

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 2019 ГОД

Москва, 2020 г.

УДК 551.5
ББК 26.2
Д 63

**Д 63 Доклад об особенностях климата на территории
Российской Федерации за 2019 год. – Москва, 2020. –
97 стр.**

ISBN 978-5-906099-58-7

В Докладе представлены результаты мониторинга климата Российской Федерации за 2019 г., выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе. Приводятся данные о наблюдавшихся в 2019 году аномалиях различных климатических переменных, об агроклиматических условиях и опасных гидрометеорологических явлениях года, а также о тенденциях современных изменений климата на территории России, в Северной полярной области и над Северным полушарием (температура свободной атмосферы). Доклад является официальным изданием Росгидромета.

УДК 551.5
ББК 26.2

© Росгидромет, 2020

RUSSIAN FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING
(ROSHYDROMET)

A REPORT
ON CLIMATE FEATURES
ON THE TERRITORY
OF THE RUSSIAN FEDERATION
IN 2019

Moscow, 2020

Настоящий ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ», головной)

М.Ю. Бардин, В.И. Егоров,
А.М. Николаева, Т.В. Платова,
Э.Я. Ранькова, О.Ф. Самохина

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»)

Г.В. Алексеев, Е.И. Александров,
Н.Е. Иванов, В.Ф. Радионов,
В.М. Смоляницкий

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)

Т.В. Дементьева, С.Г. Давлетшин,
Н.Н. Коршунова, Л.К. Клещенко,
А.С. Лавров, А.М. Стерин,
А.В. Хохлова, А.Б. Шерстюков

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии» (ФГБУ «ВНИИСХМ»)

А.А. Карачёнова, В.Н. Павлова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)

О.А. Анисимов, И.И. Борзенкова,
А.А. Ершова, Е.Л. Жильцова
К.О. Шаповалова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная Геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова» (ФГБУ «ГГО»)

В.А. Задворных, Н.Н. Ивахов,
Н.Н. Парамонова, В.И. Привалов,
Ю.Л. Рудакова, В.В. Стадник,
Е.И. Хлебникова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)

С.В. Борщ, А.Д. Голубев,
Н.С. Сидоренков, Ю.А. Симонов

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория» (ФГБУ «ЦАО»)

Н.С. Иванова, Г.М. Крученицкий

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ»)

Б.А. Ашабоков, Л.А. Кешева,
А.А. Ташилова, Н.В. Теунова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение "Тайфун"» (ФГБУ НПО «Тайфун»)

Ю.В. Баранов,
В.Н. Вишератин,
Н.Е. Каменоградский

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

Т.Р. Жемчугова

с участием и при координации Управления организации научных исследований и экспедиций Росгидромета.

СОДЕРЖАНИЕ
TABLE OF CONTENTS

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....	6
OPENING ADDRESS	
ВВЕДЕНИЕ	9
INTRODUCTION	
1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА	11
SURFACE AIR TEMPERATURE	
2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ	18
PRECIPITATION	
3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2018/2019 ГГ.	25
SNOWCOVER IN WINTER 2018/19	
4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК	33
RIVER FREEZE-UP AND SPRING BREAK	
5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ	36
NORTH POLAR REGION	
6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА	43
PERMAFROST	
7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	47
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS	
8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	52
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS	
9. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ.....	55
SOLAR RADIATION	
10. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ.....	59
SUNSHINE DURATION	
11. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ.....	67
TEMPERATURE IN FREE ATMOSPHERE	
12. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА.....	72
WIND	
13. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ	76
WIND IN FREE ATMOSPHERE	
14. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ	80
GREENHOUSE GASES	
15. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ	84
SOIL TEMPERATURE	
16. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ	87
OZONE LAYER	
ВЫВОДЫ	92
CONCLUSIONS	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
RESUME	

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

«Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2019 году» является официальным изданием Росгидромета. Это авторитетный источник информации о состоянии и тенденциях изменения климата на территории РФ, обобщающий результаты оперативного климатического мониторинга и климатических исследований, проводимых НИУ Росгидромета и является важным звеном поэтапной реализации Климатической доктрины Российской Федерации. Материалы Доклада основаны на апробированных многолетних рядах данных государственной наблюдательной сети Росгидромета и утвержденных методиках обработки и анализа климатических данных. Доклад содержит сведения об основных особенностях и аномалиях климатических условий истекшего года на территории РФ и ее регионов и обновленные оценки климатических трендов.

