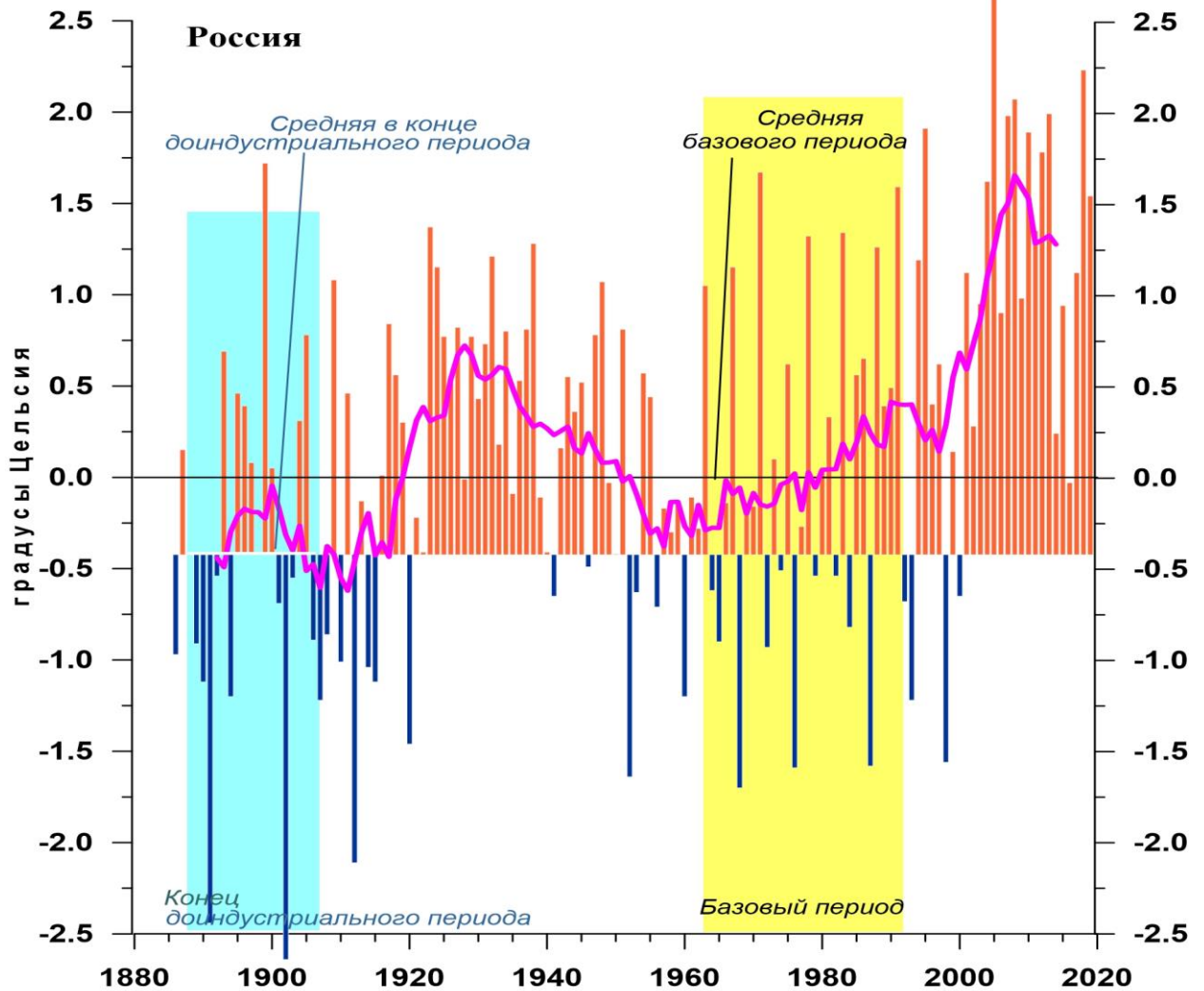


Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии»



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2019

ОСЕНЬ: сентябрь – ноябрь

Обзор состояния и тенденций изменения
климата России

★
Москва 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ¹

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (осенний сезон) | 6 |
| 2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСЕНИ 2019 г. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ | 7 |
| 3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ОСЕННИЙ СЕЗОН..... | 15 |
| 4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ОСЕННЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ, 1936-2019 гг..... | 20 |
| 5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2019 гг. (осенний сезон) | 25 |
| ВЫВОДЫ | 28 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ. Климатические особенности осени 2019 г. на территории Республики Беларусь | 30 |

¹ На обложке приведен ход средней сезонной аномалии температуры приземного воздуха, осредненной по территории России, за 1887 – 2019 гг. (осень)
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 (577) станций России). В настоящем выпуске использованы данные 248 (для осадков по архиву R1383) и 396 (для температуры по архиву T3288) 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 превышения 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. Следует заметить, что в соответствии с Указом Президента России от 3 ноября 2018 года №632 Республика Бурятия и Забайкальский край исключены из состава СФО и переданы в ДФО.



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. 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», ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «ВНИИСХМ». 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»: М.Ю. Бардин (руководитель), Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Т.В. Платова, О.Ф. Самохина, Ю.Ю. Соколов

1. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И РОССИИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ (осенний сезон)

На рисунке 1.1 представлены временные ряды сезонных аномалий температуры у поверхности (осень 2019: сентябрь - ноябрь), 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 `scut4nh.txt` на сайте www.cru.uea.ac.uk). Временные ряды для территории России рассчитаны по стационарным данным о температуре приземного воздуха ФГБУ «ИГКЭ» по базовому архиву, содержащему 3288 (Т3288: начальный год 1901) станции на поверхности суши Земного шара. Представлены также линейные тренды за 1976-2019 гг.

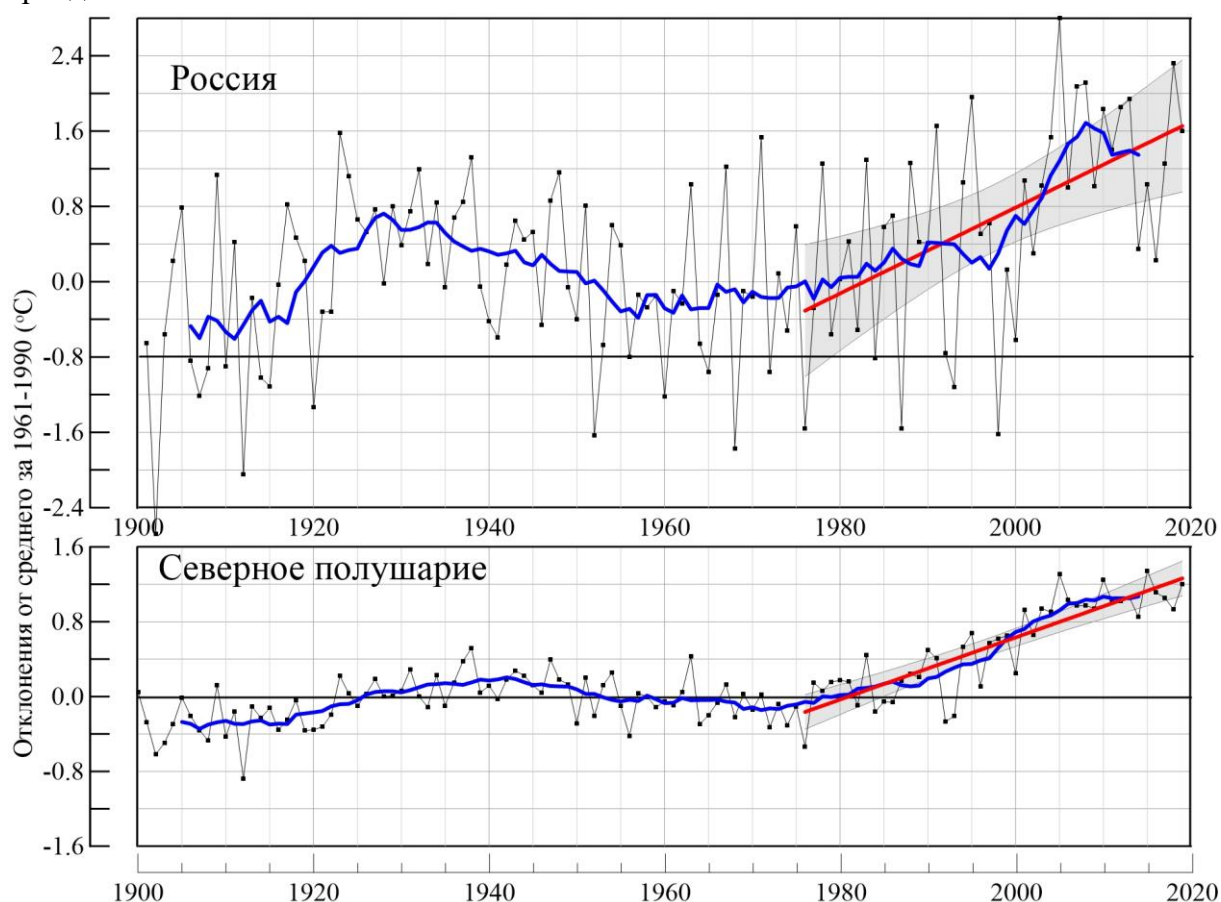


Рисунок 1.1 – Сезонная аномалия (осень: сентябрь - ноябрь) температуры приземного воздуха, осредненная по суше Северного полушария и территории России Для России (1901-2019 гг.).

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 1976-2019 гг. (доверительная область для России показана для архива Т3288). Используются 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 осенью составила +1.201°C (стандартное отклонение 0.24°C) – четвертая величина с 1886 г.

Для России в целом средняя сезонная аномалия температуры приземного воздуха составила 1.60°C при величине стандартного отклонения 0.90°C (10-я в ряду с 1901 года). Оценки линейных трендов, характеризующие среднюю тенденцию изменений осенних температур за период 1976-2019 гг. в среднем для суши СП и России, приведены в табл. 1.1. Величина тренда средних по территории России осенних температур в 1.3 раза выше, чем средних по Северному полушарию. В последнее десятилетие наблюдается некоторое замедление потепления, как для Северного полушария, так и для России.

Таблица 1.1

Сезонные (осень: сентябрь – ноябрь) аномалии температуры приземного воздуха относительно норм базового периода 1961-1990 гг. (°C), осредненные по суше СП и России и оценки линейного тренда за период 1976-2019 гг.

| Регионы | νT_{2019} | $s_{1961-90}$ | b , °C/10 лет | D % |
|---------|----------------|---------------|-----------------|-------|
| СП | 1.20 | 0.24 | 0.33 | 75 |
| Россия | 1.60 | 0.90 | 0.43 | 26 |

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

2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОСЕНИ 2019 гг. НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На рис. 2.1 и 2.2 представлены карты сезонных и месячных аномалий температуры и осадков на территории России осени 2019 г. На картах указано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го выше 95-го процентилей. Значения аномалий, осредненных по регионам, представлены в таблицах 2.1 и 2.2.

Температура воздуха. Осредненная по РФ аномалия температуры 1.60°C – десятая величина в ряду. Почти всюду на территории страны (кроме запада Мурманской области, юго-востока ПФО, района среднего течения Витима) средние сезонные аномалии были положительными. Наиболее теплые условия осенью (аномалии выше 2°C, на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдались в центре и на севере ДФО (осредненная по региону аномалия 2.33°C – пятая величина в ряду), в ЦФО (2.13°C – ранг 6). Отрицательные сезонные аномалии (не ниже -1°C) наблюдались на западе Мурманской области, на юго-востоке ПФО, района среднего течения Витима.

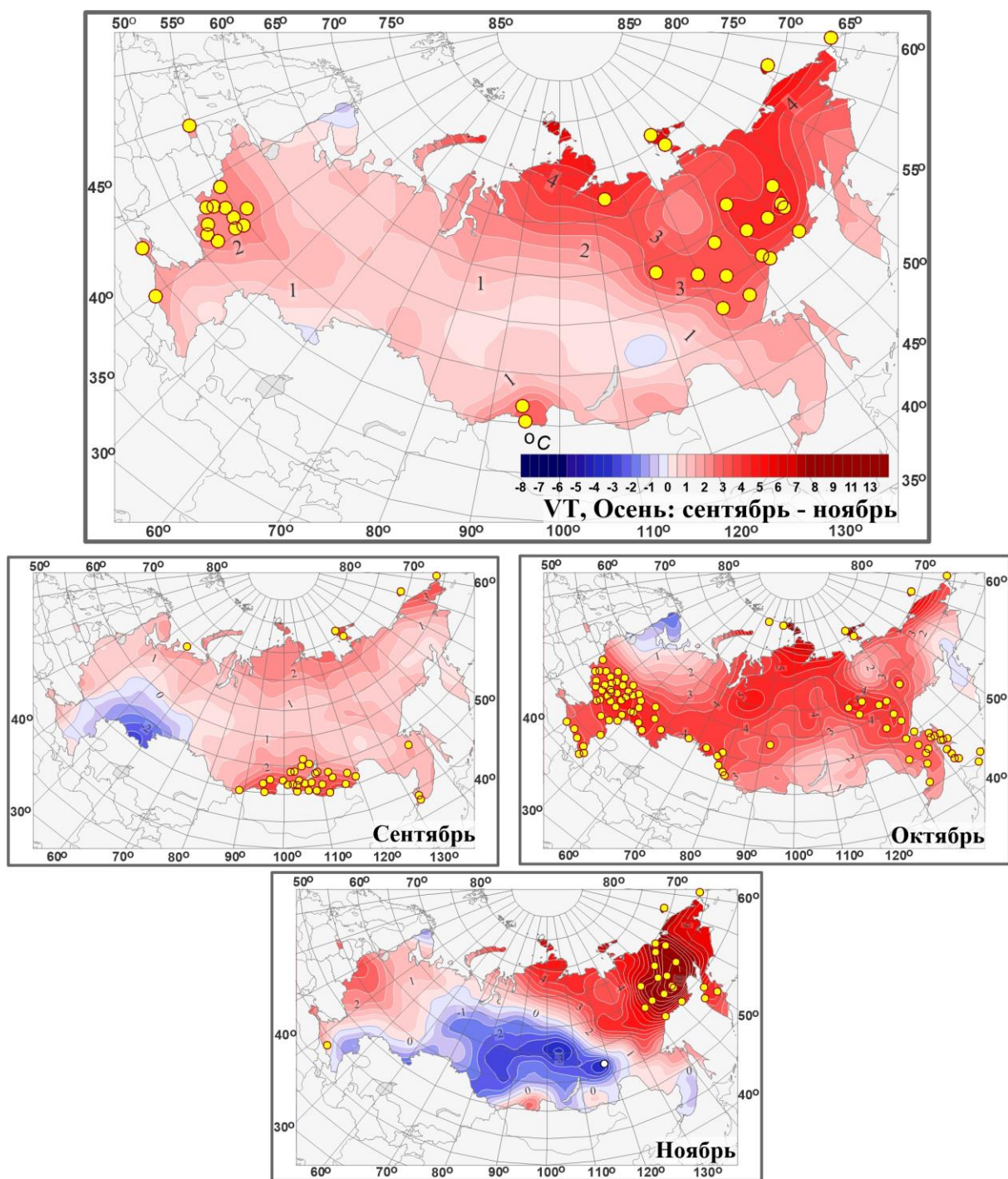


Рисунок 2.1 – Поля средней сезонной и средних месячных аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России осенью 2019 г. Кружками желтого цвета показано местоположение станционных экстремумов выше 95-го перцентиля.

