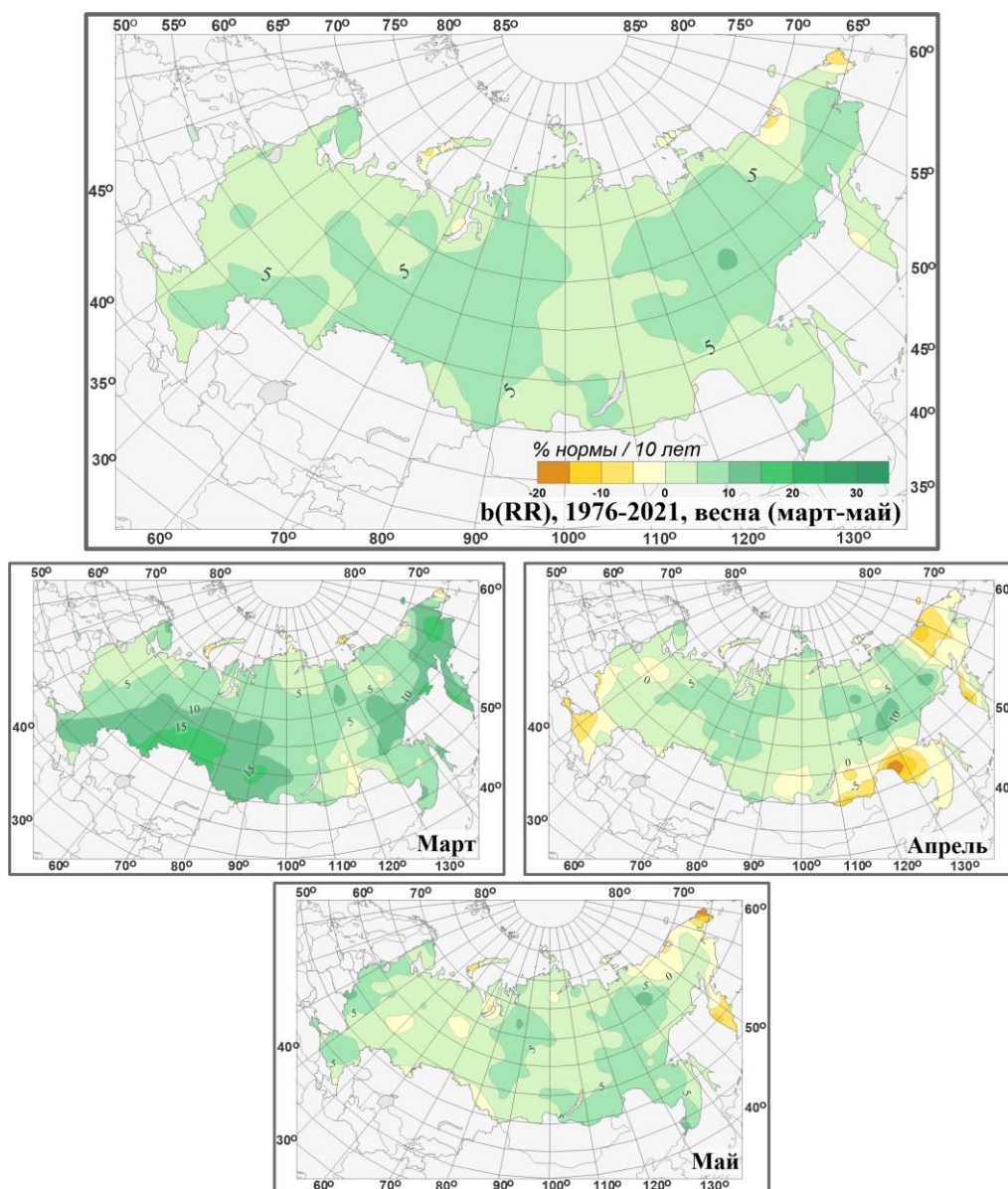


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы /10 лет) на территории России по данным за 1976-2021 (весна).

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 1976-2021 гг. положителен: он составляет $0.66^{\circ}\text{C}/10$ лет, объясняет 46% межгодовой изменчивости: тренд значим на 1%-м уровне, как и тренды мартовских, апрельских и майских температур. В марте с начала 1990-х гг. по первое десятилетие XXI века наблюдалось замедление роста температуры (сглаженная кривая на рис. 3.3).

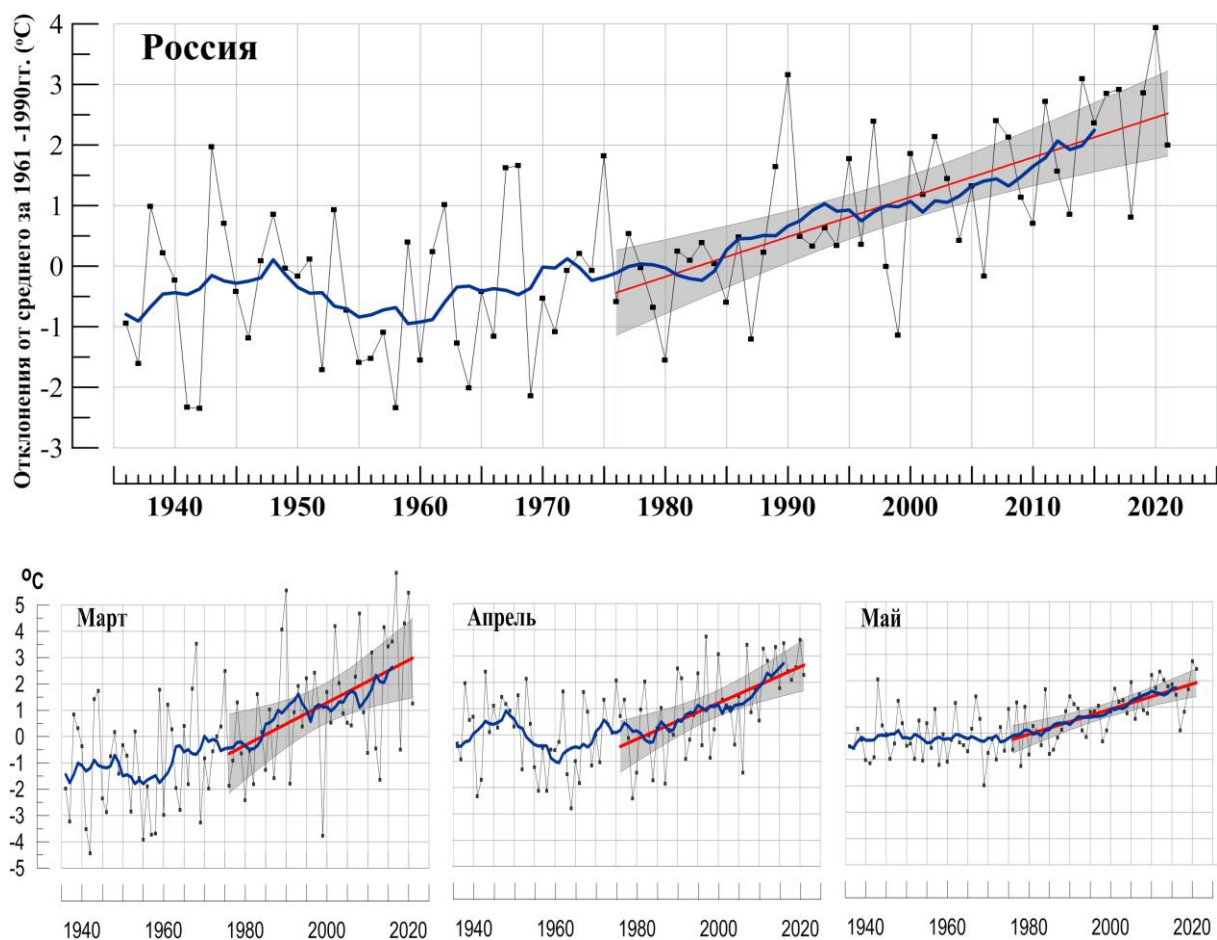


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) осредненная по территории РФ.

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

Таблица 3.1

Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха и суммы осадков, осредненных по территории России и за весенний сезон, за 1976-2021 гг.