На территории РФ, как и в целом по Земному шару, продолжается потепление, темпы которого намного превышают глобальное среднее. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976-2019 гг. составила по данным ФГБУ «ИГКЭ» $0.47^{\circ}\text{C}/10$ лет. Это более чем в два с половиной раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период: $0.18^{\circ}\text{C}/10$ лет, и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара: $0.28^{\circ}\text{C}/10$ лет (оценки по данным Центра Хэдли и Университета Восточной Англии). Температура каждого последующего десятилетия с 1980 г. превышала температуру предыдущего. Наиболее быстрыми темпами росла температура Северной полярной области, особенно в последние десятилетия: по данным ФГБУ «ААНИИ» в течение последних тридцати лет (1990-2019 гг.) рост среднегодовой температуры составил здесь $0.81^{\circ}\text{C}/10$ лет, т.е. 2.43°C за 30 лет.

О потеплении свидетельствуют также быстрое уменьшение ледового покрова Арктики, рост толщины сезонно-талого слоя вечной мерзлоты, уменьшение продолжительности залегания снежного покрова, и другие индикаторы.

Следует отметить, что предпринимаемые мировым сообществом усилия по сокращению выбросов парниковых газов в настоящее время не приводят к замедлению потепления, ни даже к снижению темпов роста концентрации этих газов.

По данным мониторинга парниковых газов в атмосфере, ведущегося в Росгидромете, уровень концентрации CO_2 в северных широтах на российских фоновых станциях постоянно растет (в среднем $2.26 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$) и в 2019 г. достиг очередного максимума: среднегодовое значение приблизилось к 414 млн^{-1} . Также продолжает увеличиваться концентрация метана.

По предварительным данным, опубликованным ВМО (пресс-релиз 01/15/2020), 2019 год в целом для Земного шара оказался **вторым** после 2016 года среди самых теплых за весь период инструментальных наблюдений; глобальная температура превысила доиндустриальную (1850 - 1900 гг.) на 1.1°C (разброс от 1.05 до 1.20°C): этот результат обобщает данные пяти ведущих климатических центров.

Температура над сушей Земного шара была выше средней за 1961-1990 гг. на 1.21°C по данным мониторинга, ведущегося в ФГБУ «ИГКЭ», и на 1.16°C по данным Центра Хэдли метеослужбы Великобритании – вторая величина в ряду согласно обоим источникам.

Для России 2019 г. также был очень теплым: четвертым среди самых теплых в ряду наблюдений с 1936 г.: средняя за год температура на 2.07°C превысила норму - среднюю за 1961-1990 гг. В течение года наблюдались значительные климатические аномалии. Очень теплой была весна со средней по РФ температурой на 2.86°C выше нормы: четвертая величина за время наблюдений. В июне рекордно высокие температуры отмечены на юге ЕЧР: в СКФО (4.26°C выше нормы) и в ЮФО (4.29°C выше нормы; наряду с серьезным дефицитом осадков, всего 46% нормы) это привело к засухе в важном

сельскохозяйственном регионе). Экстремально теплым был декабрь 2019 г. в ЕЧР: второй за весь период с 1936 года.

Очень теплым 2019 год был и в Северной полярной области – вторым в ряду с 1936 г.: среднегодовая аномалия температуры составила $+2.5^{\circ}\text{C}$. Ускоренное арктическое потепление привело к быстрому сокращению площади морского льда в период с середины 1990-х в Северном Ледовитом океане, особенно в морях вдоль трассы Северного морского пути. Площадь льда в сентябре в области СМП уменьшилась к 2005 году в 4-5 раз по сравнению с 1980-ми и колеблется около 200-300 тыс. кв. км.; в 2019 г. она составила около 100 тыс. кв. км. – вторая минимальная величина после рекордного 2012 года, когда льда здесь практически не было.