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

Распределение средних сезонных температур на рис. 2.2 позволяет проследить рассмотренные особенности сезона несколько под другим углом. Изотерма $+10^{\circ}\text{C}$ среднесезонных температур на ЕЧР близка к своему климатическому положению, тогда

как изотермы $+5^{\circ}\text{C}$ (на примерно на $3-4^{\circ}$ с.ш) и 0°C (на $1-2^{\circ}$ с.ш.) смещены на север. В АЧР изотермы 0°C и -5°C смещены к северу, а на Дальнем Востоке - к западу от своего климатического положения примерно на $1-2^{\circ}$, смещение изотермы -10°C более значительное – примерно на $4-5^{\circ}$. Среднесезонных температур ниже -15°C осенью 2019 года вообще не наблюдалось.

Сентябрь. Осредненная по РФ аномалия температуры 0.96°C . Тепло на большей части страны, экстремально тепло (всюду отмечались 95%-е экстремумы) в Прибайкалье и Забайкалье (2.34°C – ранг 3), аномалии на станциях до $+4^{\circ}\text{C}$ (наибольшая аномалия температуры зафиксирована на станции Эрзин республики Тыва: $+4^{\circ}\text{C}$).

Температуры ниже нормы наблюдались в ПФО (в среднем по федеральному округу аномалия температуры составила -0.97°C), в ряде областей ЮФО на Южном Урале, аномалии до -2.5°C (наименьшая аномалия температуры зафиксирована в Оренбурге: -2.5°C).

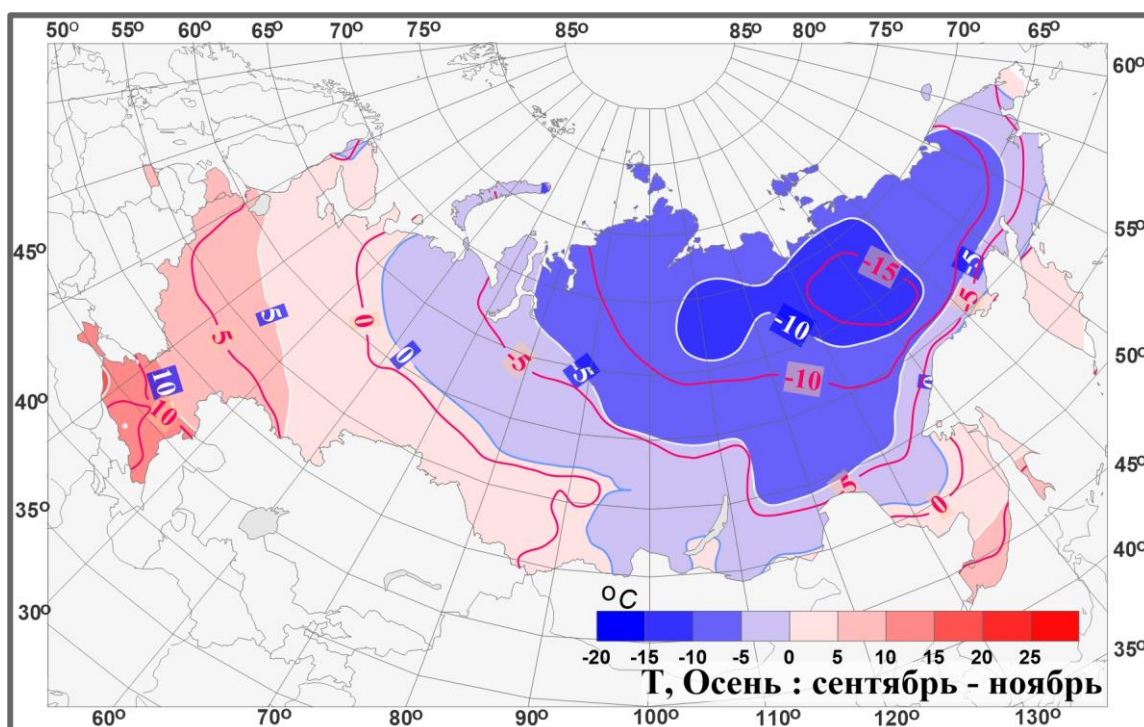


Рисунок 2.2 – Поля средней сезонной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на территории России осенью 2019 гг. Красные изолинии: средние изотермы за период 1961-1990 гг.

Октябрь. Очень теплый месяц, осредненная по РФ аномалия температуры 2.66°C – шестая величина в ряду. Положительные аномалии температуры наблюдались всюду, кроме Карелии и Мурманской области и севера Камчатки. Экстремально тепло (аномалии температуры выше 4°C , повсеместно отмечались 95%-е экстремумы) в центре и на юге ЕЧР, особенно в ЦФО (3.36°C – ранг 4) и в ПФО (3.89°C – ранг 3); на юге ДФО (2.52°C – ранг 5).

Холодно (аномалии до -2°C) в Карелии, в Мурманской области, на севере Камчатки.

Ноябрь. Осредненная по РФ ноябрьская аномалия температуры 1.19°C. Тепло на севере и северо-востоке АЧР, экстремально тепло (аномалии 4°C-10.5°C, на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) в Восточной Сибири (6.04°C – ранг 4). Тепло также (аномалии на станциях до 3.5°C) на большей части ЕЧР (кроме запада Мурманской области и юго-восточных областей).

Холодно (аномалии до -4.7°C) на юго-востоке ЕЧР и, далее, в центре и юге АЧР. Холодно также (до -2°C) на западе Мурманской области, в Приморье.

Атмосферные осадки. Осредненные по РФ осадки 109% нормы. Осредненные по АЧР 114% - ранг 5 (особенно много осадков выпало в ДФО (116% и- ранг 6) – за счет октября и ноября). Избыток осадков наблюдался также на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 127% нормы – ранг 4, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы, сезонный избыток осадков связан с избытком осадков в октябре и в ноябре).

Дефицит осадков (60-80%) наблюдался в центре и юге ЕЧР (в ЮФО выпало 61% сезонной нормы – среди четырех «самых сухих» осенних сезонов в этом федеральном округе, сезонный дефицит осадков связан, в основном, с дефицитом осадков в ноябре), на Сахалине (на ряде станций отмечались 5%-е экстремумы), в районе Обской губы, вдоль побережья Восточно-Сибирского моря.

Сентябрь. Осредненные по РФ осадки составили 99% нормы. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на большей части ЕЧР (в среднем по региону выпало 80% месячной нормы), на востоке Якутии и в Чукотском АО, в Приморье и на юге Сахалина.

Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался в бассейне Оби, в Средней Сибири, в Приамурье, а также в ряде областей ЮФО и ПФО, на побережье Белого моря.

Октябрь. Осредненные по РФ осадки 124% нормы – четвертая величина в ряду. Значительный избыток осадков (на многих станциях 95%-е экстремумы) наблюдался в центре и на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 172% нормы – исторический максимум в ряду), в центральных районах Сибирского и Дальневосточного ФО. Наибольшее количество осадков выпало на станции Юрьевец ЦФО (234% нормы), станции Гридино республики Карелия (291%), станции Орлинга Иркутской области (228%), Охотск (267%) ДВФО.

Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО выпало лишь 58% нормы – среди пяти «самых сухих» октябрей), в Саянах, в Приамурье и Приморье (84% нормы), а также вдоль азиатского побережья Северного Ледовитого океана.

Ноябрь. Осредненные по РФ осадки 107% нормы. Сильный дефицит осадков наблюдался на юге и в центре ЕЧР: в ЮФО (выпало лишь 32% нормы – среди трех «самых сухих», в ПФО (65%), в ЦФО (80%), на ряде станций этих районов фиксировались 5%-е экстремумы. Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался также на Новой Земле, в районе Обской губы, вдоль побережья Восточно-Сибирского моря.

Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 127% нормы – ранг 6, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы), на большей части АЧР (в целом по региону выпало 121% нормы – ранг 9), особенно на юге ДФО (137% - ранг 9, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы).

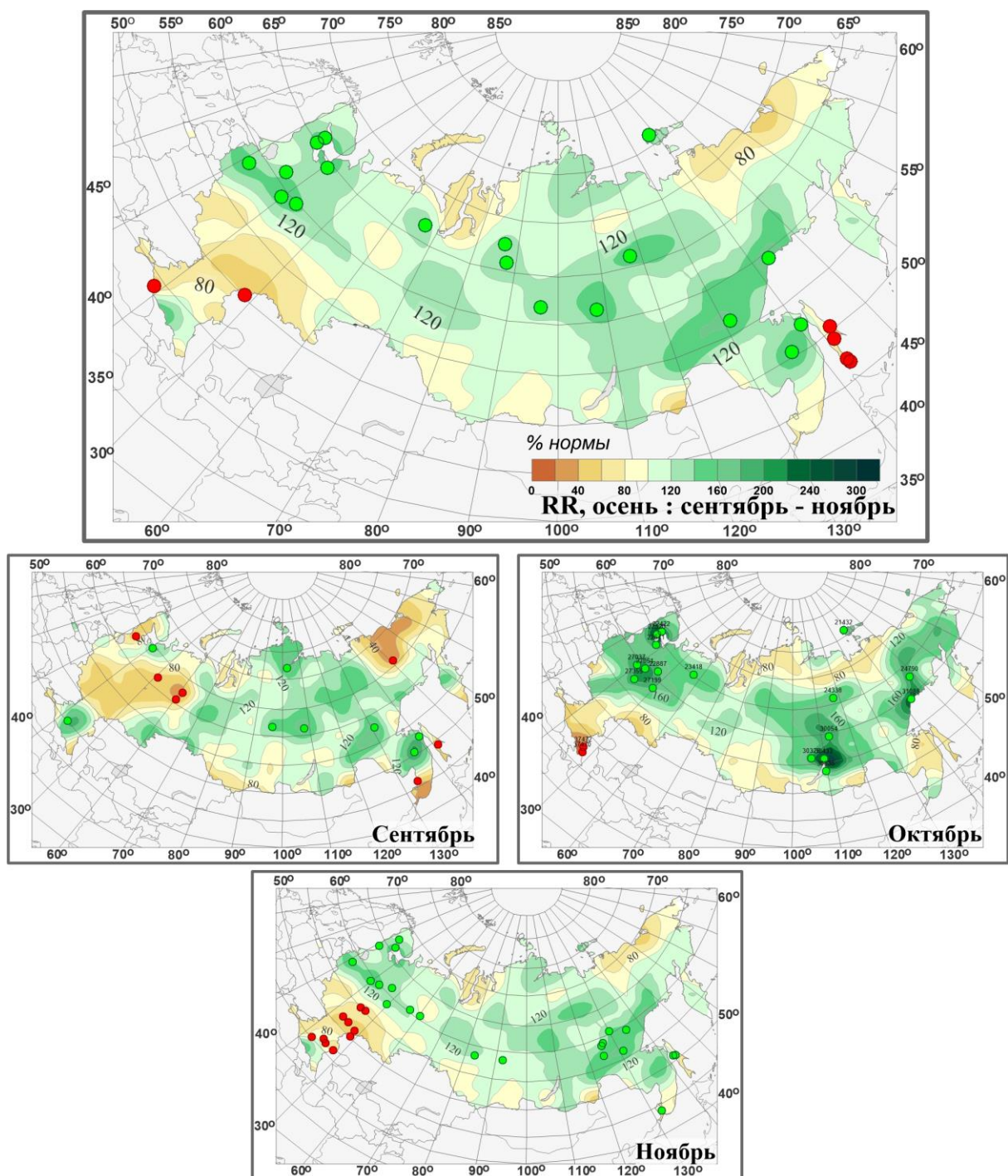


Рисунок 2.3 – Поля аномалий средних сезонных и месячных сумм осадков (в процентах от нормы за 1961-1990 гг.) на территории России осенью 2019 г. (сентябрь – ноябрь). Кружками красного цвета показаны стационарные экстремумы ниже 5-го перцентиля, зеленого – выше 95-го перцентиля.

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены регионально осредненные аномалии температуры и осадков, рассчитанные по значениям стационарных аномалий осеннего сезона; для характеристики масштаба аномалий приведены также средние квадратические отклонения региональных аномалий за базовый период 1961-90 гг. Оценки приведены для физико-географических регионов (рис.1) и федеральных

округов (рис.2) Российской Федерации.

Для осадков (табл. 2.2) дополнительно к отклонениям от нормы приведены относительные аномалии, т.е. отношение осредненной по территории региона сезонной суммы осадков к средней по региону сезонной норме, выраженное в процентах (о процедуре регионального осреднения см. во введении). Из-за выраженной асимметрии распределения осадков для характеристики масштаба аномалий разного знака приводятся величины разности между медианой и первым квартилем (25-й процентиль, т.е. точка, отсекающая 1-ю четверть распределения) функции распределения для характеристики величины дефицита осадков, а для оценки величины избытка осадков - разности между третьим квартилем и медианой, рассчитанные для базового периода. (приводится также величина аномалии, соответствующая медиане распределения, что позволяет судить о величине асимметрии). Кроме того, в таблицах приведены значения эмпирической вероятности (вероятности неперевышения) региональных аномалий по данным за 1936-2018 годы.

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

Таблица 2.1

Регионально осредненные аномалии температуры осенью 2019 г.

| Регионы | vT_{2016} | $s_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2016})$ |
|---|-------------|---------------|----------------------|
| Российская Федерация | 1.60 | 0.90 | 89.2 |
| Физико-географические регионы России | | | |
| Европейская часть России | 1.20 | 1.04 | 78.3 |
| Азиатская часть России | 1.76 | 1.10 | 89.2 |
| Западная Сибирь | 0.93 | 1.54 | 65.1 |
| Средняя Сибирь | 1.72 | 1.80 | 78.3 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 1.09 | 1.23 | 79.5 |
| Приамурье и Приморье | 1.28 | 0.89 | 84.3 |
| Восточная Сибирь | 3.19 | 0.94 | 94.0 |
| Федеральные округа РФ | | | |
| Северо-Западный | 0.90 | 1.24 | 68.7 |
| Центральный | 2.13 | 1.13 | 94.0 |
| Приволжский | 1.11 | 1.25 | 72.3 |
| Южный | 1.26 | 1.05 | 78.3 |
| Северо-Кавказский | 1.18 | 0.85 | 78.3 |
| Уральский | 1.08 | 1.64 | 65.1 |
| Сибирский | 1.00 | 1.49 | 72.3 |
| Дальневосточный | 2.33 | 1.01 | 95.2 |

Примечание: 1. Аномалии vT_{2019} ($^{\circ}C$) рассчитаны как отклонения от нормы 1961-1990 гг.; s ($^{\circ}C$) – среднее квадратическое отклонение за базовый период; вероятности неперевышения $P(t \leq T_{2019})$ рассчитаны по выборке за 1936-2018 гг. и выражены в %.