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

| Регион Российская Федерация | Температура | | Осадки | | |
|-----------------------------|---------------------------------|---------|---------------------|----------------|---------|
| | b , $^{\circ}\text{C}/10$ лет | D , % | b , мм/мес/10 лет | b , %/10 лет | D , % |
| Весна | 0.66 | 46 | 1.6 | 5.9 | 41 |
| Март | 0.81 | 22 | 2.3 | 12.1 | 37 |
| Апрель | 0.69 | 33 | 0.5 | 1.5 | 3 |
| Май | 0.48 | 45 | 2.1 | 5.8 | 29 |

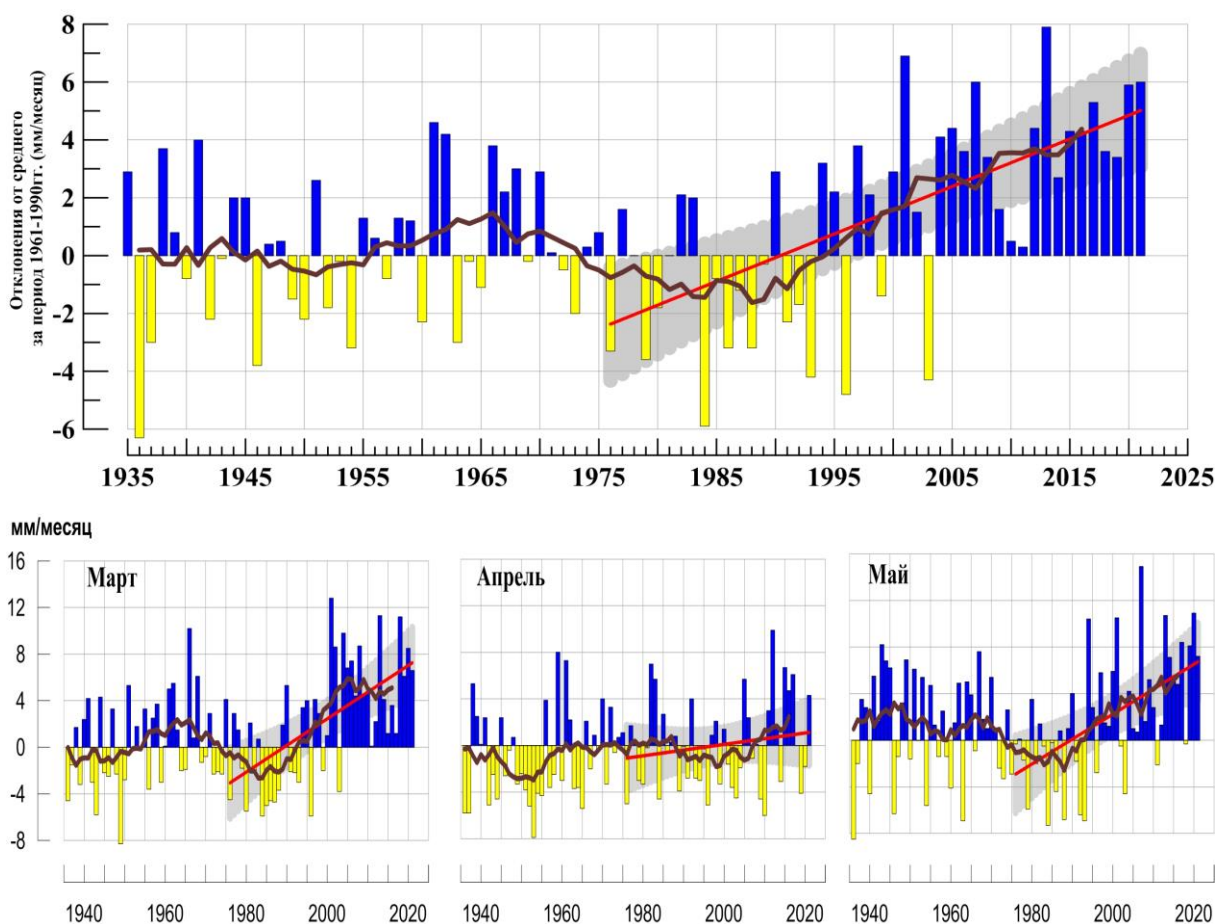


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/мес).

Тренд сезонных сумм осадков составляет 5.8%/10 лет и объясняет 39 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 1936-2021 гг.

В разделе анализируется характер изменения регионально-осредненных температур и осадков для физико-географических регионов России и Федеральных округов. На рис. 4.1 – 4.4 приведены временные ряды осредненных по регионам аномалий средней месячной температуры приземного воздуха (°C) и месячных сумм осадков (мм/месяц) весеннего сезона за 1936 – 2021 гг. На всех рисунках показаны

линейные тренды за 1976-2021 гг., рассчитанные методом наименьших квадратов. Величины трендов и объясненные трендами доли дисперсии рядов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

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

| Регионы | Температура | | Осадки | | |
|---|-----------------------|--------------|---------------------------|------------------------|--------------|
| | <i>b</i> °C/10 лет | <i>D</i> , % | <i>b</i> мм/мес/10 лет | <i>b</i> , %/10 лет | <i>D</i> , % |
| Россия | 0.66 | 46 | 1.6 | 5.9 | 41 |
| Физико-географические регионы России | | | | | |
| Европейская часть России | 0.46 | 27 | 1.9 | 5.2 | 22 |
| Азиатская часть России | 0.73 | 45 | 1.5 | 6.3 | 42 |
| Западная Сибирь | 0.78 | 31 | 2.2 | 7.8 | 31 |
| Средняя Сибирь | 0.85 | 39 | 1.4 | 6.4 | 38 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 0.64 | 33 | 0.7 | 3.6 | 6 |
| Приамурье и Приморье | 0.42 | 25 | 1.9 | 5.0 | 9 |
| Восточная Сибирь | 0.76 | 42 | 1.3 | 6.6 | 29 |
| Федеральные округа РФ | | | | | |
| Северо-Западный | 0.49 | 20 | 1.6 | 4.6 | 16 |
| Центральный | 0.45 | 21 | 2.1 | 5.5 | 11 |
| Приволжский | 0.47 | 20 | 1.8 | 5.5 | 10 |
| Южный | 0.47 | 25 | 1.9 | 5.0 | 9 |
| Северно-Кавказский | 0.40 | 29 | 2.6 | 4.6 | 9 |
| Уральский | 0.78 | 26 | 2.2 | 7.7 | 25 |
| Сибирский | 0.82 | 39 | 1.6 | 6.1 | 24 |
| Дальневосточный | 0.67 | 42 | 1.4 | 5.9 | 35 |

В таблице 4.1 приведены оценки линейных трендов регионально осредненных значений температуры и осадков за 1976-2021 гг. для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. Во всех регионах в среднем за период 1976-2021 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 промышленных 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 1976-2020 гг. в ЕЧР наблюдается увеличение тренда на 0.02°C (за счет увеличения трендов на СЗФО, ПФО, СКФО на 0.03°C-0.05°C/10 лет), в АЧР – уменьшение тренда (за счет уменьшения трендов в Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье, в Восточной Сибири и в ДФО на 0.02°C-0.05°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).