Изменения температуры происходят не только у поверхности Земли. Наблюдаемые основные тенденции изменения температуры в свободной атмосфере Северного полушария - потепление в тропосфере, и похолодание нижней стратосферы – соответствуют теоретическим представлениям о характере глобального потепления. В тропосфере Северного полушария 2019 год стал третьим самым теплым с 1958 года (0.60°C выше нормы). Рекордной была осень с аномалией температуры $+0.79^{\circ}\text{C}$. Пятилетие 2015-2019 гг. является самым теплым тропосфере. В нижней стратосфере 2019 год стал третьим в ряду самых холодных лет (аномалия -1.01°C).

На всей территории земледельческой зоны РФ растет теплообеспеченность сельскохозяйственных культур. Продолжительность периода активной вегетации ($T > 10^{\circ}\text{C}$) растет на всей территории, в среднем со скоростью 3.4 дня за 10 лет. Сложнее обстоит дело с изменениями режима осадков. В целом по России количество осадков увеличивается (2.2% нормы за 10 лет), главным образом за счет осадков весеннего сезона: 5.7% нормы за 10 лет. Однако зимой и летом на обширных территориях наблюдается их убывание. Особенно важно убывание летних осадков, наблюдающееся в европейской части России (до -4.8% за десятилетие: ЮФО), которое совместно с ростом температуры увеличивает риск развития засухи. В 2019 году в целом по России количество выпавших осадков составило 108% нормы. Однако летом в основных зернопроизводящих районах европейской части (ЦФО, ЮФО, СКФО) наблюдался дефицит осадков, особенно в южных регионах, что совместно с температурными аномалиями способствовало образованию засух средней и сильной интенсивности. В целом условия влагообеспеченности в 2019 году были не слишком благоприятны. Уровень увлажненности сельскохозяйственных угодий в 2019 г. в ЕЧР (кроме СЗФО) был значительно ниже, чем в среднем за 2000–2019 гг. Снижение урожайности озимой пшеницы в 2019 г. связано с недостаточной влагообеспеченностью посевов. Для озимых культур урожая 2020 года на территории ЮФО, чернозёмных областей ЦФО и южных областей ПФО также наблюдалась недостаточная влагообеспеченность.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова в связи с ростом весенних и осенних температур. В среднем по России зимой 2018-2019 гг. она была на 12.7 дня ниже климатической нормы - рекордно короткая за период 1967-2019. Сохраняется тенденция роста максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. В среднем по России максимальная высота снежного покрова превысила климатическую норму более чем на 4 см; в северной части Восточной Сибири и в Якутии она была рекордной.

Сохраняется тенденция увеличения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты. В 2019 году положительные отклонения от средних многолетних значений наблюдались в среднем на двух из каждых трех площадок, где проводились измерения СТС.

На всей территории России растут минимальные за год температуры почвы на глубине до 320 см: максимальное и статистически достоверное повышение минимальной температуры почвы отмечается в азиатской части, особенно в арктической зоне.

Представленные в Докладе данные будут полезны широкому кругу пользователей, заинтересованных в актуальной климатической информации: центральным и региональным органам власти, научным организациям, лицам, принимающим решения в секторах народного хозяйства, бизнесе, при разработке мер по адаптации к изменению климата и смягчению их неблагоприятных последствий, при реализации единой государственной политики в области климата.

И.А. Шумаков,

Руководитель Росгидромета

ВВЕДЕНИЕ

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации является официальным изданием Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и выпускается ежегодно.

В настоящем Докладе приводится информация о состоянии климата на территории Российской Федерации и ее регионов в 2019 году. В частности, приводятся данные о климатических аномалиях температуры и осадков, об особенностях режима солнечной радиации, агроклиматических условий, о состоянии снежного покрова, о сроках вскрытия и замерзания рек, об экстремальных погодных и климатических явлениях. Представлены данные о современном состоянии вечной мерзлоты и озонового слоя, о тенденциях изменения содержания в атмосфере двуокиси углерода и метана. Рассмотрены особенности климатических условий в Северной полярной области (СПО) и Северном Ледовитом океане (СЛО). Добавлен новый раздел о продолжительности солнечного сияния. Данные приводятся для различных масштабов временного и пространственного осреднения (в целом за год и по сезонам, поля локальных значений и их региональные обобщения).