Как уже отмечалось выше, температура осенью для России в целом (см. табл. 2.1) была теплой, аномалия температуры составила $1.60^{\circ}C$. Осредненные по всем

регионам аномалии положительные, наиболее экстремальные условия наблюдались в ДВФО (2.33°C – ранг 5).

Из месяцев сезона (см. табл. 2.1.1) самыми теплым был октябрь: осредненная по РФ аномалия 2.66°C, экстремально тепло было в ЦФО (3.36°C – ранг 4), в ПФО (3.89°C – ранг 3), в ДФО (2.52°C – ранг 5). Следует также отметить экстремально теплые сентябрь в Прибайкалье и Забайкалье (2.34°C – ранг 3) и ноябрь в Восточной Сибири (6.04°C – ранг 4).

Таблица 2.1.1

Регионально осредненные аномалии температуры в осенние месяцы

| Регионы | Сентябрь | | | Октябрь | | | Ноябрь | | |
|---|-------------|---------------|----------------------|-------------|---------------|----------------------|-------------|---------------|----------------------|
| | vT_{2016} | $S_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2016})$ | vT_{2016} | $S_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2016})$ | vT_{2016} | $S_{1961-90}$ | $P(t \leq T_{2016})$ |
| Российская Федерация | 0.96 | 0.59 | 81.9 | 2.66 | 1.26 | 94.0 | 1.19 | 1.88 | 73.5 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | | | | |
| Европейская часть России | 0.26 | 1.24 | 47.0 | 2.45 | 1.75 | 88.0 | 0.88 | 1.80 | 65.1 |
| Азиатская часть России | 1.23 | 0.65 | 88.0 | 2.74 | 1.38 | 90.4 | 1.32 | 2.28 | 68.7 |
| Западная Сибирь | 0.66 | 1.29 | 56.6 | 3.38 | 2.03 | 88.0 | -1.25 | 3.63 | 32.5 |
| Средняя Сибирь | 1.25 | 1.00 | 80.7 | 3.36 | 2.77 | 91.6 | 0.54 | 3.70 | 53.0 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 2.34 | 0.93 | 97.6 | 1.51 | 1.65 | 77.1 | 0.58 | 2.56 | 42.2 |
| Приамурье и Приморье | 1.20 | 0.85 | 78.3 | 2.29 | 1.24 | 94.0 | 0.39 | 1.99 | 54.2 |
| Восточная Сибирь | 1.21 | 0.97 | 75.9 | 2.38 | 1.36 | 85.5 | 6.04 | 2.02 | 96.4 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | | | | |
| Северо-Западный | 1.03 | 1.41 | 65.1 | 0.73 | 1.95 | 51.8 | 0.94 | 2.62 | 56.6 |
| Центральный | 0.78 | 1.44 | 59.0 | 3.36 | 1.83 | 96.4 | 2.24 | 1.97 | 81.9 |
| Приволжский | -0.97 | 1.49 | 19.3 | 3.89 | 2.01 | 97.6 | 0.42 | 2.04 | 57.8 |
| Южный | 0.05 | 1.28 | 45.8 | 3.40 | 1.81 | 94.0 | 0.28 | 1.59 | 56.6 |
| Северо-Кавказский | 0.21 | 1.12 | 51.8 | 3.33 | 1.61 | 94.0 | 0.16 | 1.33 | 53.0 |
| Уральский | 0.36 | 1.38 | 53.0 | 3.60 | 2.41 | 85.5 | -0.75 | 4.05 | 39.8 |
| Сибирский | 1.39 | 1.03 | 89.2 | 2.88 | 1.87 | 90.4 | -1.28 | 3.25 | 36.1 |
| Дальневосточный | 1.33 | 0.83 | 85.5 | 2.52 | 1.23 | 95.2 | 3.18 | 2.00 | 86.7 |

Количество выпавших осенью в РФ в целом осадков (табл. 2.2) составило 109% нормы, при этом в АЧР выпало 114% - ранг 5. В ЕЧР экстремальное количество осадков наблюдалось в СЗФО (127% нормы – ранг 4), а сильный дефицит осадков - в ЮФО (61% нормы – среди четырех «самых сухих» осенних сезонов).

Значительный избыток осадков (табл. 2.2.1) наблюдался в октябре (в целом по РФ выпало 124% нормы – ранг 4), особенно много осадков выпало в СЗФО (172% - рекордная величина в ряду).

Сильный дефицит осадков наблюдался в ЮФО в октябре (58% нормы – среди пяти «самых сухих»), в ноябре (32% нормы – среди трех «самых сухих»).

Таблица 2.2

Регионально осредненные аномалии осадков осенью 2019 г.

| Регионы | νR_{2019} | RR_{2019} | m | $m-q1$ | $q3-m$ | $P(r \leq R_{2019})$ |
|---|----------------|-------------|-------------|------------|------------|----------------------|
| Российская Федерация | 4.0 | 109 | 0.3 | 2.2 | 2.1 | 88.0 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | |
| Европейская часть России | 0.4 | 101 | 0.4 | 5.9 | 4.4 | 55.4 |
| Азиатская часть России | 5.4 | 114 | 0,6 | 2,9 | 1,4 | 95.2 |
| Западная Сибирь | 3.3 | 108 | 0.4 | 3.0 | 2.1 | 73.5 |
| Средняя Сибирь | 7.8 | 123 | 0.0 | 2.1 | 1.8 | 97.6 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 2.8 | 110 | -0.3 | 2.5 | 3.5 | 63.9 |
| Приамурье и Приморье | 3.9 | 107 | -0.2 | 5.1 | 8.0 | 71.1 |
| Восточная Сибирь | 7.5 | 120 | -1.6 | 1.9 | 5.2 | 86.7 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | |
| Северо-Западный | 15.2 | 127 | 0.0 | 3.6 | 3.0 | 96.4 |
| Центральный | -2.7 | 95 | -2.7 | 5.0 | 12.9 | 47.0 |
| Приволжский | -6.5 | 87 | 0.7 | 7.5 | 4.9 | 31.3 |
| Южный | -16.1 | 61 | -1.3 | 5.9 | 8.2 | 3.6 |
| Северо-Кавказский | -7.3 | 87 | -0.2 | 6.7 | 8.3 | 21.7 |
| Уральский | 4.4 | 110 | -0.8 | 4.5 | 5.3 | 74.7 |
| Сибирский | 4.8 | 113 | 0.2 | 2.0 | 2.5 | 89.2 |
| Дальневосточный | 6.0 | 116 | 0.2 | 2.6 | 2.7 | 94.0 |

Примечание: 1. Аномалии νR_{2019} (мм/месяц) рассчитаны как отклонения от нормы (среднее за базовый период 1961-1990 гг.), RR_{2019} - отношение R_{2019} к норме, выраженное в %, $q1$, $q3$ и m – соответственно первый, третий квартиль и медиана аномалий (мм/месяц) за базовый период; вероятности не превышения $P(r \leq R_{2019})$ – рассчитаны по выборке за 1936-2018 гг. и выражены в %. Выделены экстремальные значения, попавшие в 5% максимальных.

Таблица 2.2.1

Регионально осредненные аномалии осадков в осенние месяцы.

| Регионы | Сентябрь | | | Октябрь | | | Ноябрь | | |
|---|----------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------|
| | νR_{2019} | RR_{2019} | $P(r \leq R_{2019})$ | νR_{2019} | RR_{2019} | $P(r \leq R_{2019})$ | νR_{2019} | RR_{2019} | $P(r \leq R_{2019})$ |
| Российская Федерация | -0.4 | 99 | 43.4 | 9.7 | 124 | 96.4 | 2.5 | 107 | 71.1 |
| Физико-географические регионы России | | | | | | | | | |
| Европейская часть России | -10.7 | 80 | 16.9 | 18.3 | 136 | 92.8 | -6.4 | 87 | 42.2 |
| Азиатская часть России | 3.8 | 108 | 65.1 | 6.3 | 117 | 91.6 | 6.1 | 121 | 90.4 |
| Западная Сибирь | 0.6 | 101 | 47.0 | 6.3 | 115 | 79.5 | 3.0 | 109 | 66.3 |
| Средняя Сибирь | 9.3 | 122 | 86.7 | 11.0 | 134 | 94.0 | 3.1 | 112 | 80.7 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 2.8 | 106 | 50.6 | 5.9 | 128 | 79.5 | 0.0 | 100 | 41.0 |
| Приамурье и Приморье | 5.7 | 106 | 62.7 | -7.7 | 84 | 30.1 | 13.8 | 147 | 86.7 |
| Восточная Сибирь | 0.4 | 101 | 54.2 | 9.1 | 124 | 85.5 | 13.4 | 143 | 89.2 |
| Федеральные округа РФ | | | | | | | | | |
| Северо-Западный | -8.7 | 86 | 26.5 | 41.3 | 172 | 100.0 | 12.8 | 126 | 94.0 |
| Центральный | -22.1 | 60 | 14.5 | 24.5 | 150 | 85.5 | -10.3 | 80 | 37.3 |
| Приволжский | -13.9 | 72 | 26.5 | 11.1 | 122 | 73.5 | -16.6 | 65 | 25.3 |
| Южный | -0.8 | 98 | 57.8 | -14.7 | 58 | 4.8 | -33.1 | 32 | 2.4 |
| Северо-Кавказский | -1.3 | 97 | 38.6 | -24.8 | 55 | 13.3 | 2.2 | 103 | 54.2 |
| Уральский | 2.7 | 105 | 57.8 | 10.6 | 124 | 81.9 | 0.0 | 100 | 55.4 |
| Сибирский | 3.5 | 108 | 61.4 | 8.3 | 122 | 89.2 | 2.6 | 108 | 72.3 |
| Дальневосточный | 4.3 | 108 | 68.7 | 4.2 | 112 | 75.9 | 9.7 | 137 | 90.4 |

3. ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ОСЕННИЙ 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 1976-2019 гг.: температуры приземного воздуха и атмосферных осадков на территории России для осеннего сезона в целом и для каждого из месяцев осени.

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 осеннего сезона на территории России с 1976 г.

Среднесезонные осенние температуры растут со скоростью более $+0.4^{\circ}\text{C}$ в ЕЧР (до $+0.7^{\circ}\text{C}/10$ лет в Поволжье) и на севере и востоке АЧР до $+1.6^{\circ}\text{C}/10$ лет в Восточной Сибири, за счет октября и ноября).

В полосе от Обской губы до Забайкалья наблюдается минимальный рост температуры (до $+0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) за счет отрицательного тренда температуры в ноябре

(до $-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет в центре области).

По сравнению с прошлым 2018 годом распределение коэффициентов линейного тренда по территории страны практически не изменилось.

Наиболее значительное увеличение температуры происходит в октябре – тренд от $+0.4^{\circ}\text{C}$ до $+1.8^{\circ}\text{C}/10$ лет на всей территории страны, а также в ноябре – в Восточной Сибири от $+0.6^{\circ}\text{C}$ до $+2.2^{\circ}\text{C}/10$ лет. Важная отличительная особенность изменений температуры в ноябре – наличие упомянутой выше области с отрицательным трендом в северной части Западной – южной части Средней Сибири и в Прибайкалье.

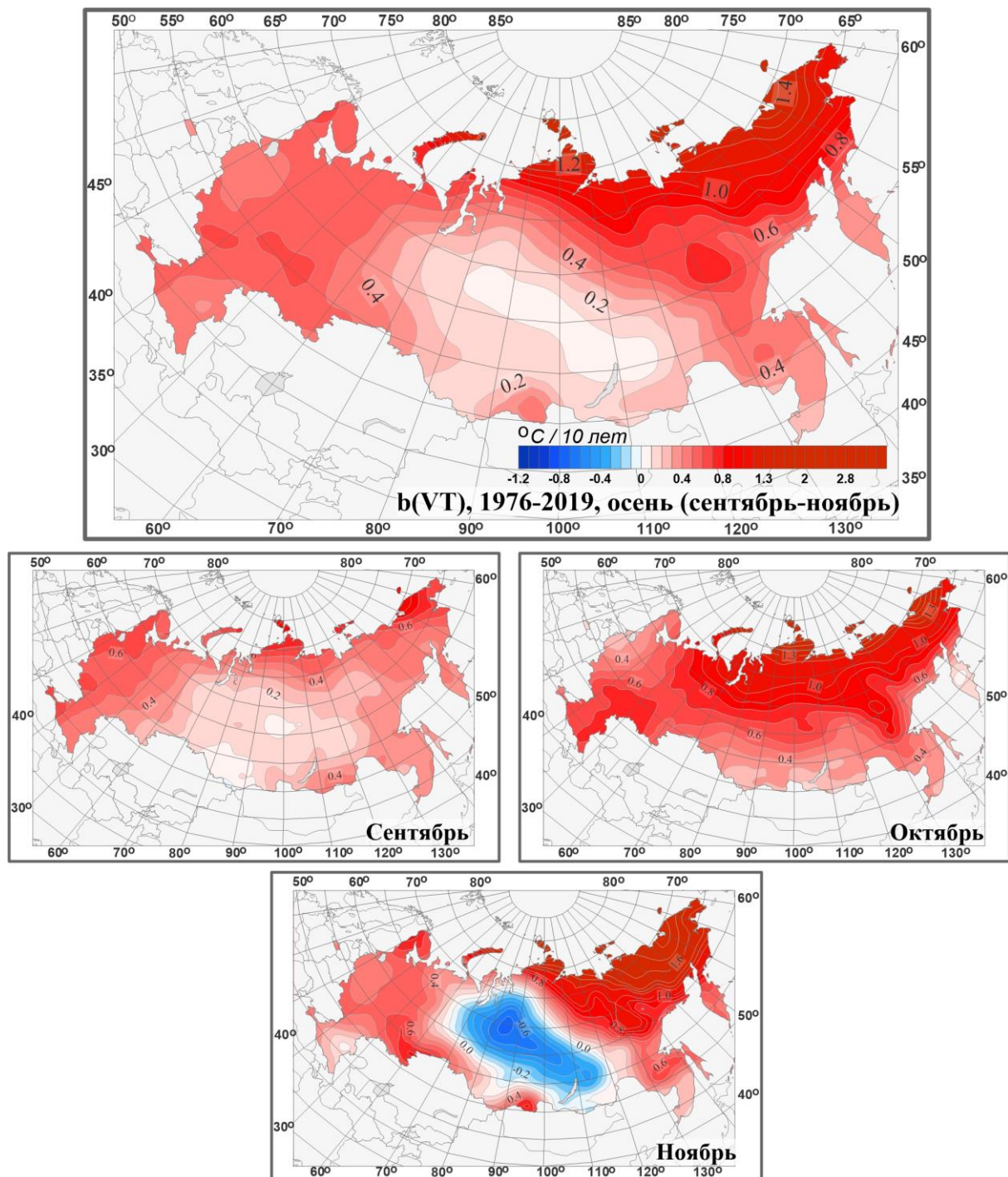


Рисунок 3.1 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) на территории России по данным за 1976-2019 (осень)

На большей части страны осенью (рис. 3.2) тенденции к изменению выпадений осадков не обнаруживаются.