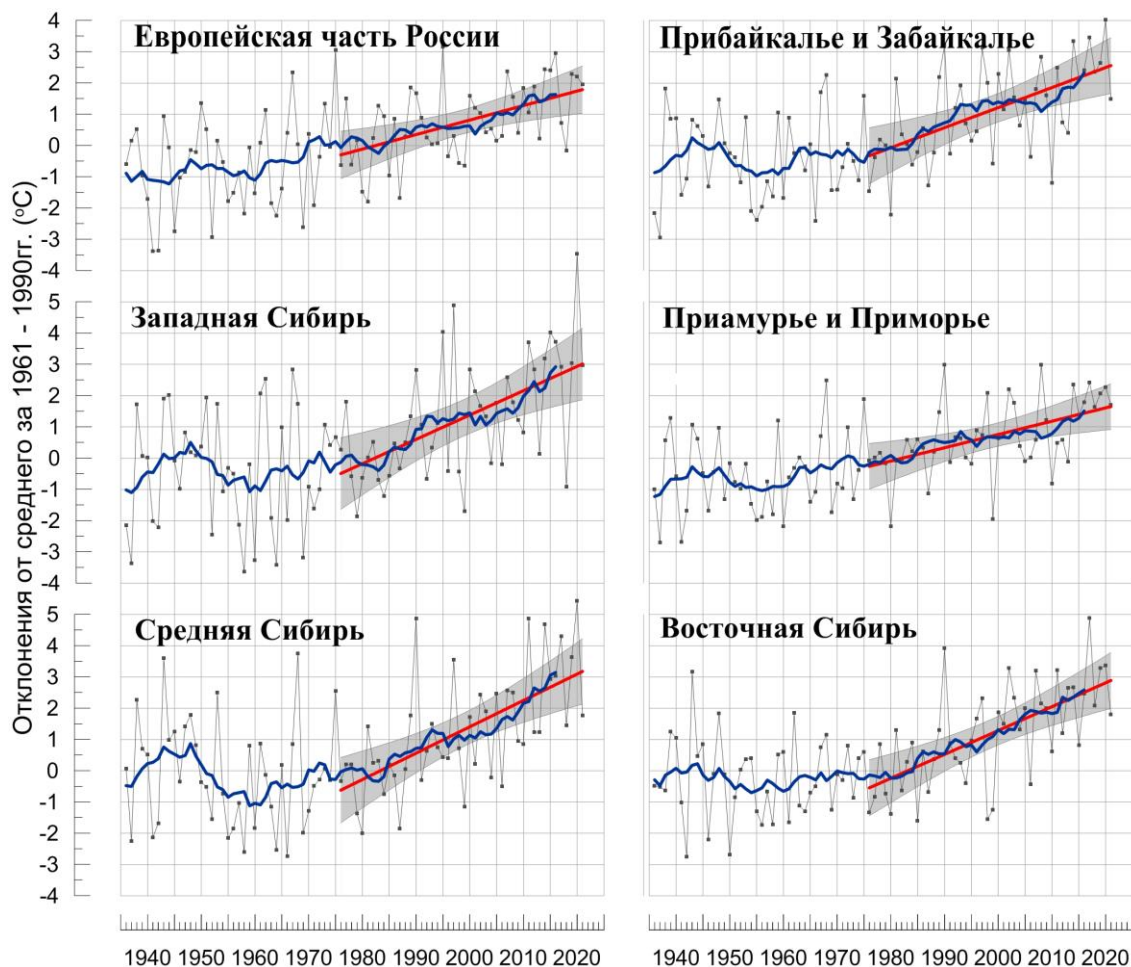


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, весна 2021 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен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