Для характеристики климатических изменений в Докладе приводятся временные ряды климатических переменных (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова, протяженность морского льда и др.) за достаточно длительный период времени (как правило, несколько десятилетий), заканчивающийся 2019 годом. Временные ряды приводятся, в основном, для средних годовых и сезонных аномалий рассматриваемых величин, осредненных по всей территории России и по территории избранных физико-географических регионов: рис. 1, федеральных округов (ФО): рис. 2 и квази-однородные климатические регионы: рис. 3.



Рисунок 1 – Физико-географические регионы России

Все оценки, приведенные в Докладе, получены с использованием данных гидрометеорологических наблюдений на станциях государственной наблюдательной сети Росгидромета (ссылки на списки используемых станций приведены в соответствующих разделах Доклада). Аномалии определены как отклонения наблюдаемых значений от «нормы», за которую принято многолетнее среднее за базовый период (в большинстве случаев в качестве базового используется период 1961-1990 гг.; в некоторых случаях, когда это было по тем или иным причинам нецелесообразно или невозможно, выбор базового периода специально оговорен в тексте). В качестве дополнительных характеристик аномалий используются показатели, основанные на функции распределения (вероятности непревышения, процентиля) и порядковые статистики (ранги, т.е. порядковые номера в упорядоченном ряду значений); периоды для оценки этих статистик специально оговариваются в каждом случае.

Приведенные в Докладе оценки для приземной температуры над сушей Земного шара могут несколько отличаться от полученных в известных климатических центрах (Hadley Centre, NOAA, NASA GISS и др.), которые также могут различаться между собой, из-за различия исходных массивов данных и методов обработки.

Доклады за предыдущие годы представлены на Интернет-сайте Росгидромета <http://www.meteorf.ru> и ФГБУ «ИГКЭ»: <http://climatechange.igce.ru>. Дополнительная информация о состоянии климата на территории России и бюллетени оперативного мониторинга климата регулярно размещаются на веб-сайтах НИУ Росгидромета: ФГБУ «ИГКЭ» (<http://climatechange.igce.ru/>), ФГБУ «ААНИИ» (<http://www.aari.ru/main.php>), ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://www.meteo.ru/climate>), ФГБУ «ВНИИСХМ» (<http://www.agromet.ru>), ФГБУ «Гидрометцентр России» (<http://meteoinfo.ru>), ФГБУ «ГТО» (<http://voeikovmgo.ru>), ФГБУ «ГТИ» (<http://www.permafrost.su>), ФГБУ «ЦАО» (<http://www.cao-rhms.ru>), и Североевразийского климатического центра (СЕАКЦ: <http://seakc.meteoinfo.ru>).