Тенденция к увеличению осадков осенью (+5 мм/10 лет - +15 мм/10 лет) просматривается в восточных районах страны – здесь во все месяцы сезона наблюдаются районы, где происходит рост осадков (более +10 мм/10 лет). Кроме того, тенденция к увеличению осадков (более +10 мм/10 лет) наблюдается в октябре на юге европейской части РФ.

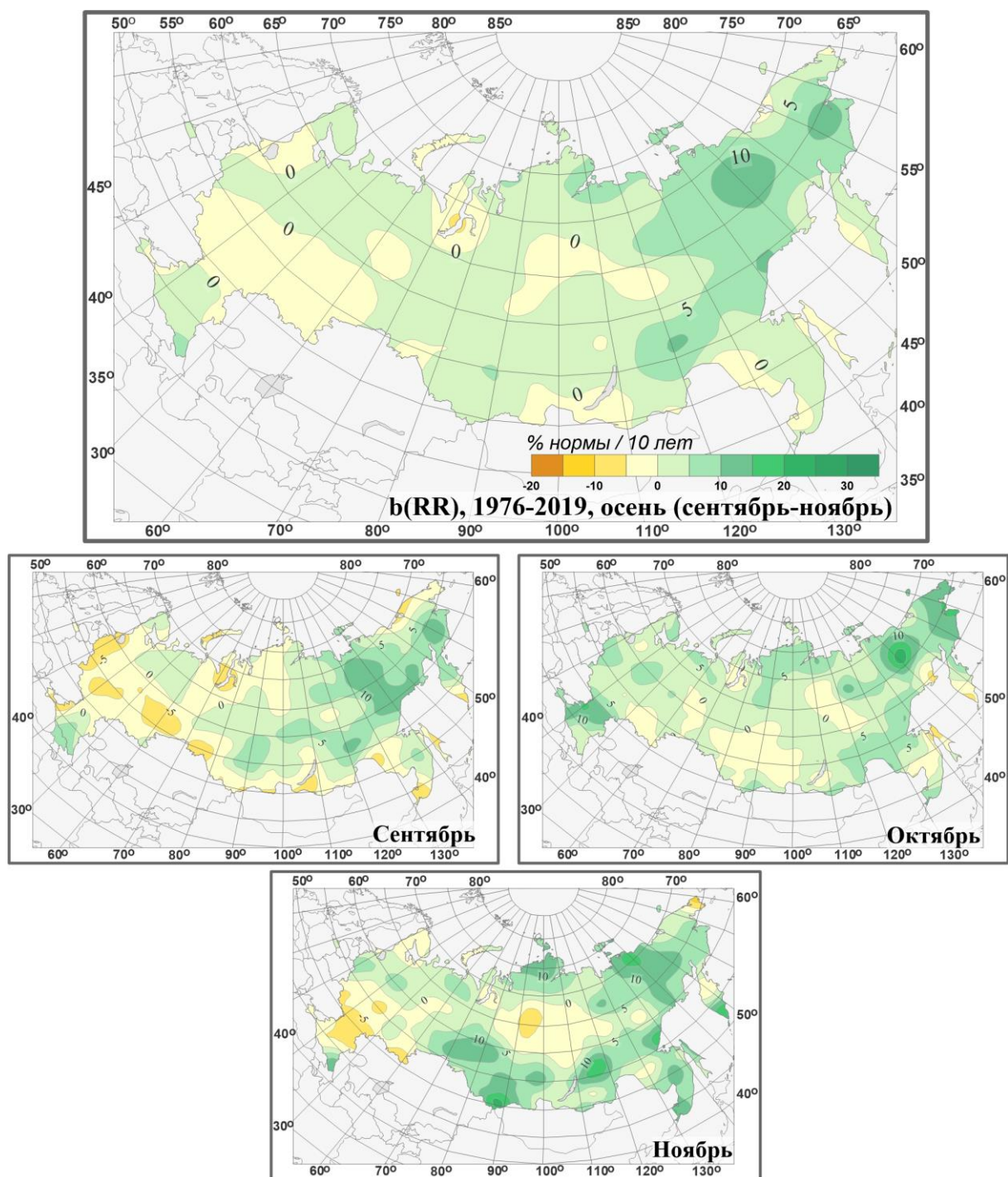


Рисунок 3.2 – Распределение локальных коэффициентов линейного тренда сезонных и месячных аномалий осадков (% нормы /10 лет) на территории России по данным за 1976-2019 (осень).

Уменьшение осадков (около -5 мм/10 лет) наблюдается в сентябре - в ЕЧР, на юге Сибири и Дальнего Востока; в октябре – в некоторых районах АЧР, в ноябре - в ЮФО и в центральных районах АЧР.

По сравнению с прошлым 2018 годом увеличилась площадь (и интенсивность - в ноябре) уменьшения осадков осенью на юге ЕЧР из-за сильного дефицита осадков в ноябре.

В таблице 3.1 приведены оценки линейного тренда температуры и осадков осеннего сезона и каждого его месяца для территории РФ в целом, а на рис. 3.3 и 3.4 приведены средние сезонные и средние месячные аномалии температуры и осадков, осредненные по территории РФ.

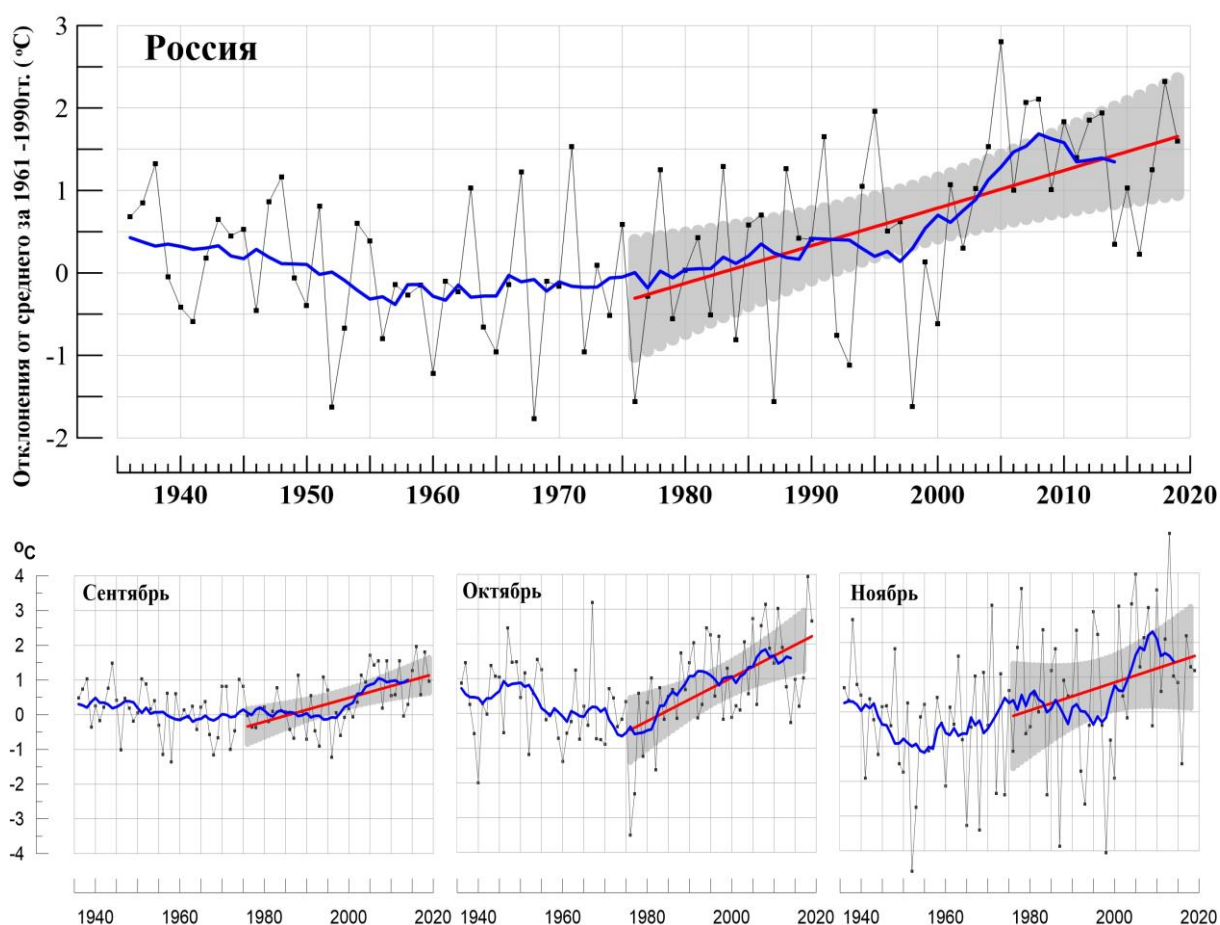


Рисунок 3.3 – Аномалия средней сезонной (вверху) и для месяцев сезона температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) осредненная по территории РФ.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2019 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 осенний сезон, за 1976-2019 гг.

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

| Регион Российская Федерация | Температура | | Осадки | |
|-----------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| | <i>b</i> °C/10 лет | <i>D</i> , % | <i>b</i> мм/мес/10 лет | <i>D</i> , % |
| Осень | 0.43 | 26 | 0.7 | 8 |
| Сентябрь | 0.34 | 31 | 0.2 | 0 |
| Октябрь | 0.63 | 31 | 1.1 | 7 |
| Ноябрь | 0.40 | 6 | 0.8 | 4 |

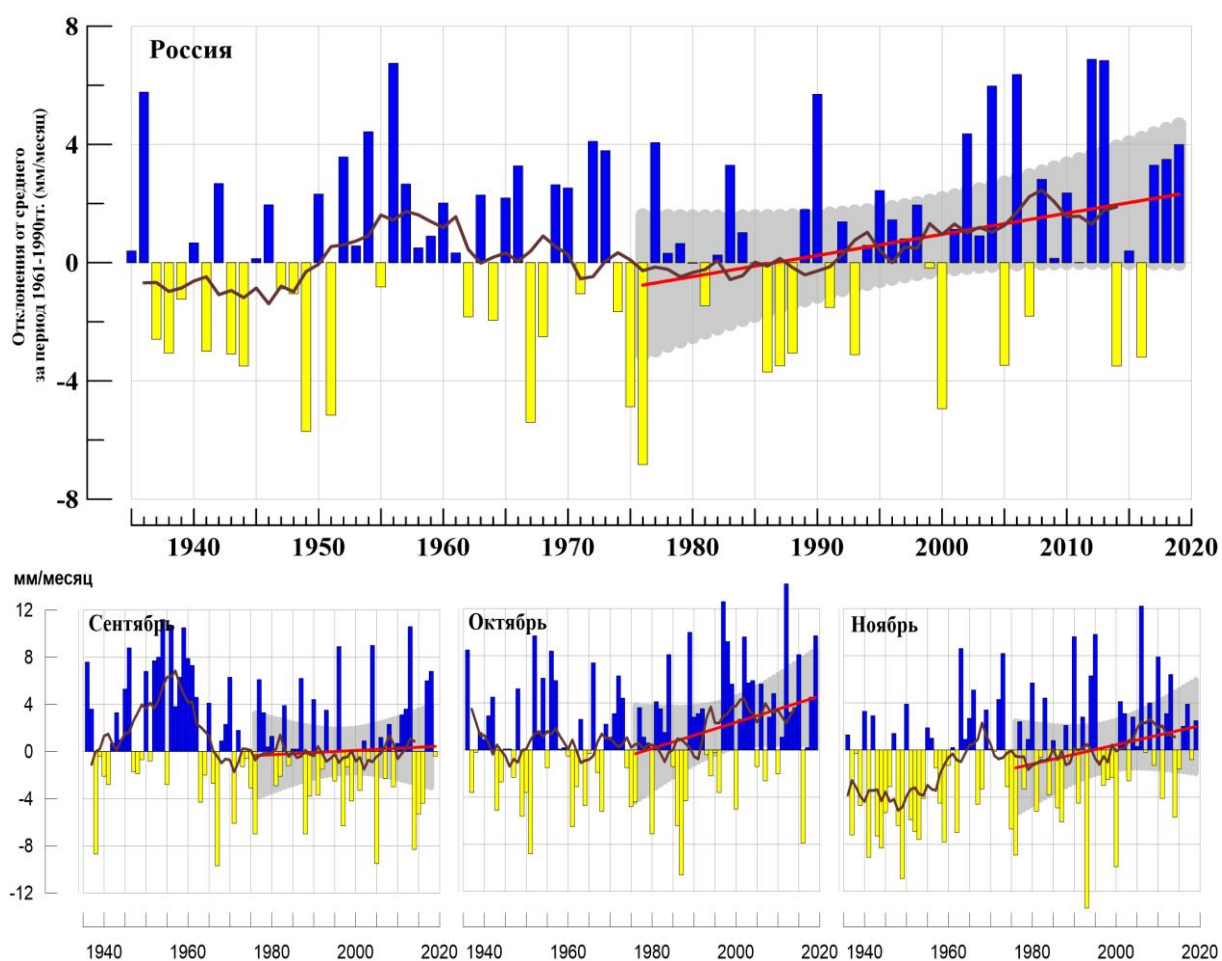


Рисунок 3.4 – То же, что на рис. 3.3, но для атмосферных осадков (мм/месяц).

4. ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ ОСЕННЕГО СЕЗОНА В РЕГИОНАХ РОССИИ ЗА ПЕРИОД 1936-2019 гг.