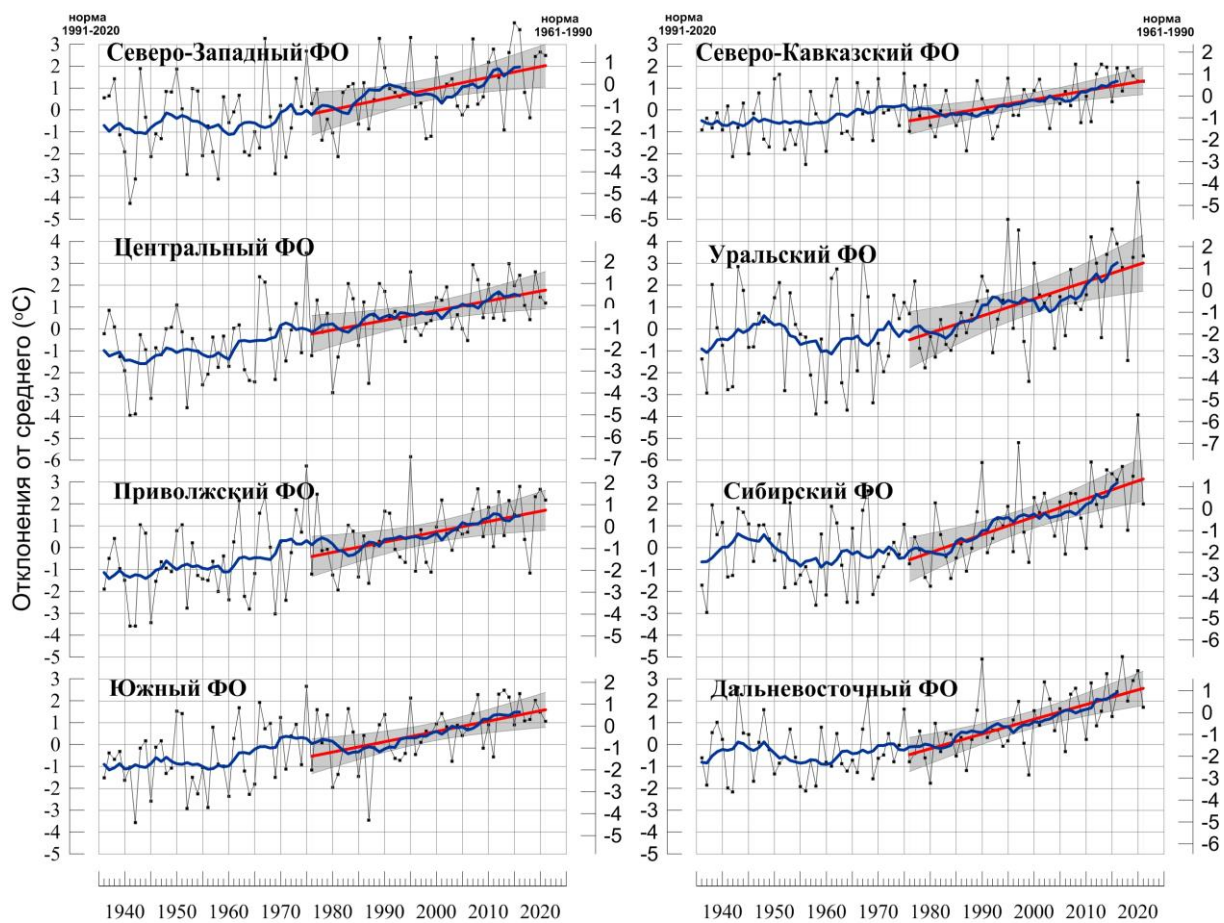


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

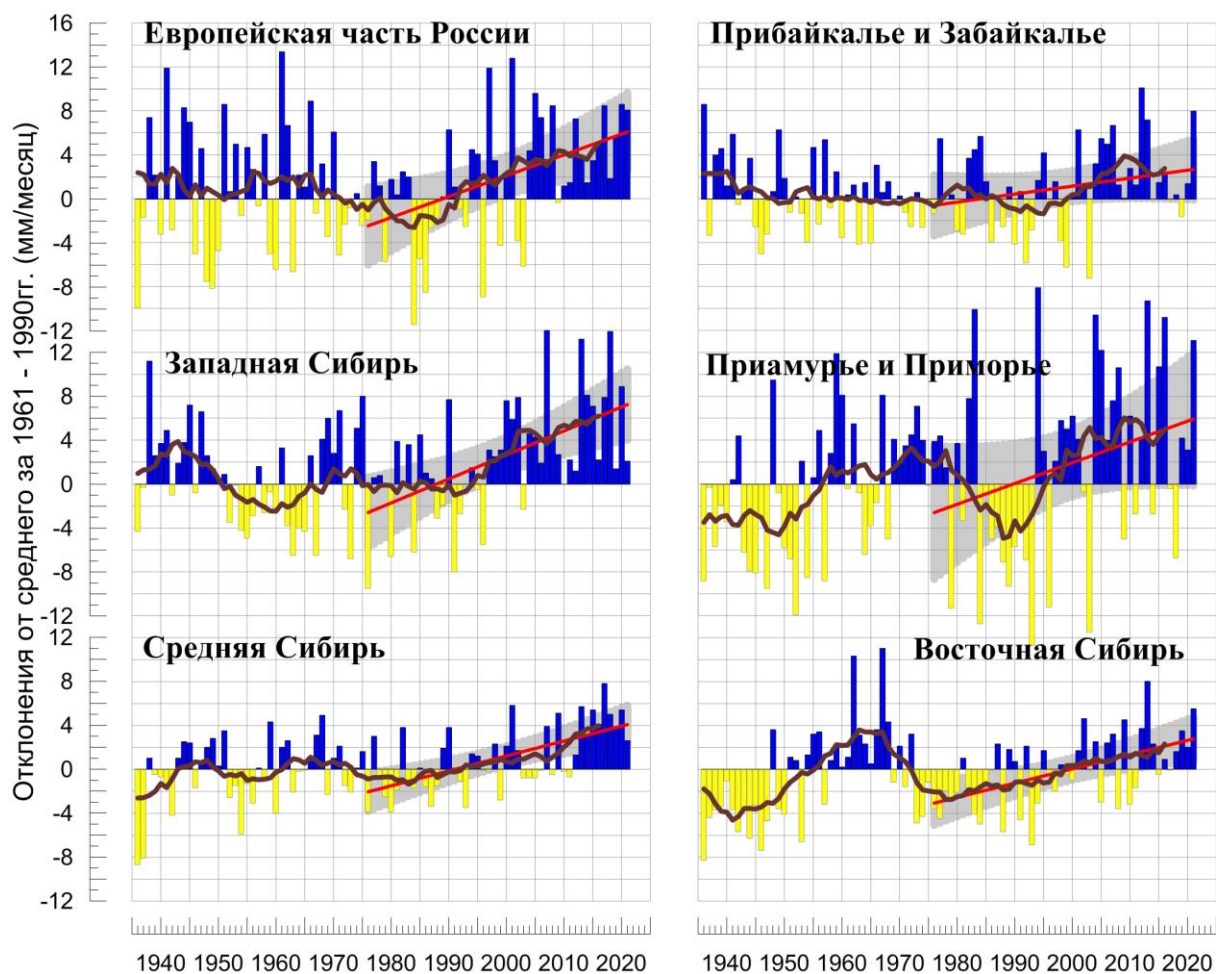


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, весна 2021 гг.

Условные обозначения см. на рис. 4.1.

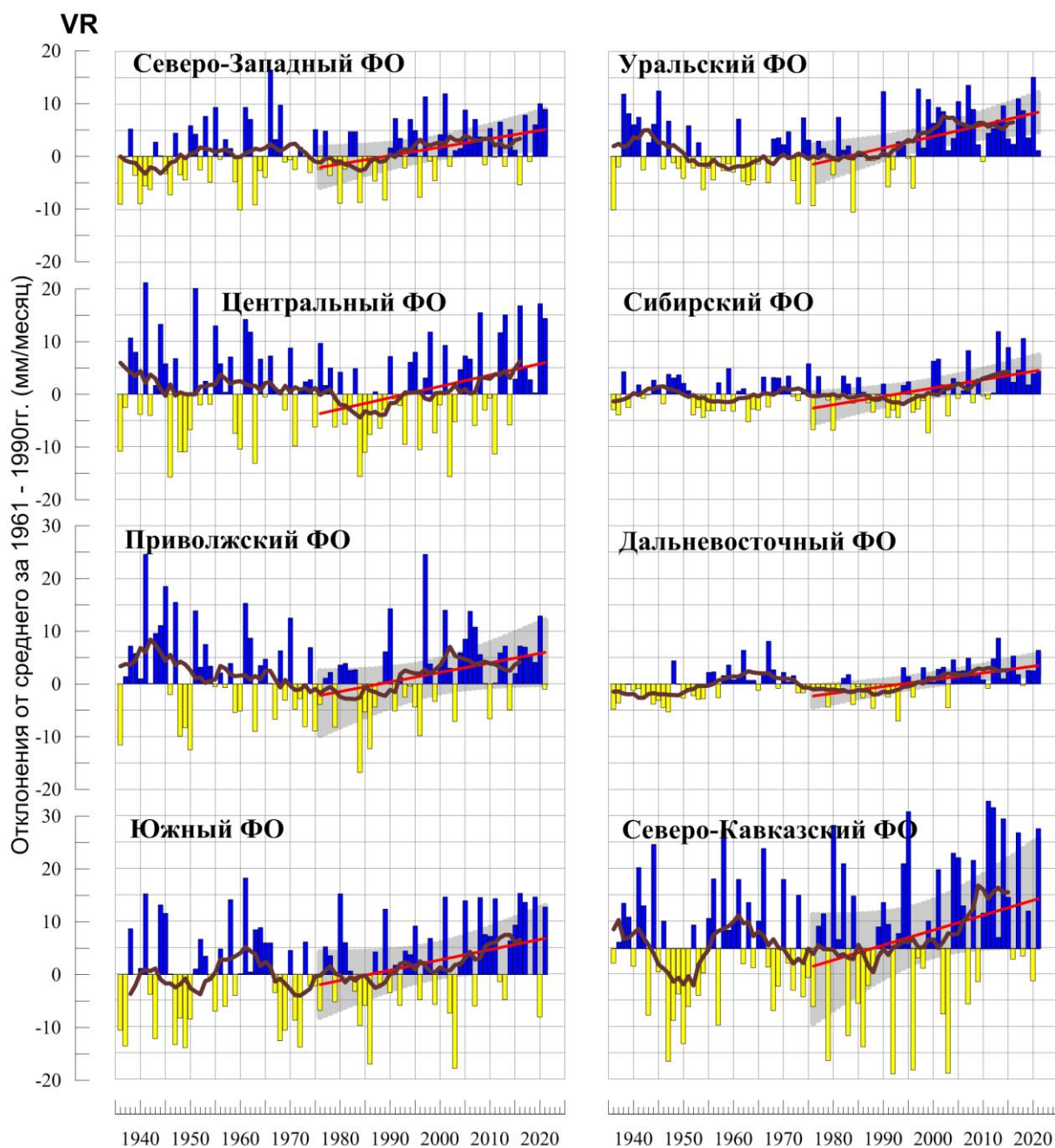


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

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

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

Температура. Весной 2021 г. (рис. 5.1). Площадь, занятая крупными положительными аномалиями (выше 80- процентиля весной 2021 года составила 47% (ранг 23). С 1976 г. (начало глобального потепления) наблюдается увеличение площади под крупными положительными аномалиями, тренд за период 1976-2021 составляет 14.3%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 42%), площади, с крупными отрицательными аномалиями (ниже 20-го процентиля) весной 2021 года не наблюдалось.

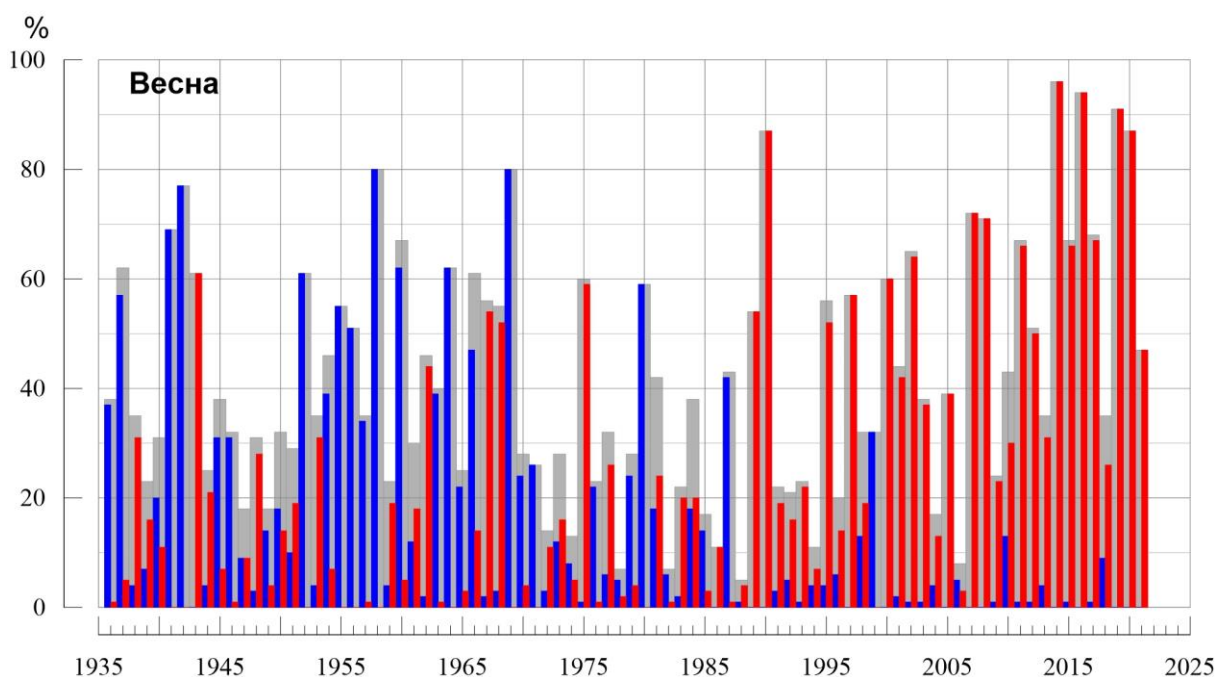


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2021 гг. (весна):

— ниже 20-го процентиля, — выше 80-го процентиля,
 — 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 2021 г. не наблюдались ни площади под экстремумами тепла (выше 2σ), ни площади под экстремумами холода (ниже -2σ).