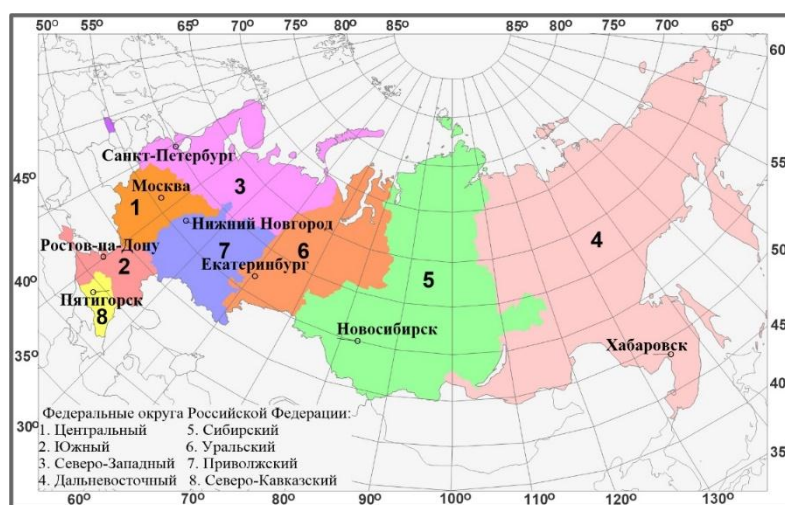


Рисунок 2 – Федеральные округа Российской Федерации

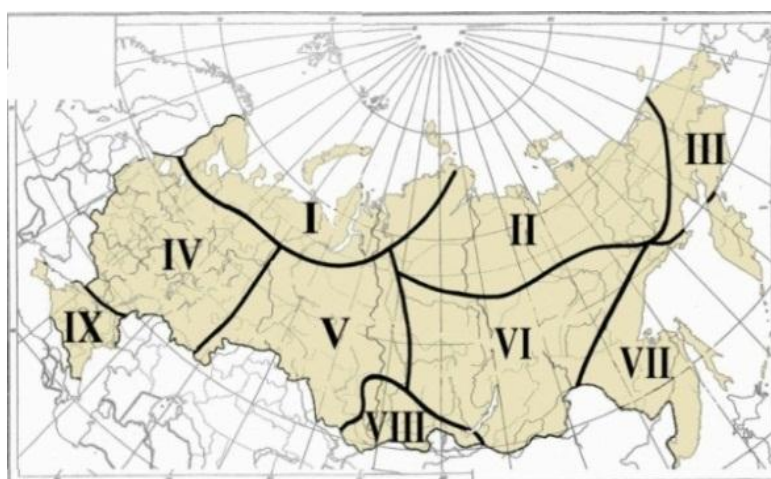


Рисунок 3 - Квази-однородные климатические регионы: **I** - Север ЕЧР и Западной Сибири, **II** - Северная часть Восточной Сибири и Якутии, **III** - Чукотка и север Камчатки, **IV** - Центр ЕЧР, **V** - Центр и юг Западной Сибири, **VI** - Центр и юг Восточной Сибири, **VII** - Дальний Восток, **VIII** - Алтай и Саяны, **IX** - Юг ЕЧР.

1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Данные. В разделе использованы данные о температуре приземного воздуха месячного разрешения на сети 702 метеостанций России, стран СНГ и Балтии (<http://climatechange.igce.ru>, архив T3288), из которых 577 станций расположены на территории России. Приводятся оценки показателей аномальности текущего состояния и изменений климата в точках расположения станций и региональные обобщения для России и регионов (рис. 1, 2 Введения) для календарных сезонов и года (январь-декабрь); месячные аномалии анализируются для детализации. Более подробная информация, включая данные для всех месяцев, доступна в сезонных бюллетенях на <http://climatechange.igce.ru>. Осреднение станционных аномалий по площади выполняется с весами, учитывающими неравномерную плотность сети (обратно пропорциональными плотности в окрестности станции). Выделены станции с экстремальными значениями температуры: ниже 5-го перцентиля (отрицательные экстремумы) и выше 95-го перцентиля (положительные экстремумы); ниже будем ссылаться на них как на 5%-е и 95%-е экстремумы. Перцентили для каждой станции рассчитаны по ряду 1936-2018 гг. Ранги приведены для ряда 1936-2019 гг.

Особенности температурного режима в 2019 г.

Оценки получены по данным станционных сводок КЛИМАТ и СИНОП, своевременно поступивших по каналам связи. Ряды годовых и сезонных аномалий температуры по территории России приведены на рис. 1.1, а карты - на рис. 1.2.