В разделе анализируется характер изменения регионально-осредненных температур и осадков для физико-географических регионов России и Федеральных округов. На рис. 4.1 – 4.5 приведены временные ряды осредненных по регионам аномалий средней месячной температуры приземного воздуха (°C) и месячных сумм осадков (мм/месяц) осеннего сезона за 1936 – 2019 гг. На всех рисунках показаны линейные тренды за 1976-2019 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 1976-2019 гг. (осенний сезон),

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

| | <i>Температура</i> | | <i>Осадки</i> | | |
|---|-----------------------|--------------|---------------------------|------------------------|--------------|
| | <i>b</i> °C/10 лет | <i>D</i> , % | <i>b</i> мм/мес/10 лет | <i>b</i> , %/10 лет | <i>D</i> , % |
| Россия | 0.43 | 26 | 0.7 | 1.7 | 8 |
| Физико-географические регионы России | | | | | |
| Европейская часть России | 0.52 | 27 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| Азиатская часть России | 0.43 | 23 | 1.0 | 2.6 | 18 |
| Западная Сибирь | 0.25 | 4 | 0.5 | 1.2 | 2 |
| Средняя Сибирь | 0.36 | 8 | 0.8 | 2.2 | 6 |
| Прибайкалье и Забайкалье | 0.16 | 3 | 0.8 | 2.7 | 5 |
| Приамурье и Приморье | 0.39 | 24 | 0.2 | 0.4 | 0 |
| Восточная Сибирь | 0.77 | 49 | 2.3 | 6.1 | 26 |
| Федеральные округа РФ | | | | | |
| Северо-Западный | 0.53 | 22 | 0.7 | 1.3 | 1 |
| Центральный | 0.54 | 27 | -0.4 | -0.7 | 0 |
| Приволжский | 0.56 | 23 | -0.9 | -1.8 | 1 |
| Южный | 0.49 | 22 | -0.1 | -0.2 | 0 |
| Северно-Кавказский | 0.42 | 21 | 1.1 | 1.9 | 1 |
| Уральский | 0.33 | 6 | 0.4 | 0.6 | 1 |
| Сибирский | 0.19 | 3 | 0.6 | 0.9 | 5 |
| Дальневосточный | 0.59 | 43 | 1.3 | 1.6 | 22 |

Основная особенность изменения осенней температуры (рис. 4.1, 4.2) – рост температуры наблюдается во всех регионах. Но начало роста во всех регионах разный: в Европейской части России и в Западной Сибири – конец 1990-х гг., в Средней Сибири и в Восточной Сибири – середина 1970-х гг., в Прибайкалье и Забайкалье – середина 1960-х гг., в Приамурье и Приморье – середина 1980-х гг. Во всех регионах,

наблюдались периоды замедление роста температуры: с конца 1980-х по 2000-е, а также - в начале 2010-х, кроме Восточной Сибири (сглаженная кривая на рис. 4.1 и 4.2).

Наиболее заметен рост температуры в Восточной Сибири и в Европейской части России и в (превышает полградуса за 10 лет). В этих регионах, а также в Приамурье и Приморье, вклад тренда в дисперсию ряда позволяет говорить о значимости тенденции увеличения температуры на 1% уровне.

По сравнению с периодом 1976-2018 гг. оценки линейного тренда осенью изменились незначительно (в пределах 0.01°C-0.02°C / 10 лет).

Монотонная тенденция увеличения осадков (рис. 4.3, 4.4) за период современного потепления (с 1976 г.) прослеживается в регионах: Восточная Сибирь (Дальневосточный ФО) и Азиатская часть России в целом, где наблюдается увеличение осадков и тренд значим на уровне 5%. Значительный рост осадков осенью происходит в регионе Восточная Сибирь (тренд +2.3 мм/10 лет (6.1%/лет) объясняет 26% изменчивости ряда).

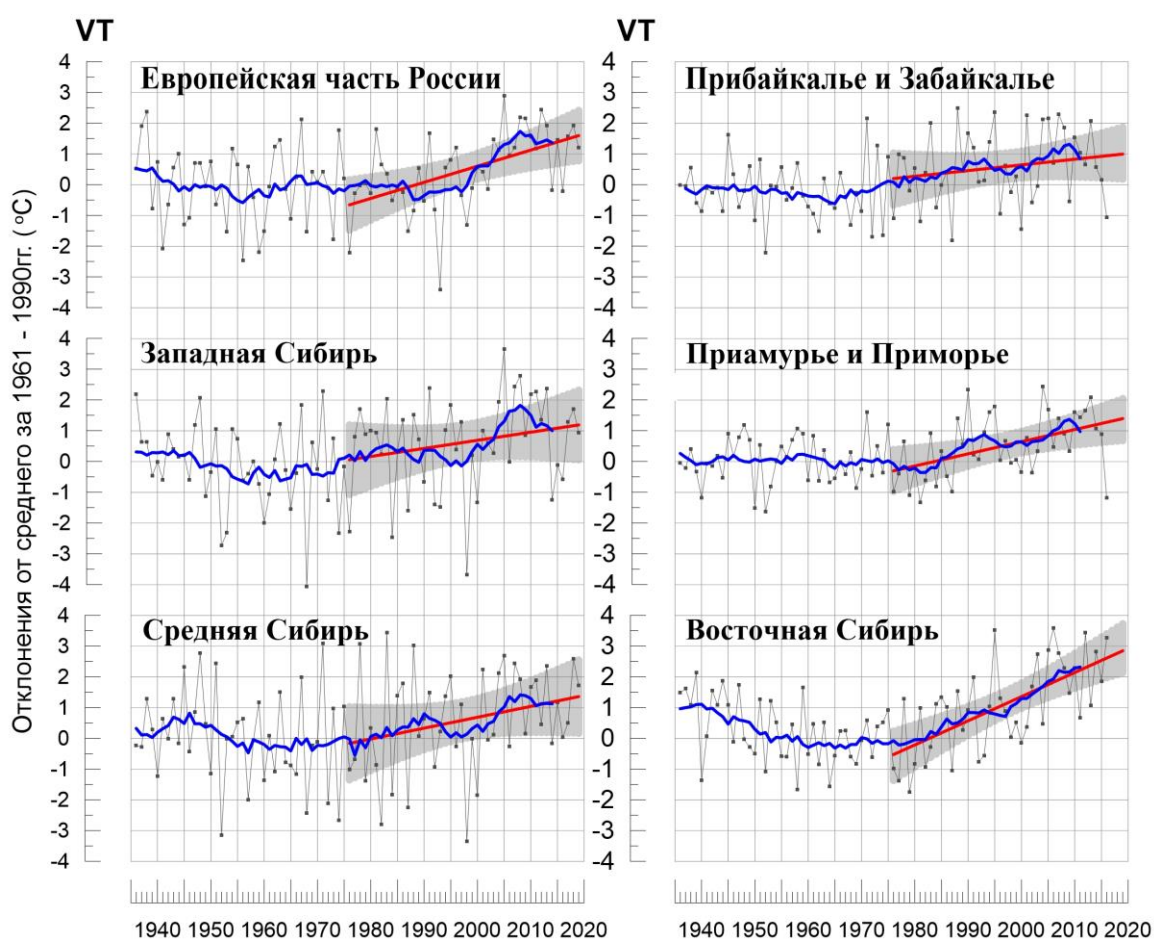


Рисунок 4.1 - Сезонные аномалии температуры приземного воздуха (°C), осредненные по территории физико-географических регионов РФ, осень 1936-2019 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд получен по данным за 1976-2019гг. Показана 95% -я доверительная область для линии тренда (по архиву T3288).

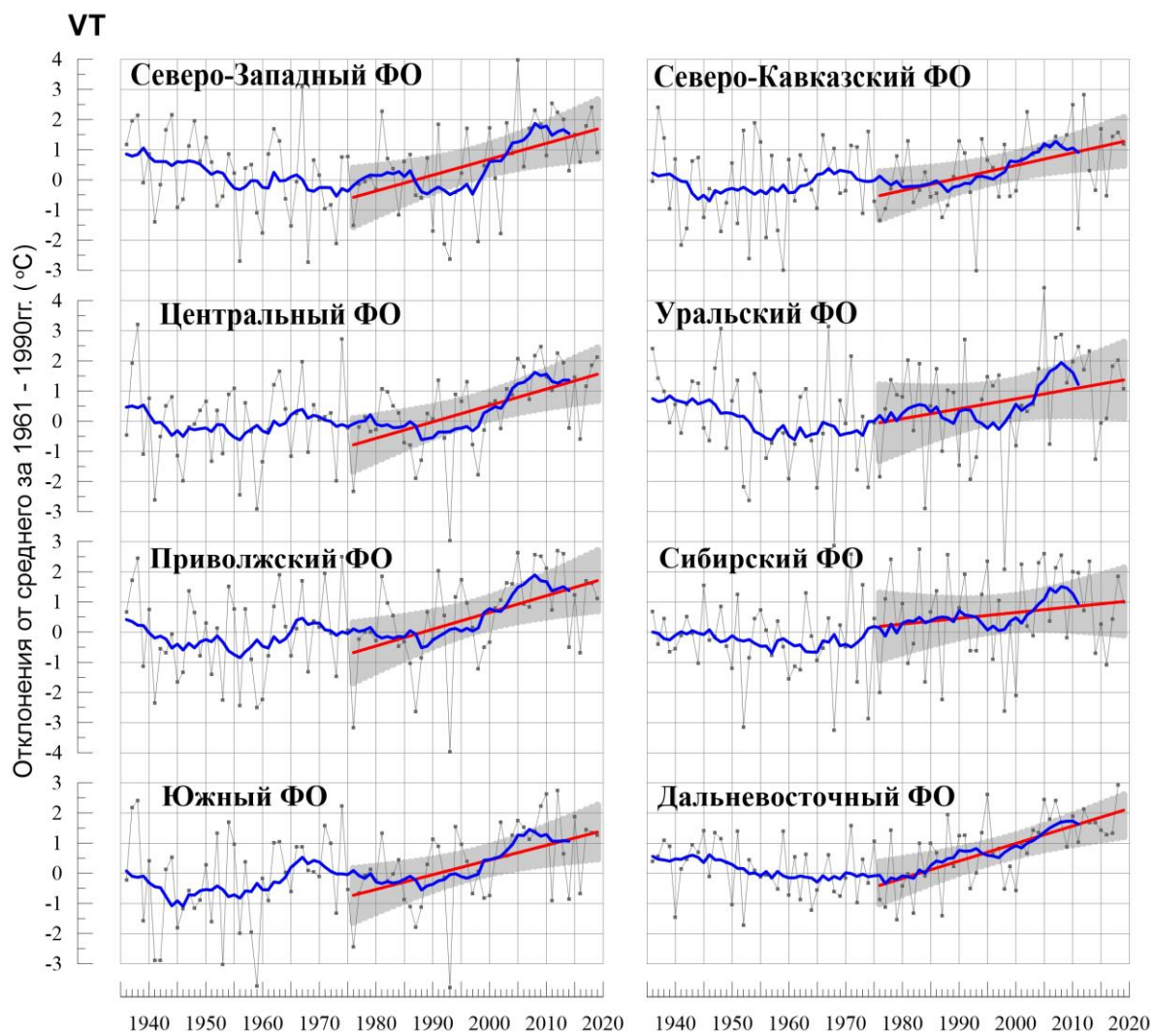


Рисунок 4.2 – То же, что на рис.4.1, но для федеральных округов

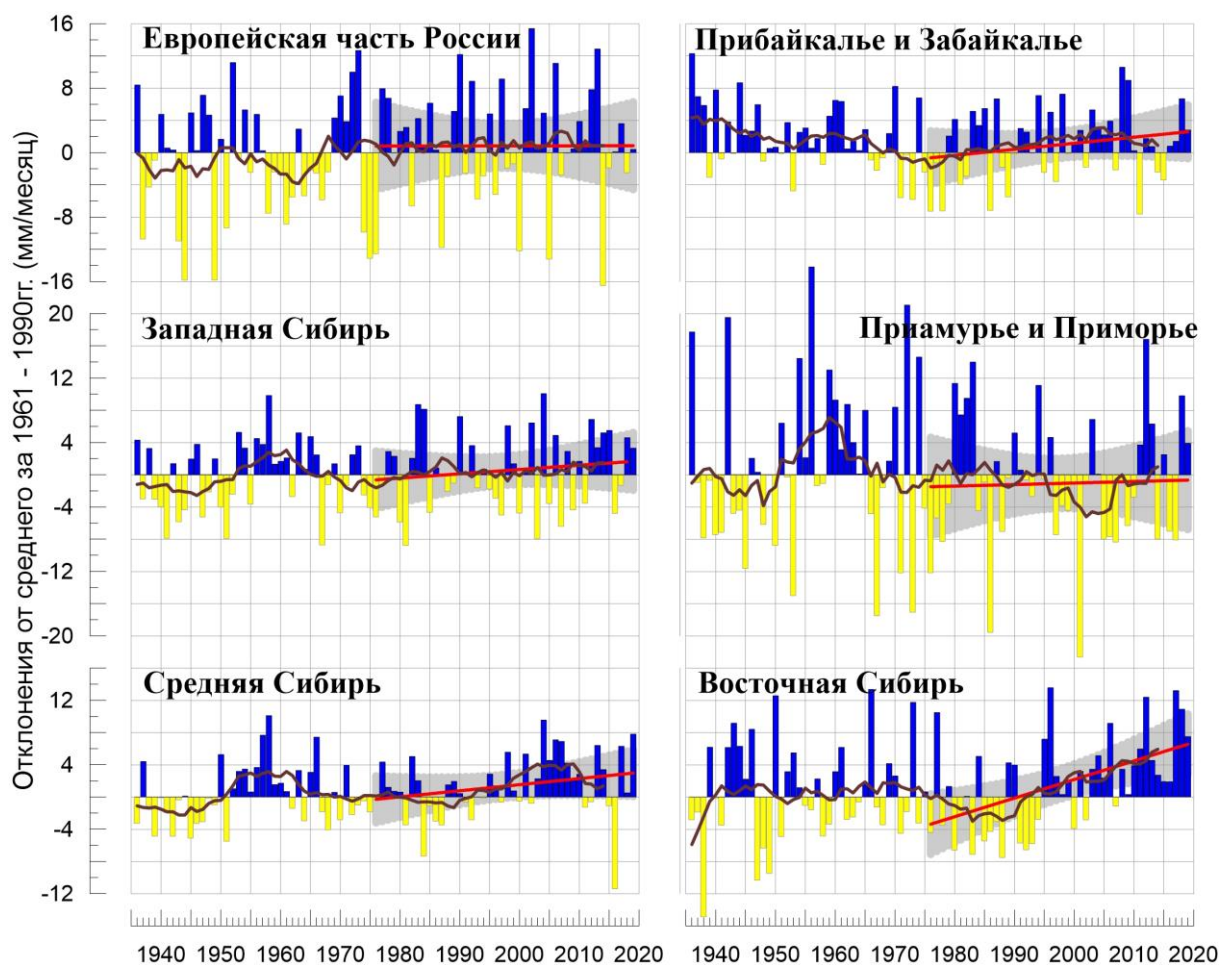


Рисунок 4.3 - Сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории регионов РФ, осень 2019 г.
Условные обозначения см. на рис. 4.1.