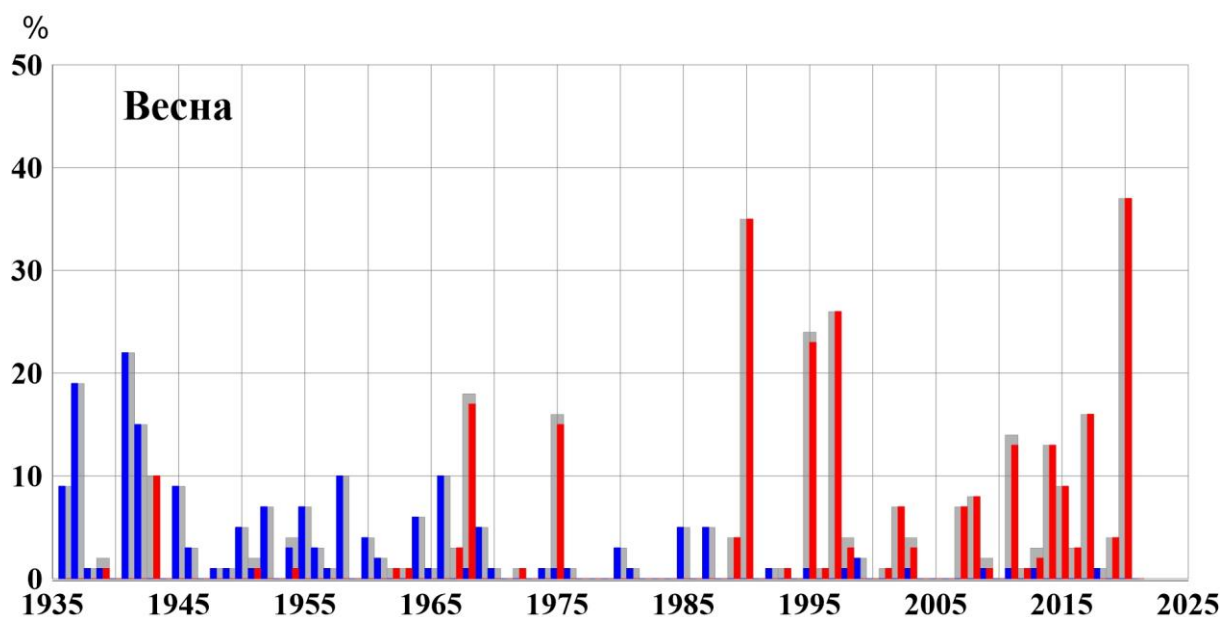


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры весной, 1936-2021 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

Индекс аномальности Багрова (рис. 5.3) весной 2021 года равен 1.3. Анализ индекса аномальности Багрова показывает, что с начала 1980-х гг. аномальность температурного режима на территории РФ в весенний сезон растет – тренд за период 1976-2021 гг. составил 0.22 / 10 лет и объясняет 35% общей дисперсии ряда.

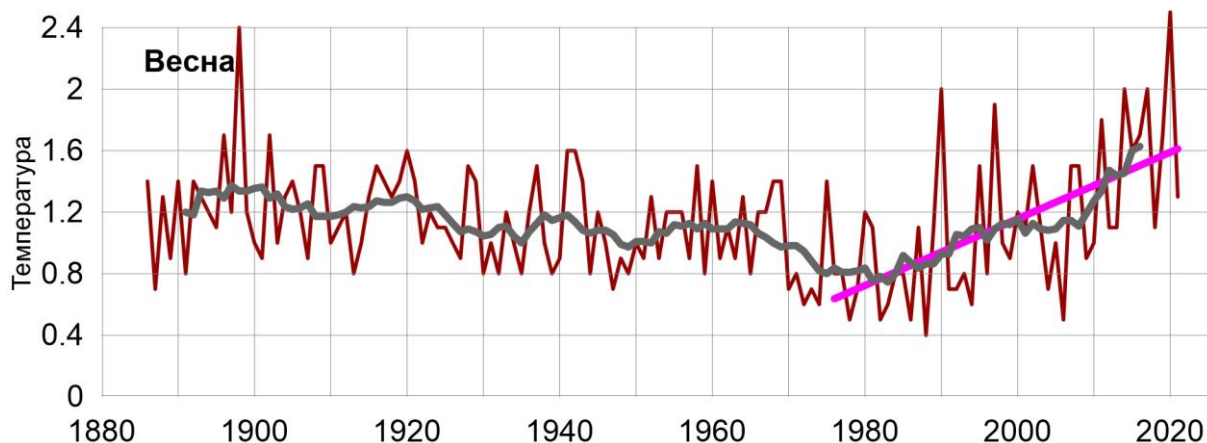


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России весной 1886-2021 гг.

Осадки. Весной 2021 г. площадь, занятая крупными аномалиями выше 80 перцентиля (рис. 5.4) составила 32% (ранг 6-9), ниже 20-го перцентиля – 12%. С 1976 г. наблюдается увеличение площади под аномалиями выше 80-го перцентиля, тренд за период 1976-2021 составляет 4.7%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 44%: тренд значим на уровне 1%) и уменьшение площади под аномалии ниже 20-го

процентиля, тренд за период 1976-2021 составляет $-2.6\%/10$ лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 19%).

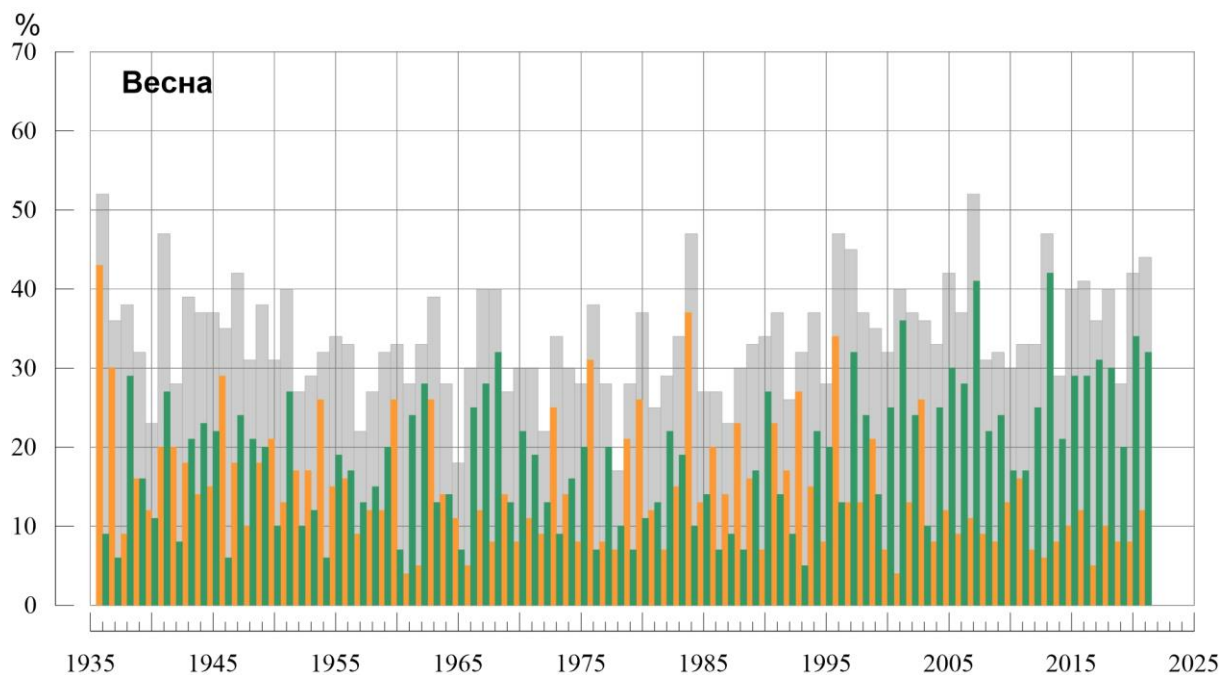


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2021 гг. (весна):

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

ВЫВОДЫ

1. Весна для Северного полушария в целом была теплой: аномалия температуры воздуха над сушей СП составила $+1.383^{\circ}\text{C}$ – пятая величина в ряду с 1886 г. (величина аномалии расположена значительно ниже линии тренда и не входит в 95%-ую доверительную область, разность между сезонной аномалией и линией тренда составила -0.208°C).