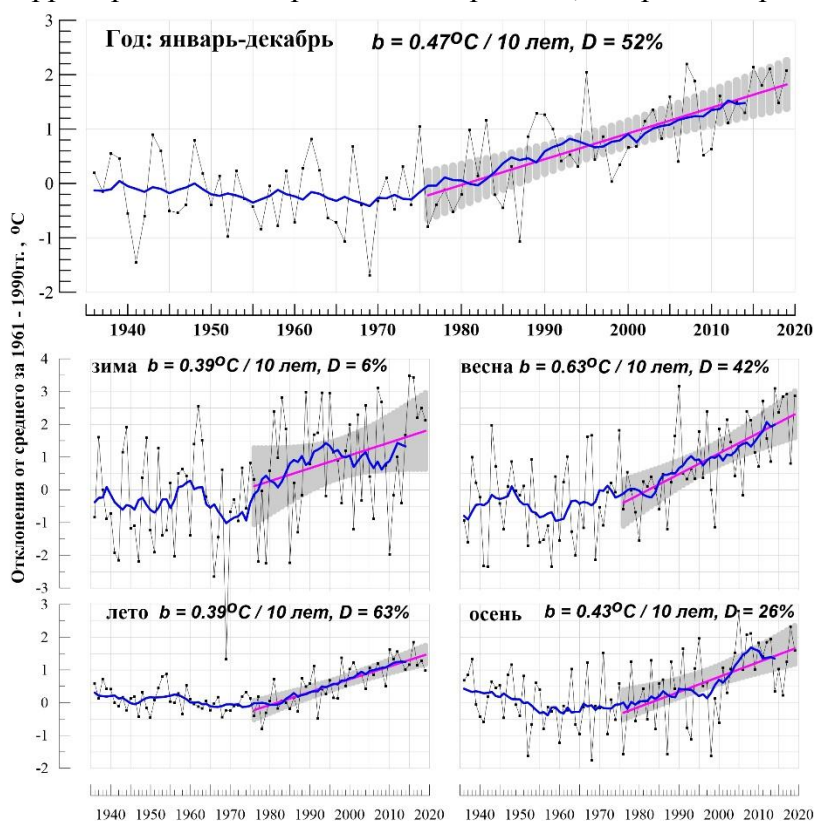


Рисунок 1.1 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха (°C), осредненные по территории России, 1936-2019 гг.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Показаны также 11- летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2019 гг. с 95%-й доверительной полосой; b - коэффициент тренда (°C/10 лет), $D\%$ – вклад тренда в суммарную дисперсию.

2019 год стал четвертым среди самых теплых с 1936 г.: осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-90 гг.) $+2.07^{\circ}\text{C}$. В ЦФО ($+2.51^{\circ}\text{C}$) 2019 был самым теплым в ряду; в ЮФО ($+2.03^{\circ}\text{C}$), СКФО ($+1.89^{\circ}\text{C}$), ДФО ($+2.15^{\circ}\text{C}$) 2019 год был среди трех самых теплых; в СФО ($+2.19^{\circ}\text{C}$) 2019 год был среди пяти самых теплых. В этих федеральных округах повсеместно фиксировались 95%-е экстремумы, при этом среднегодовые аномалии были выше $+2^{\circ}\text{C}$.

Из сезонов особо выделяется **весна** ($+2.86^{\circ}\text{C}$ - ранг 4), Кроме того, следует отметить зиму в Приамурье и Приморье ($+2.89^{\circ}\text{C}$ – ранг 5), лето – в Средней Сибири ($+2.34^{\circ}\text{C}$ – ранг 2), осень - в ДФО ($+2.33^{\circ}\text{C}$ – ранг 5). Из месяцев 2019 года (рис. 1.3) очень теплым был март ($+4.30^{\circ}\text{C}$ – ранг 4), июнь

($+1.67^{\circ}\text{C}$ - ранг 6) и октябрь ($+2.66^{\circ}\text{C}$ – ранг 6).