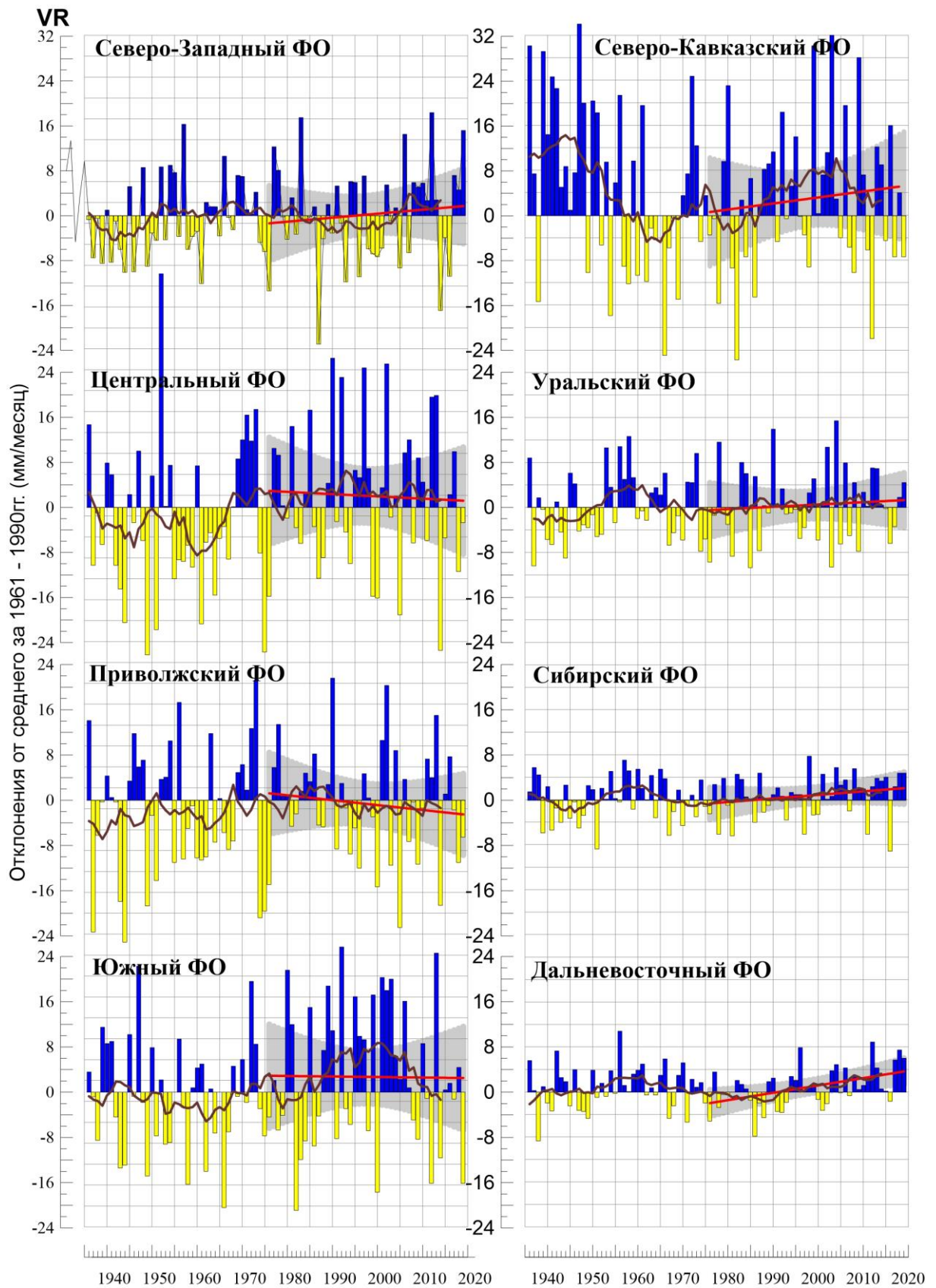


Рисунок 4.4 – То же, что на рис.4.3, но для федеральных округов

5. ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ И АНОМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА РОССИИ, 1936-2019 гг. (осенний сезон)

В разделе приведены некоторые индексы экстремальности и аномальности для осеннего сезона в целом по территории России за период 1936 -2019 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. Осенью 2019 г. (рис. 5.1) площадь, занятая крупными положительными аномалиями составляла 37% (ранг 26), отрицательными аномалиями: 0%. С 1976 г. (начало глобального потепления) наблюдается увеличение площади под крупными положительными аномалиями, тренд за период 1976-2019 составляет 4.0% (доля объясненной трендом дисперсии ряда 20%).

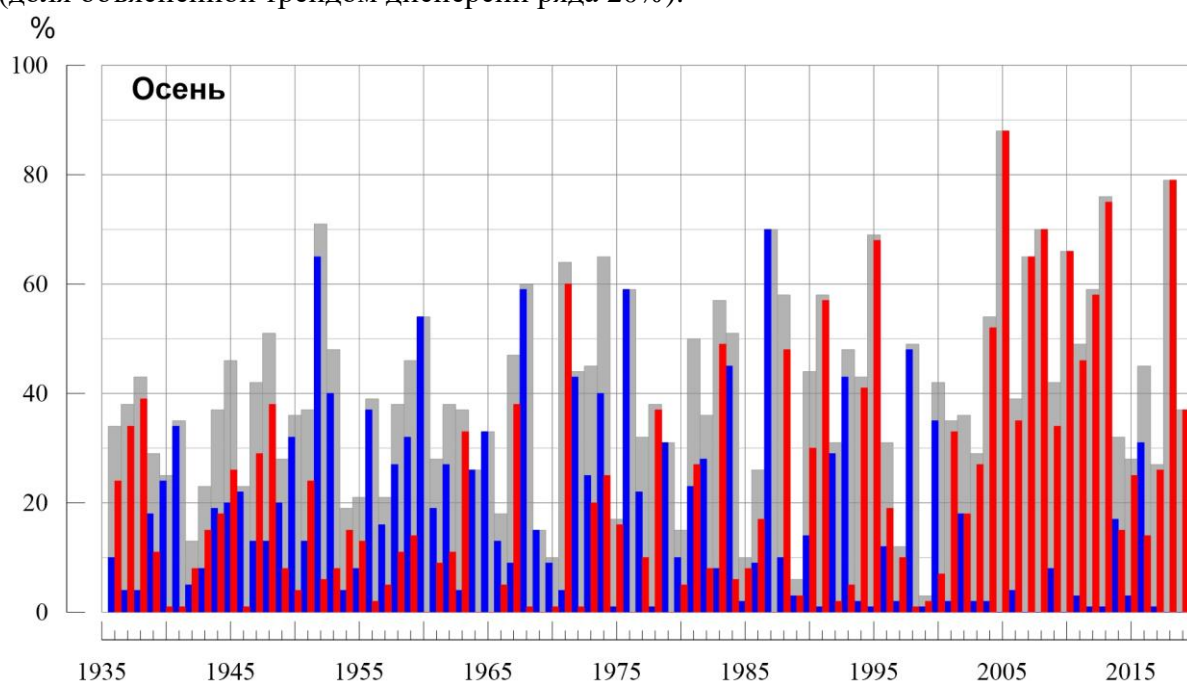


Рисунок 5.1 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями температуры, 1936-2019 гг. (осень):

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

На рис.5.2 представлены ряды доли площади под экстремальными (выше $+2\sigma$ и ниже -2σ) аномалиями сезонной температуры (в предположении гауссовости распределения это соответствует вероятности примерно 2.3% процента для каждого хвоста распределения).

Осенью 2019 года доля площади под экстремальными положительными аномалиями составила 1%. Наиболее экстремальные теплые осенние сезоны наблюдались: в 1938 (8% площади занято экстремальными аномалиями), в 1990 (8%) в 2004 г. (11%), в 2005 (18% - наиболее экстремально жаркий осенний сезон), в 2012 (8%). Экстремально холодные осенние сезоны наблюдались: в 1952 (28% площади

занято экстремальными аномалиями, наиболее экстремально холодный осенний сезон), в 1968 (23%), в 1976 (12%), в 1982 (10%), в 1993 (25%), в 1998 (21%, это последний год, когда экстремумы холода преобладали).

С 1976 г. (начало глобального потепления) наблюдается некоторое увеличение площади под экстремальными положительными аномалиями, тренд за период 1976-2019 составляет 0.4% (доля объясненной трендом дисперсии ряда 10%).

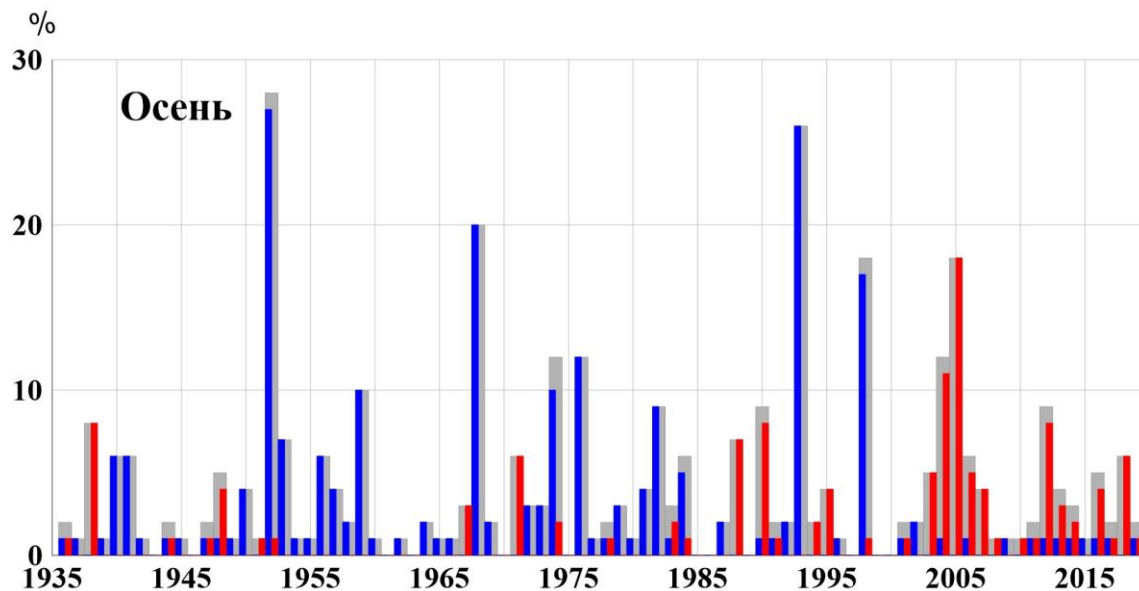


Рисунок 5.2 - Доля площади РФ (в процентах) с экстремальными (сезонная аномалия меньше -2σ : синие столбики, больше $+2\sigma$: красные столбики; суммарная площадь с этими аномалиями: серые столбики) аномалиями температуры осенью, 1936-2019 гг. Базовый период для расчета статистик: 1961-1990 гг.

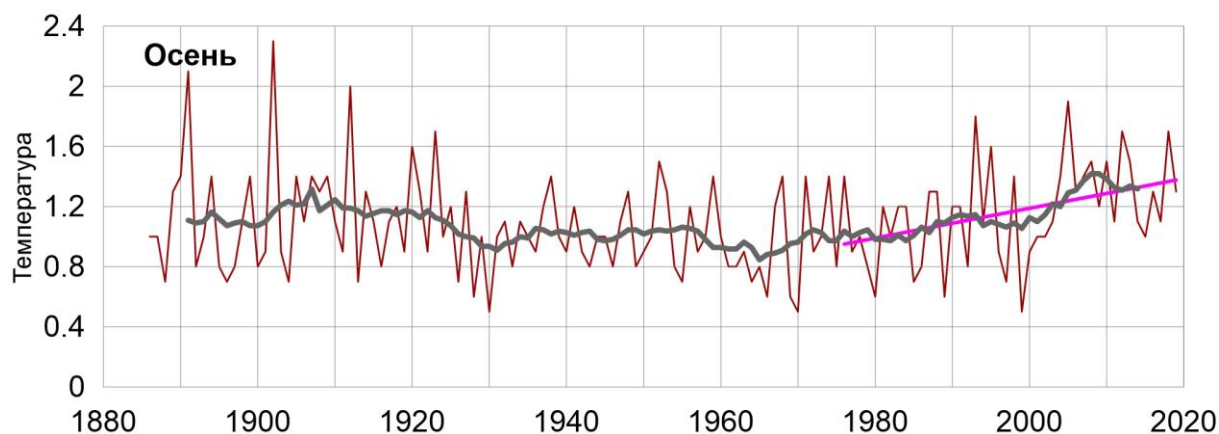


Рисунок 5.3. - Индекс аномальности (индекс Багрова) температурного режима на территории России осенью 1886-2019 гг.

Индекс аномальности Багрова в 2019 году составил 1.3 единиц (ранг 30)). Анализ изменений индекса аномальности Багрова (рис. 5.3) показывает, что с начала

1980-х гг. аномальность температурного режима на территории РФ в осенний сезон растет – тренд объясняет 15% общей дисперсии ряда за 1976-2019 гг.

Осадки. Осенью 2019 г. площадь, занятая крупными аномалиями выше 80 перцентиля (рис. 5.4) составила 23%, ниже 20-го перцентиля – 9%. С 1976 г. наблюдается увеличение площади под аномалиями выше 80-го перцентиля, тренд за период 1976-2019 составляет +2.2%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 15%: тренд значим на уровне 5%) и незначимое уменьшение площади под аномалиями ниже 20-го перцентиля, тренд за период 1976-2019 составляет -1.0%/10 лет (доля объясненной трендом дисперсии ряда 3%).