2. Осредненная по РФ весенняя аномалия температуры: $+2.00^{\circ}\text{C}$ – тринадцатая величина в ряду с 1936 года. На всей территории страны температуры были выше климатической нормы, 95%-е экстремумы отмечались на Южном Урале, в Приморье, на юге Камчатки.

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными (выше 80-го перцентиля) среднесезонными аномалиями температуры составила 47% страны (ранг 23), при этом не наблюдались площади под экстремумами тепла (выше 2σ) и площади под экстремумами холода (ниже -2σ).

4. Из месяцев выделяется май: сезонная аномалия 2.44°C (ранг 2), особенно тепло в ПФО (4.58°C – ранг 1) и в УФО (5.77°C – ранг 2), на севере АЧР. В районе Байкала и в бассейне Амура аномалии температуры отрицательные (до -2°C).

5 В апреле всюду по стране температуры выше климатической нормы (кроме отдельных районов ДФО). 95%-е экстремумы наблюдались на севере ЕЧР и севере Западной Сибири, а также в Приморье, на Сахалине, на Камчатке.

6. В марте на западе ЕЧР, в центре и на юге АЧР – тепло, 95%-е экстремумы наблюдались в Приморье. Температуры ниже климатической нормы - на Урале, на севере Западной и Средней Сибири (аномалии на Таймыре до -4.5°C), на Чукотке.

7. Весной в среднем по РФ выпало 122% нормы осадков – третья величина в ряду, а в среднем по АЧР выпало 121% нормы – ранг 3.

Особенно много осадков выпало на западе ЕЧР, в Прибайкалье и Забайкалье (140% нормы – ранг 3) и в ДФО (118% нормы – ранг 3). Дефицит осадков наблюдался на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало 87% сезонной нормы), на юге Западной Сибири, на Алтае, на востоке Среднесибирского плоскогорья.

8. Площадь, занятая крупными аномалиями выше 80 перцентиля составила 32% (ранг 6-9), ниже 20-го перцентиля – 12%.

9. В марте экстремально влажно на юге ЕЧР (в СКФО выпало 177% - ранг 3), в центре и на юге Сибири (в СФО выпало 166% нормы – ранг 5), на востоке ДФО. Области с дефицитом осадков не такие обширные: центр ЕЧР, север АЧР (от полуострова Ямал до течения Индигирки), Забайкалье.

11. В апреле значительный избыток осадков в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 145% нормы – ранг 8), на большей части ДФО (133%- ранг 6). Дефицит осадков (60-80% нормы) наблюдался на северо-востоке ЕЧР, на юге Западной Сибири, на Алтае.

12. В мае значительный избыток осадков в центре и на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 167%– ранг 2, в ЦФО – 162% - ранг 5), и, далее, до Среднесибирского плоскогорья; а также от Саян до Японского моря (в Прибайкалье и Забайкалье выпало 167% нормы – ранг 3).

В мае 5%-е экстремумы наблюдались в ПФО (87% нормы), на юге Западной Сибири, на Алтае; а также на западе и юге Якутии, на Чукотке и Камчатке.

13. В целом по России линейный тренд весенней температуры воздуха за период 1976-2021 гг. составил $+0.66^{\circ}\text{C}/10$ лет при вкладе тренда в дисперсию ряда 46%, что более чем в полтора раза выше, чем в среднем для суши Северного полушария ($+0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет, вклад в дисперсию ряда 83%). Наиболее быстрое потепление наблюдается на севере АЧР (до $+1.5^{\circ}\text{C}/10$ лет – на Таймыре и до $+1.4^{\circ}\text{C}/10$ лет в Чукотском АО), максимум - в марте (до $+1.7^{\circ}\text{C}/10$ лет – в Западной и Средней Сибири и на северо-востоке страны). На ЕЧР, в Приамурье и Приморье весенние температуры растут значительно слабее (до $+0.5^{\circ}\text{C}$). 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 $+5.9\% /10$ лет, объясняет 41% межгодовой изменчивости. Наиболее интенсивный рост осадков (более $10\%/10$ лет) наблюдается на Кольском полуострове, на юге Поволжья, на юге Западной Сибири, в нижнем течении Енисея, в 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 юга и востока страны (исключая лишь Амурскую область и север Якутии).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии»

Обзор состояния и тенденций изменения климата на территории Республики Беларусь

ВЕСНА 2021



ВВЕДЕНИЕ

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

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

Таблица 1.

Список используемых станций Республики Беларусь.

| | Название | № ВМО | широта | Долгота | Высота |
|---|------------|-------|--------|---------|--------|
| 1 | Витебск | 26666 | 55.20 | 30.20 | 169 |
| 2 | Минск | 26850 | 53.90 | 27.50 | 234 |
| 3 | 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 2018 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» среднее (среднее арифметическое из значений аномалий на попавших в эту ячейку

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

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 ячейечных 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 2021 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.