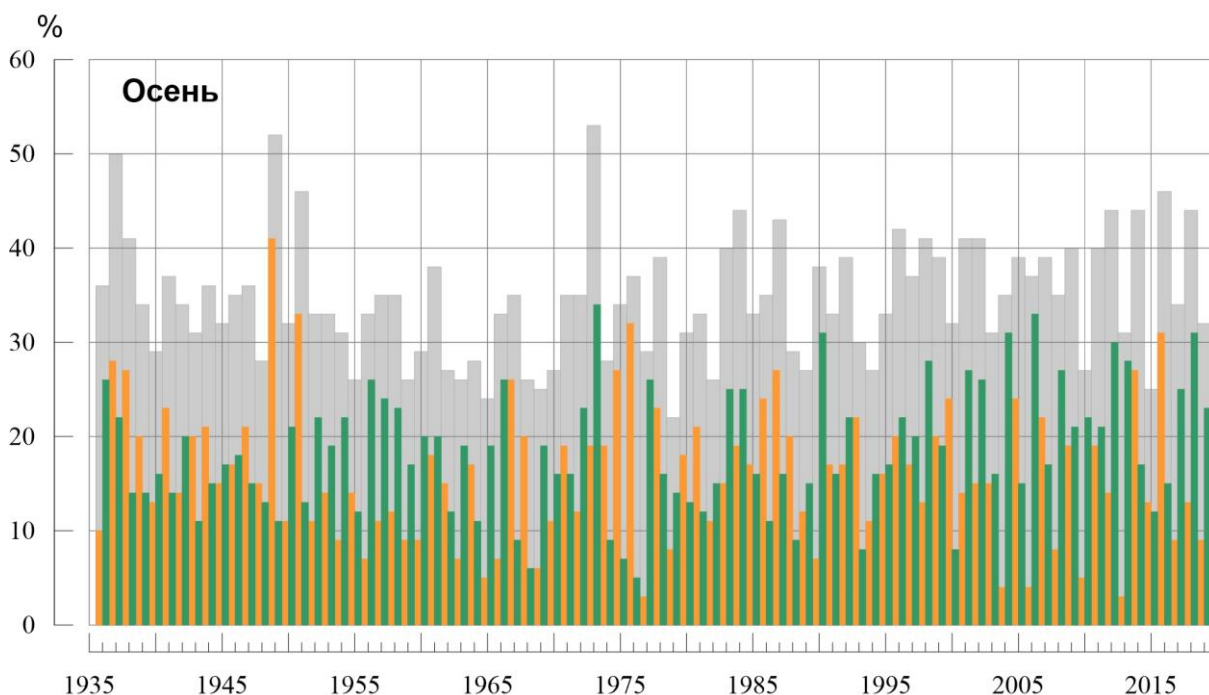


Рисунок 5.4 – Доля площади РФ (в процентах) с крупными сезонными аномалиями осадков, 1936-2019 гг. (осень):

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

ВЫВОДЫ

1. Осень для Северного полушария в целом была очень теплой: аномалия температуры воздуха над сушей СП $+1.20^{\circ}\text{C}$ (при стандартном отклонении 0.24°C) - четвертая величина с 1886 г., значение аномалии температуры чуть выше, ожидаемому при потеплении: отклонение от линейного тренда $+0.06^{\circ}\text{C}$.

2. Осень в целом по РФ была экстремально теплой, осредненная по территории РФ сезонная аномалия 1.60°C – десятая величина в ряду. Положительные аномалии температуры практически на всей территории страны. Наиболее экстремальные условия (на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдались в ЦФО (2.13°C – ранг 6) и в центральных и северных районах ДВФО (2.33°C – ранг 5).

3. Доля площади территории России, занятая крупными положительными аномалиями (выше 80-го перцентиля), составила 37% (ранг 2); площадь с экстремальными положительными аномалиями (выше 2σ) составила лишь 1% площади страны, индекс аномальности Багрова в 2019 году составил 1.3 единиц.

4. Из месяцев сезона самым теплым был **октябрь**: осредненная по РФ аномалия температуры 2.66°C – шестая величина в ряду, экстремально тепло было в ЦФО (3.36°C – ранг 4), в ПФО (3.89°C – ранг 3), в ДФО (2.52°C – ранг 5).

В **сентябре** осредненная по РФ аномалия температуры 0.96°C , наиболее теплые условия в Прибайкалье и Забайкалье (2.34°C – ранг 3), температуры ниже нормы - в ПФО, в ряде областей ЮФО на Южном Урале (аномалии температуры до -2.5°C).

Ноябрь – контрастный месяц в сезоне, осредненная по РФ аномалия температуры составила 1.19°C , экстремально тепло в Восточной Сибири (6.04°C – ранг 4), холодно (аномалии до -4.7°C) на юго-востоке ЕЧР, в центре и юге АЧР.

5. Осенью в среднем по РФ выпало 109% нормы осадков. В АЧР за сезон выпало 114% - ранг 5, избыток осадков наблюдался почти всюду (кроме района Обской губы, побережья вдоль Восточно-Сибирского моря). В ЕЧР экстремальное количество осадков выпало в СЗФО (127% нормы – ранг 4), а сильный дефицит осадков наблюдался в ЮФО (61% нормы – среди четырех «самых сухих» осенних сезонов).

6. Осенью площадь, занятая крупными аномалиями осадков выше 80 перцентиля составила 23%, ниже 20-го перцентиля – 9%.

7. Из месяцев отметим «влажный» **октябрь**, в целом по РФ выпало 124% нормы – ранг 4), избыток осадков наблюдался почти во всех регионах (кроме Приамурья и Приморья, ЮФО и СКФО), особенно «влажно» было в СЗФО (172% - рекордная величина в ряду). В ЮФО наблюдался сильный дефицит осадков (выпало 58% нормы - среди пяти «самых сухих» октябрей в ряду с 1936 года).

В **сентябре** осредненные по РФ осадки составили 99% нормы. Дефицит осадков наблюдался на большей части ЕЧР, на востоке Якутии и в Чукотском АО, в Приморье и на юге Сахалина. Избыток осадков наблюдался в центральных районах АЧР.

В **ноябре** осредненные по РФ осадки составили 107% нормы. Сильный дефицит осадков наблюдался на юге ЕЧР (особенно в ЮФО: выпало 32% нормы – среди трех «самых сухих»). На севере ЕЧР, на большей части АЧР наблюдался избыток осадков, наиболее значительный в СЗФО и в ДФО.

8. В целом по России линейный тренд осенней температуры воздуха за период 1976-2019 гг. составил $+0.43^{\circ}\text{C}/10$ лет при вкладе тренда в дисперсию ряда 26%, что значительно выше, чем в среднем для суши Северного полушария ($+0.33^{\circ}\text{C}/10$ лет, дисперсия ряда 75%). Среднесезонные осенние температуры растут со скоростью более $+0.4^{\circ}\text{C}$ в ЕЧР (до $+0.7^{\circ}\text{C}/10$ лет в Поволжье) и на севере и востоке АЧР до $+1.6^{\circ}\text{C}/10$ лет в Восточной Сибири, за счет октября и ноября).

В полосе от Обской губы до Забайкалья рост температуры минимальный (до $+0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет на Среднесибирском плоскогорье) за счет уменьшения температуры в ноябре: (до $-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет в центре области).

Наиболее значительное увеличение температуры происходит в октябре – тренд от $+0.4^{\circ}\text{C}$ до $+1.8^{\circ}\text{C}/10$ лет на всей территории страны, а также в ноябре – в Восточной Сибири от $+0.6^{\circ}\text{C}$ до $+2.2^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Региональные средние осенние температуры с конца 1970 г. растут во всех регионах, Во всех регионах, наблюдались периоды замедление роста температуры: с конца 1980-х по 2000-е, а также - в начале 2010-х.

10. Тренд осенних сумм осадков для России в целом положителен: составляет $+1.7\%/10$ лет, объясняет 8% межгодовой изменчивости.

Рост осадков осенью происходит в регионе Восточная Сибирь ($+6.1\%/10$ лет, 26%) и Дальневосточном ФО ($+1.6\%/10$ лет, 22%). В остальных регионах вклад тренда в общую изменчивость осадков незначителен.

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



ВВЕДЕНИЕ

В настоящем Приложении* приводится информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) осенью 2017 г. и о наиболее значительных климатических аномалиях этого периода на территории Республики Беларусь. Работа выполняется в рамках сотрудничества по программе Союзного государства "Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодных-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды".

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

Таблица 1.

Список используемых станций Республики Беларусь.

| | Название | № ВМО | Широта | Долгота | Высота |
|---|------------|-------|--------|---------|--------|
| 1 | Витебск | 26666 | 55.20 | 30.20 | 169 |
| 2 | Минск | 26850 | 53.90 | 27.50 | 234 |
| 3 | Могилев | 26863 | 53.90 | 30.30 | 180 |
| 4 | Брест | 33008 | 52.10 | 23.70 | 144 |
| 5 | Пинск | 33019 | 52.10 | 26.10 | 144 |
| 6 | Василевичи | 33038 | 52.30 | 29.80 | 140 |
| 7 | Гомель | 33041 | 52.40 | 31.00 | 138 |

Под аномалиями температуры в бюллетене понимаются отклонения наблюдаемого значения от нормы, то есть от средней за базовый период 1961-1990 гг. Аномалии осадков рассматриваются как в отклонениях от нормы (аналогично температуре), так и в процентах от нормы (процентное отношение количества выпавших осадков к соответствующему значению нормы). Дополнительно приводится «вероятность неперевышения» текущего значения во временном ряду рассматриваемой переменной за некоторый период с 1936 по 2017 гг. (доля значений временного ряда, меньших либо равных текущему значению).

Осреднение по регионам выполняется по станционным данным об аномалиях климатических переменных с использованием двухступенчатой процедуры. На первом этапе территория региона покрывается регулярной сеткой (разрешением 2.5 градуса

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

широты на 5 градусов долготы), и в каждой ячейке сетки рассчитывается «ячеечное» среднее (среднее арифметическое из значений аномалий на попавших в эту ячейку станциях). На втором этапе выполняется взвешенное осреднение «ячеечных» средних с весами, пропорциональными площади пересечения ячейки с территорией региона. Все расчеты, включая определение принадлежности ячейки к региону, площади их пересечения и ячеечных весовых множителей, выполняются автоматически, на основании заданной замкнутой ломаной, ограничивающей территорию региона.

Аналогичным образом, по данным о станционных «нормах» (средних многолетних за базовый период) рассчитываются регионально осредненные «нормы». Регионально осредненные значения самих климатических переменных рассчитываются суммированием регионально осредненных «норм» и регионально осредненных аномалий (этот алгоритм уменьшает смещение средних, вызываемое пропусками в рядах наблюдений).

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ОСЕНЬЮ 2017 г.

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

Таблица 2

Характеристики температурного режима на станциях Беларуси осенью 2019 г.

| | <i>Витебск</i> | <i>Минск</i> | <i>Могилев</i> | <i>Брест</i> | <i>Пинск</i> | <i>Василевичи</i> | <i>Гомель</i> |
|---|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|
| | 26666 | 26850 | 26863 | 33008 | 33019 | 33038 | 33041 |
| а) температура (град. Цельсия) | | | | | | | |
| <i>Осень</i> | 8.17 | 8.47 | | 10.63 | 10.10 | 8.83 | 9.20 |
| Сентябрь | 12.1 | 12.2 | | 14.6 | 14.1 | 13.1 | 13.8 |
| Октябрь | 9.0 | 9.2 | | 11.0 | 10.6 | 9.7 | 10.1 |
| Ноябрь | 3.4 | 4.0 | | 6.3 | 5.6 | 3.7 | 3.7 |
| б) аномалия температуры (град. Цельсия) | | | | | | | |
| <i>Осень</i> | 2.66 | 2.21 | | 2.73 | 2.85 | 2.00 | 2.47 |
| Сентябрь | 1.13 | 0.47 | | 1.52 | 1.54 | 0.66 | 1.24 |
| Октябрь | 3.39 | 2.92 | | 3.06 | 3.35 | 2.86 | 3.43 |
| Ноябрь | 3.46 | 2.26 | | 3.60 | 3.67 | 2.48 | 2.75 |

Таблица 3

Характеристики режима осадков на станциях Беларуси осенью 2019 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>Осень</i> | 67.7 | 49.3 | | 33.3 | 40.3 | 25.3 | 34.3 |
| Сентябрь | 59 | 49 | | 37 | 39 | 46 | 53 |
| Октябрь | 77 | 31 | | 26 | 24 | 12 | 19 |
| Ноябрь | 67 | 68 | | 37 | 58 | 18 | 31 |
| б) Аномалия сумм осадков / (мм/месяц) | | | | | | | |
| <i>Осень</i> | 3.67 | -14.23 | | -10.93 | -6.93 | -20.87 | -10.57 |
| Сентябрь | -5.8 | -11.2 | | -14.2 | -13.8 | -3.7 | 5.1 |
| Октябрь | 28.9 | -15.9 | | -8.8 | -22.6 | -28.4 | -23.9 |
| Ноябрь | -12.1 | -15.6 | | -9.8 | 15.6 | -30.5 | -12.9 |
| в) Относительная аномалия сумм осадков (% от нормы) | | | | | | | |
| <i>Осень</i> | 121 | 93 | 73 | 75 | 85 | 55 | 76 |
| Сентябрь | 91 | 81 | | 72 | 74 | 93 | 111 |
| Октябрь | 160 | 66 | | 75 | 52 | 30 | 44 |
| Ноябрь | 122 | 130 | | 79 | 137 | 37 | 71 |

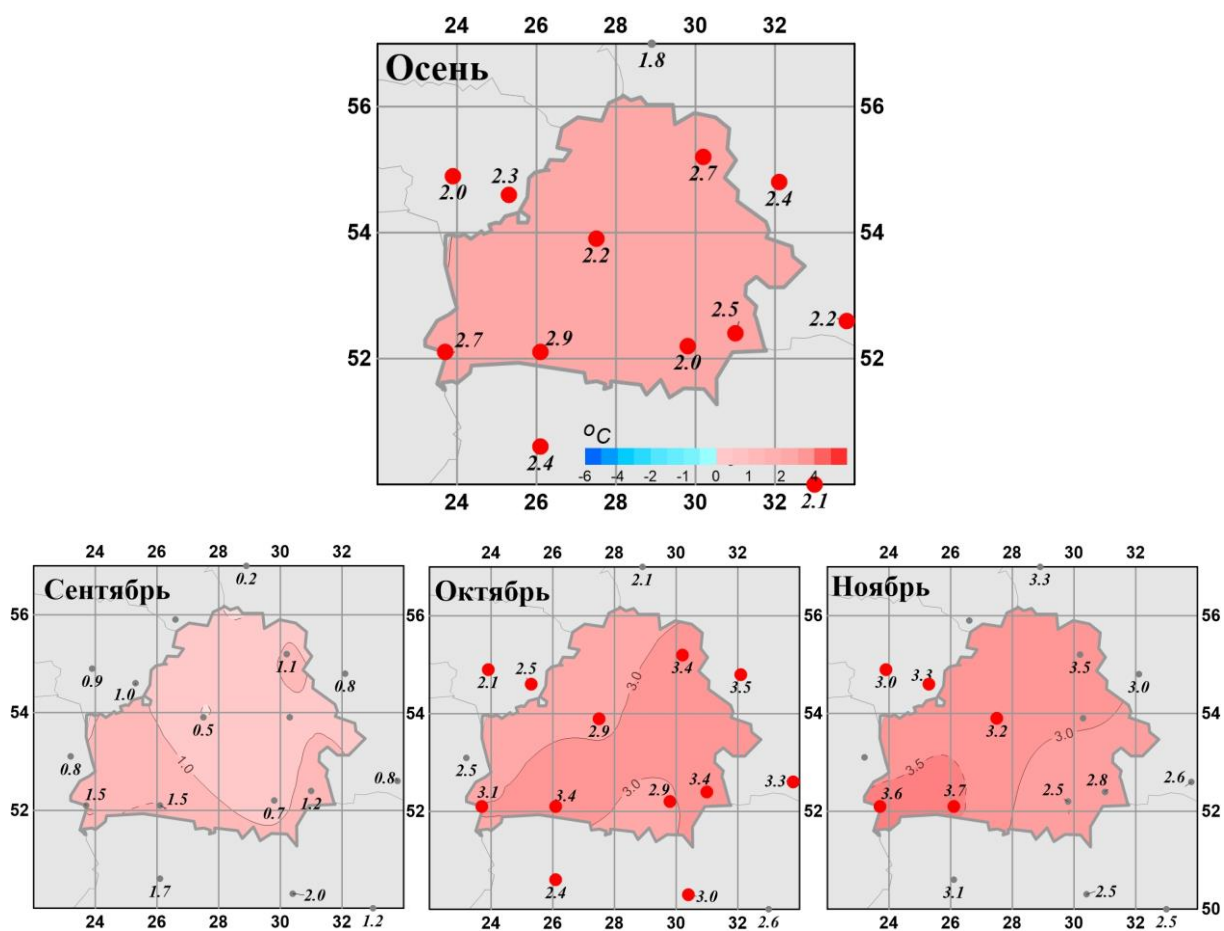


Рисунок 1 - Средние сезонные и средние месячные аномалии температуры ($^{\circ}\text{C}$) приземного воздуха на территории республики Беларусь осенью.