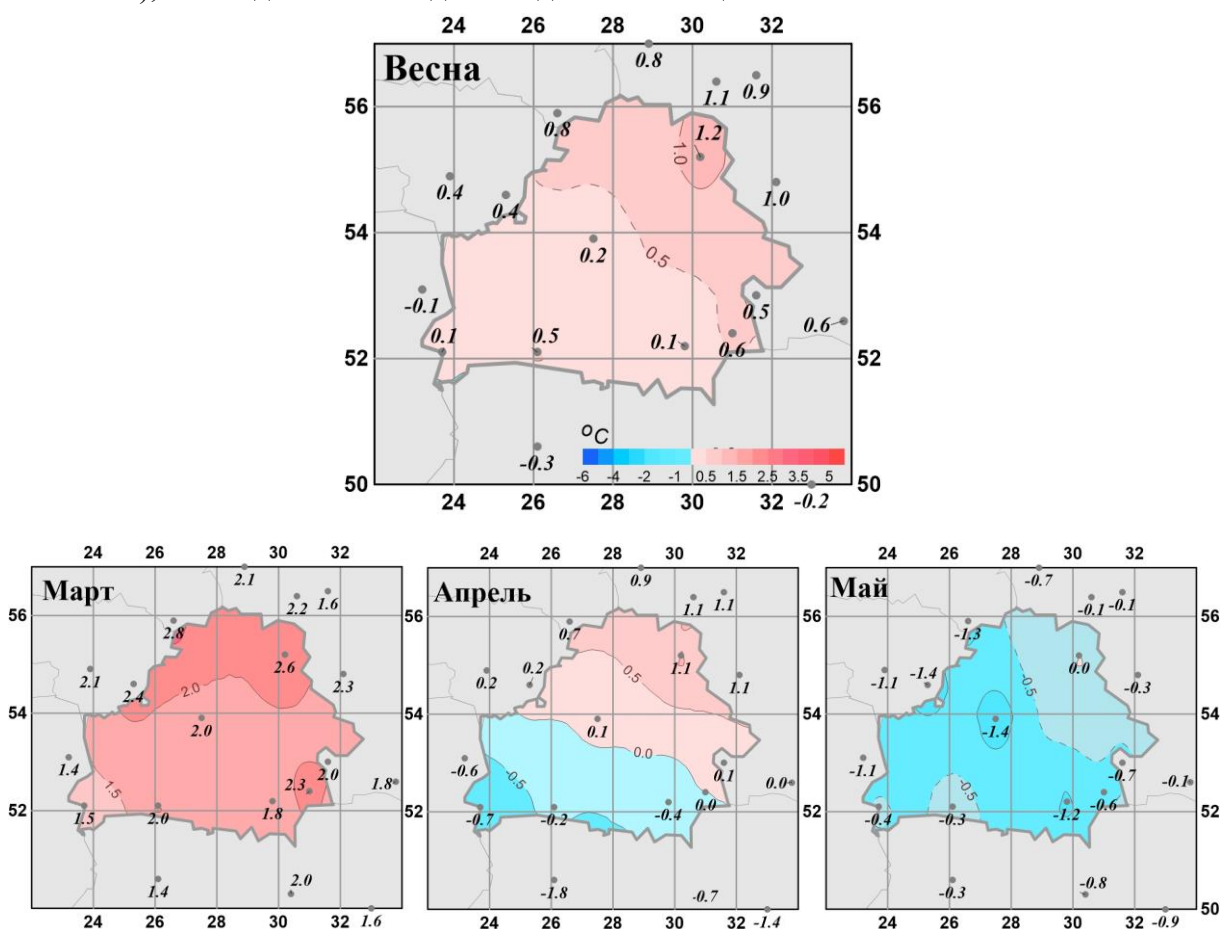


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры (°C) приземного воздуха на территории республики Беларусь весной.

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

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси весной 2021 г.

| | <i>Витебск</i> | <i>Минск</i> | <i>Брест</i> | <i>Пинск</i> | <i>Василевичи</i> | <i>Гомель</i> |
|---|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| | 26666 | 26850 | 33008 | 33019 | 33038 | 33041 |
| а) температура (град. Цельсия) | | | | | | |
| <i>Весна</i> | 6.57 | 6.07 | 7.63 | 7.63 | 7.13 | 7.53 |
| Март | 0.4 | 0.6 | 2.6 | 2.1 | 1.4 | 1.5 |
| Апрель | 6.6 | 6.1 | 7.0 | 7.4 | 7.0 | 7.4 |
| Май | 12.7 | 11.5 | 13.3 | 13.4 | 13.0 | 13.7 |
| б) аномалия температуры (град. Цельсия) | | | | | | |
| <i>Весна</i> | 1.21 | 0.22 | 0.12 | 0.54 | 0.05 | 0.57 |
| Март | 2.56 | 1.98 | 1.5 | 2.04 | 1.76 | 2.29 |
| Апрель | 1.05 | 0.11 | -0.74 | -0.16 | -0.44 | 0.01 |
| Май | 0.03 | -1.43 | -0.39 | -0.26 | -1.16 | -0.59 |

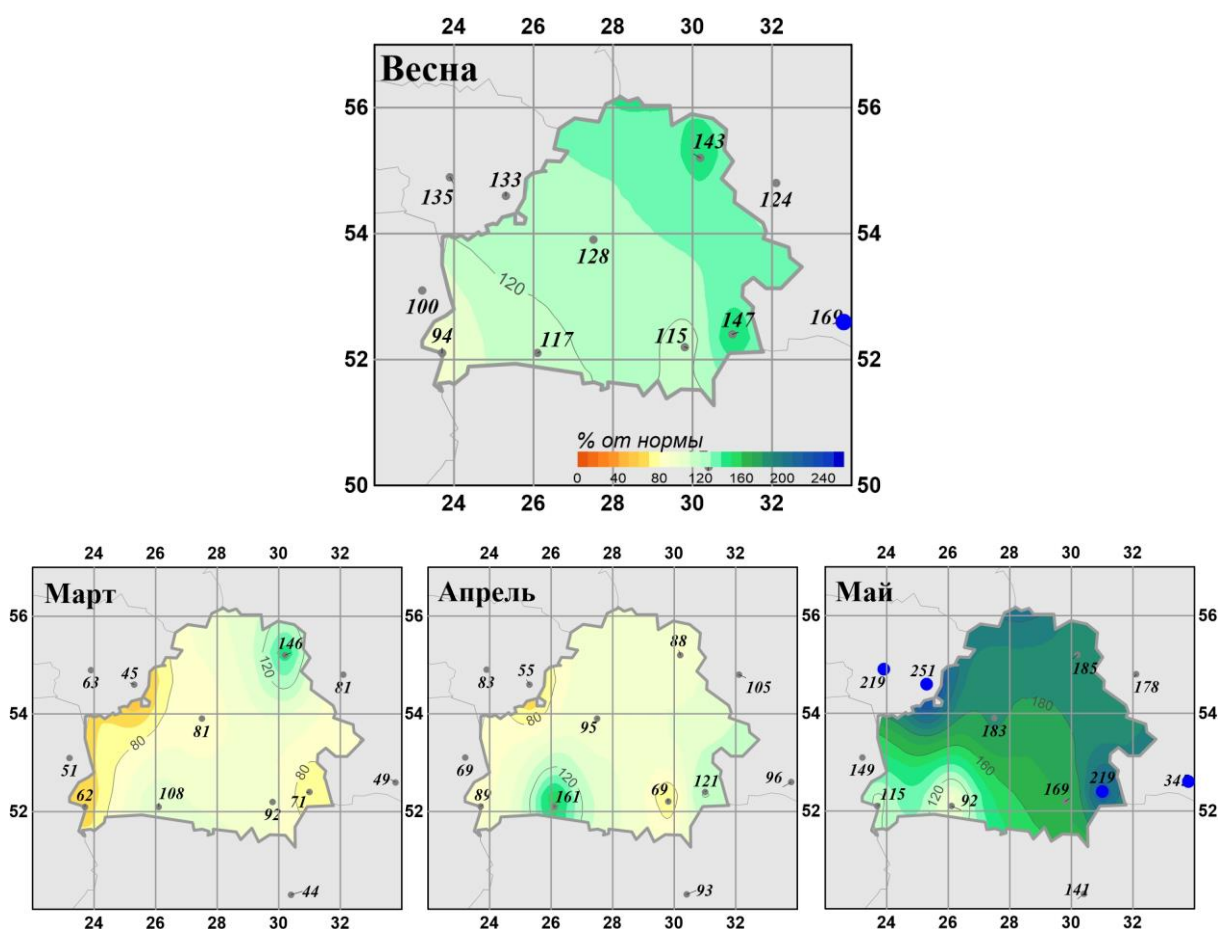


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь весной 2021 г. Аномалии рассчитаны относительно периода 1961-1990 гг. Цифрами приведены значения аномалий температуры (в градусах Цельсия) и осадков (в % от нормы) на станциях.

Таблица 3

Характеристики режима осадков на станциях Беларуси весной 2021 г.

| | <i>Витебск</i> | <i>Минск</i> | <i>Брест</i> | <i>Пинск</i> | <i>Василевичи</i> | <i>Гомель</i> |
|--|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| | 26666 | 26850 | 33008 | 33019 | 33038 | 33041 |
| а) Сумма осадков (мм/месяц) | | | | | | |
| <i>Весна</i> | 60.7 | 62.3 | 40.3 | 47.3 | 50.7 | 57.7 |
| Март | 57 | 34 | 19 | 32 | 31 | 23 |
| Апрель | 34 | 40 | 35 | 60 | 31 | 45 |
| Май | 91 | 113 | 67 | 50 | 90 | 105 |
| б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц) | | | | | | |
| <i>Весна</i> | 18.3 | 13.8 | 6.9 | 6.6 | 18.5 | 18.3 |
| Март | 18.0 | -7.8 | 2.4 | -2.7 | -9.4 | 18.0 |
| Апрель | -4.8 | -2.2 | 22.7 | -14.2 | 7.8 | -4.8 |
| Май | 41.8 | 51.4 | -4.3 | 36.7 | 57 | 41.8 |
| в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы) | | | | | | |
| <i>Весна</i> | 143 | 128 | 117 | 115 | 147 | 143 |
| Март | 146 | 81 | 108 | 92 | 71 | 146 |
| Апрель | 88 | 95 | 161 | 69 | 121 | 88 |
| Май | 185 | 183 | 92 | 169 | 219 | 185 |

На рисунках 3-6 показаны временные ряды осредненных по территории Беларуси сезонных и месячных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 по 2021 гг. В таблицах 4 и 5 приведены аномалии температуры и осадков, а также оценки трендов, в среднем по всей территории республики Беларусь.

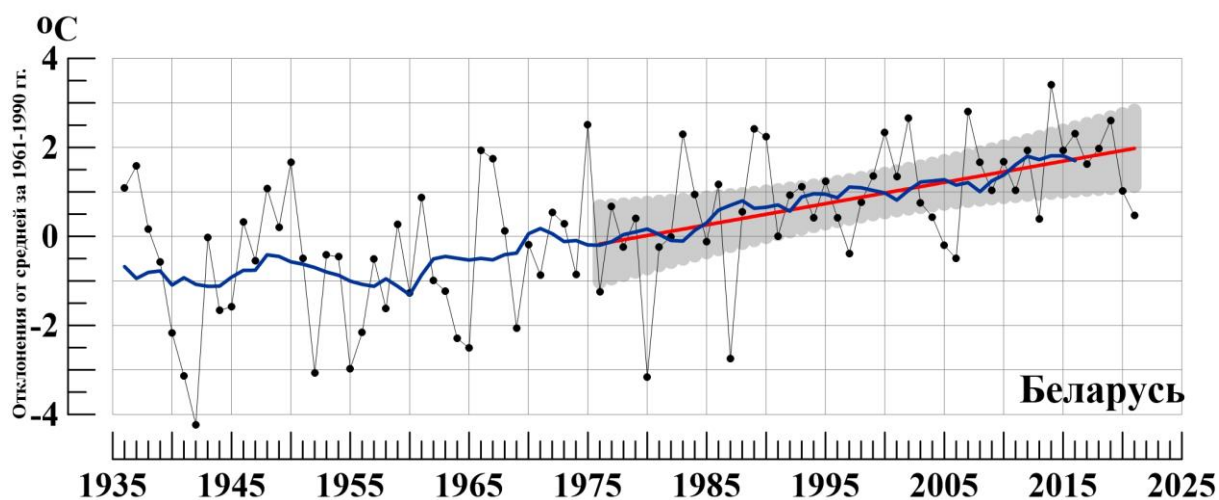


Рисунок 3 - Сезонные (март - май) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.

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

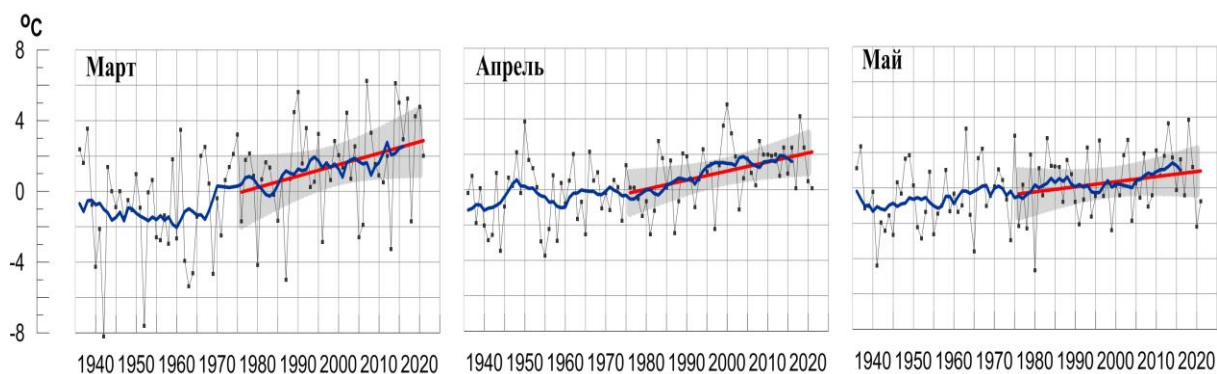


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

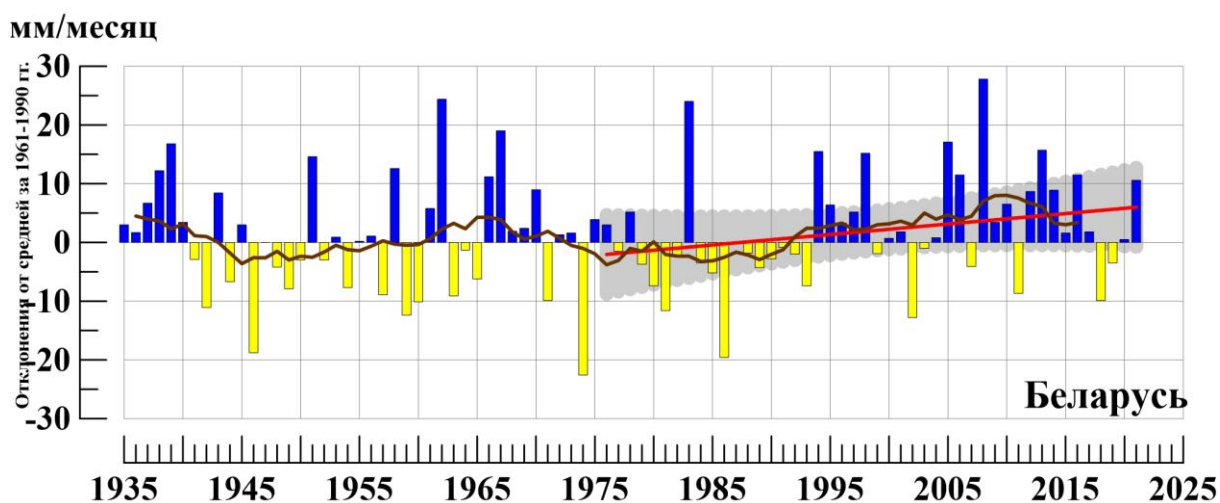


Рисунок 5 - Сезонные (март - май) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рис. 3

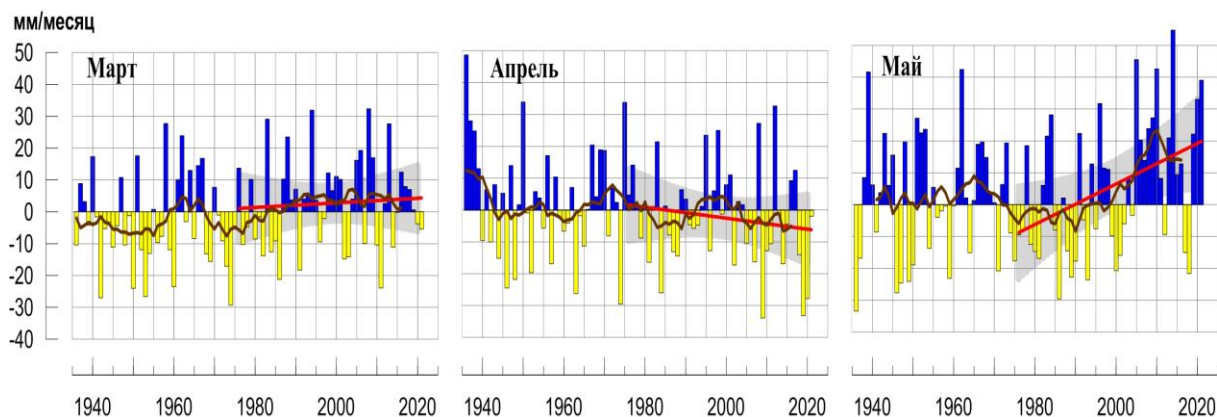


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

Таблица 4

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

| | νT_{2021} | s | RR_{2021} | νR_{2021} | s |
|--------------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| Весна | 0.47 | 1.58 | 125 | 10.6 | 10.6 |
| Март | 2.02 | 2.93 | 85 | -5.4 | 14.5 |
| Апрель | 0.06 | 1.51 | 95 | -2.0 | 14.8 |
| Май | -0.75 | 1.95 | 173 | 39.1 | 17.4 |

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

Таблица 5

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

| Сезон | Температура | | Осадки | |
|--------------|--|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| | $b_{1976-2021}$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет | $D_{1976-2021}$ % | $b_{1976-2021}$ мм/мес/10лет | $D_{1976-2021}$ % |
| Весна | 0.48 | 24 | 1.8 | 6 |
| Март | 0.65 | 10 | 0.7 | 0 |
| Апрель | 0.51 | 17 | -1.7 | 2 |
| Май | 0.29 | 5 | 6.4 | 16 |