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

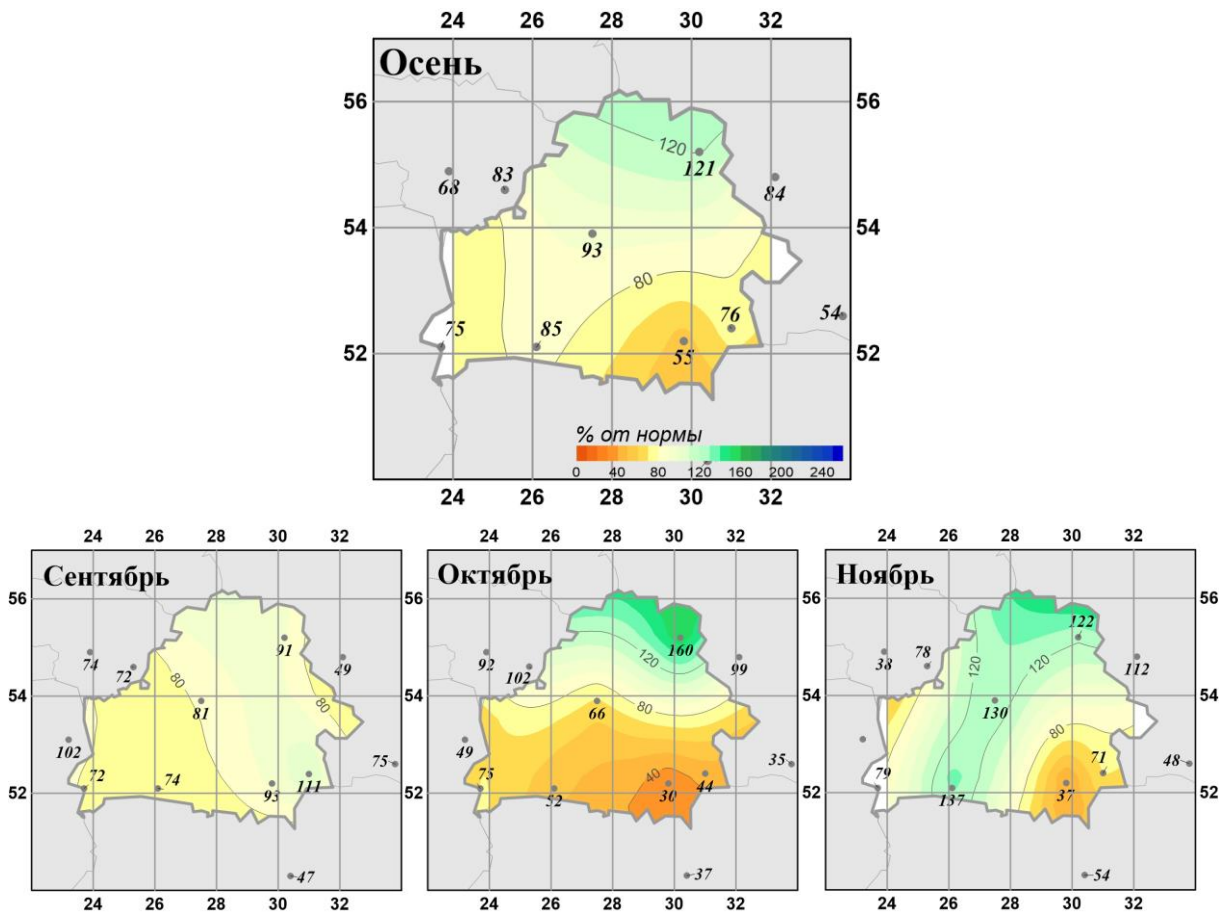


Рисунок 2 - Средние сезонные и месячные аномалии атмосферных осадков (% от нормы) на территории республики Беларусь осенью.

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

Красными кружками показаны станции с экстремумами – ниже 5-го перцентилей

На рисунках 3-6 показаны временные ряды осредненных по территории Беларуси сезонных и месячных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 по 2019 гг. В таблицах 4 и 5 приведены аномалии температуры и осадков, а также оценки трендов, в среднем по всей территории республики Беларусь.

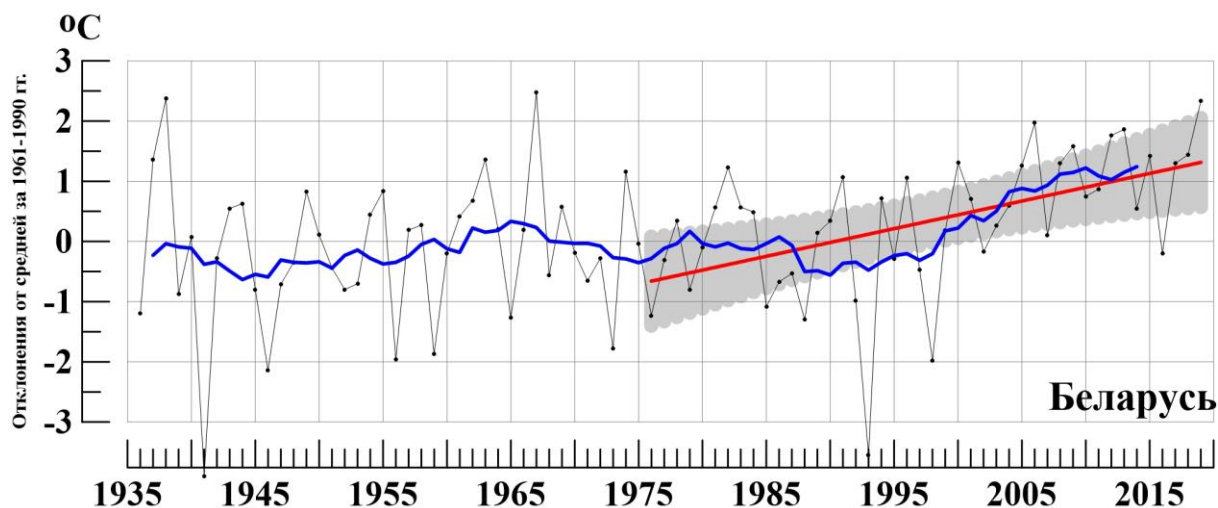


Рисунок 3 - Сезонные (сентябрь - ноябрь) аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$). осредненные по территории Республики Беларусь.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2019гг.

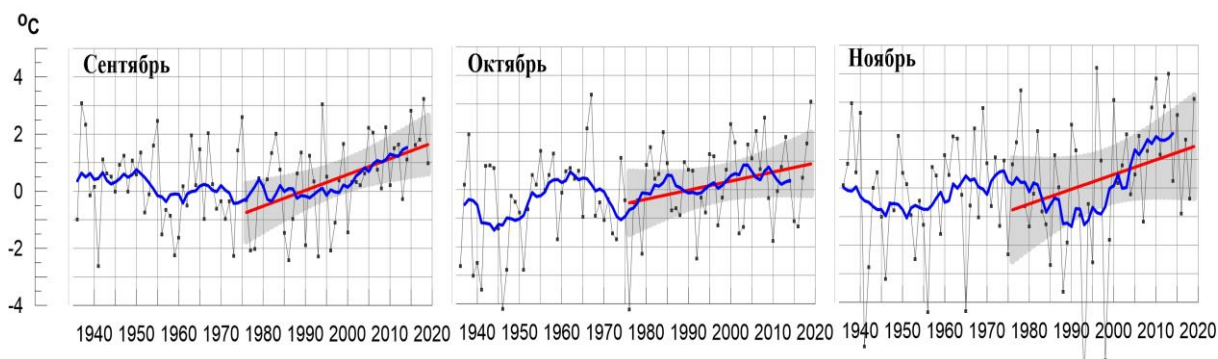


Рисунок 4 - Средние месячные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$). осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рисунке 3.

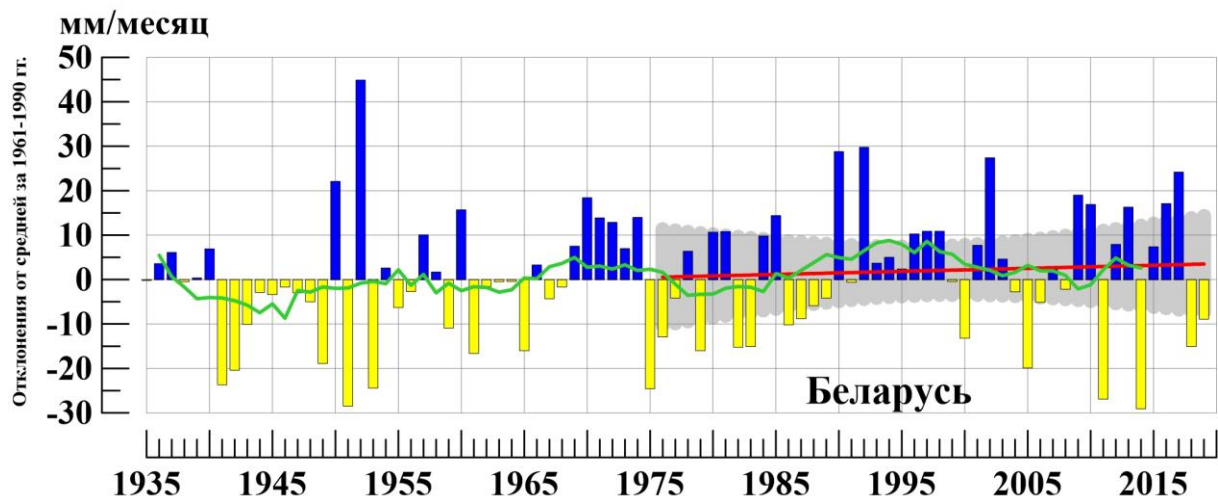


Рисунок 5 - Сезонные (сентябрь - ноябрь) аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц). осредненные по территории Республики Беларусь.

Условные обозначения см. на рис. 3

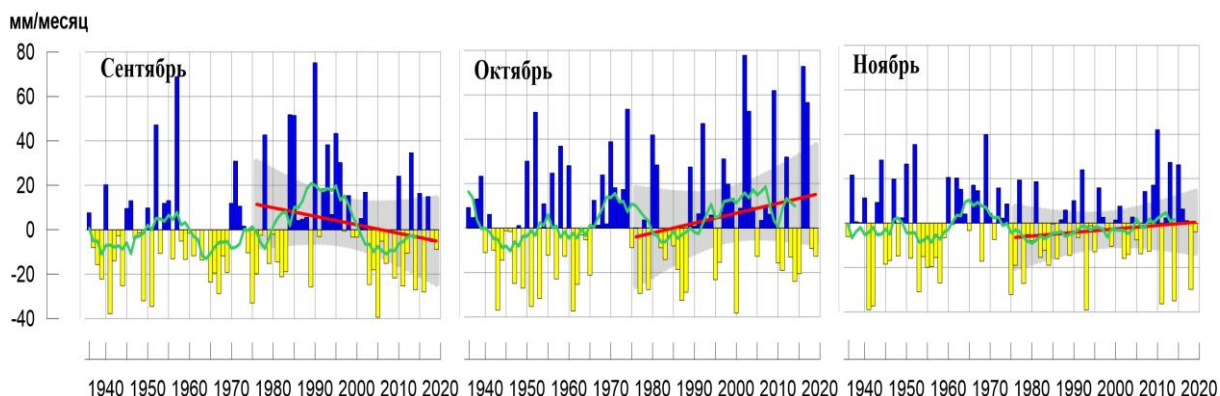


Рисунок 6 - Средние месячные аномалии атмосферных осадков (мм/месяц), осредненные по территории Республики Беларусь.
Условные обозначения см. на рисунке 3.

Таблица 4

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

| | νT_{2019} | s | νR_{2019} | s |
|--------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| Осень | 2.33 | 0.92 | -8.9 | 12.7 |
| Сентябрь | 0.97 | 1.40 | -8.9 | 26.4 |
| Октябрь | 3.07 | 1.46 | -12.7 | 23.5 |
| Ноябрь | 3.12 | 1.88 | -3.9 | 16.3 |

Примечание: Аномалии νT_{2019} ($^{\circ}\text{C}$). νR_{2019} (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 1976-2019 гг. в среднем по Республике Беларусь

| Сезон | Температура | | Осадки | |
|--------------|--|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| | $b_{1976-2019}$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет | $D_{1976-2019}$ % | $b_{1976-2019}$ мм/мес/10лет | $D_{1976-2019}$ % |
| Осень | 0.46 | 26 | 0.7 | 0 |
| Сентябрь | 0.55 | 23 | -3.8 | 4 |
| Октябрь | 0.32 | 8 | 4.4 | 4 |
| Ноябрь | 0.51 | 7 | 1.6 | 1 |