Зима 2018/19 гг. была умеренно теплой, средняя по России аномалия составила $+2.12^{\circ}\text{C}$ (ранг 15). Температуры выше нормы наблюдались на большей части страны (кроме юга Сибири и востока Якутии). Значительные положительные аномалии температуры отмечались на юге Дальневосточного ФО (в Приамурье и Приморье (осредненная по региону аномалия $+2.89^{\circ}\text{C}$ – ранг 5); температуры ниже нормы наблюдались на юге Средней Сибири (до -4.1°C), на востоке Якутии (до -0.6°C). **Декабрь 2018** (осредненная по территории РФ аномалия температуры 0.44°C). Аномалии температуры выше 3°C наблюдались на севере ЕЧР, севере Западной и Средней Сибири; а также на юге Якутии, в Хабаровском крае, в Приамурье и Приморье. Очень холодно (аномалии до -7°C) на юге Западной Сибири, на Чукотке. В **январе** (осредненная по РФ аномалия температуры $+2.78^{\circ}\text{C}$) на большей части страны температуры выше нормы. Аномалии температуры выше $+6^{\circ}\text{C}$ наблюдались

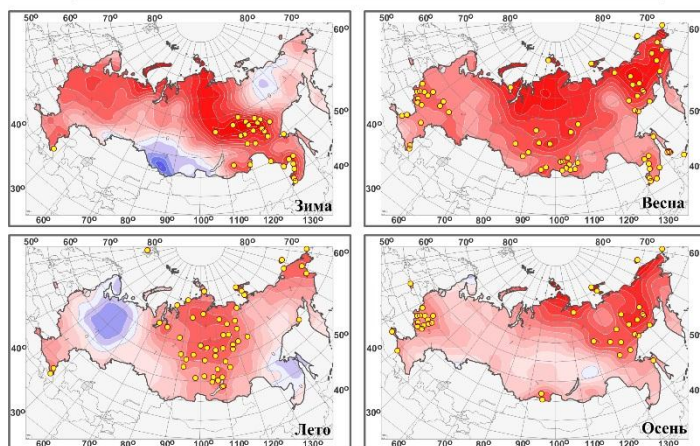
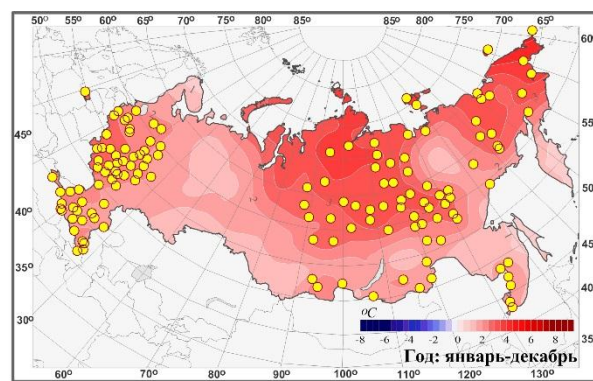


Рисунок 1.2 – Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2019 г. (отклонения от средних за 1961-1990 гг.) с указанием локализации 95%-х экстремумов (желтые кружки).

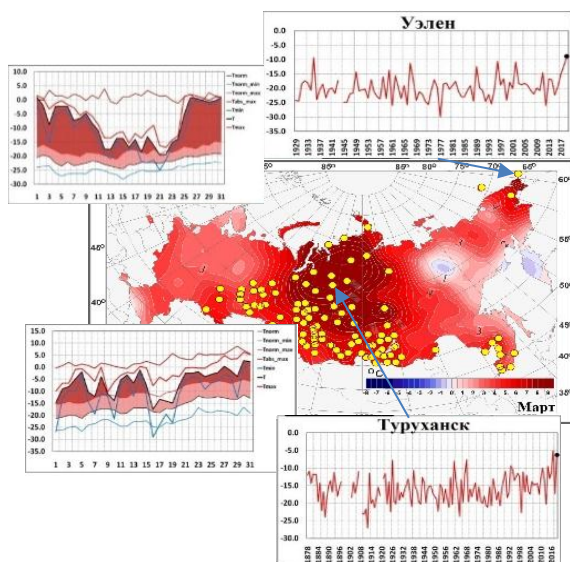


Рисунок 1.3 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в марте. На врезках ряды среднемесячной температуры воздуха и среднесуточной температуры в очагах максимальных температурных аномалий: Туруханск и Уэлен

выделяется март: средняя по РФ аномалия температуры составила $+4.30^{\circ}\text{C}$, по АЧР $+4.72^{\circ}\text{C}$ – обе четвертые в рядах. 95%-е экстремумы отмечались на большинстве станций

в Иркутской области. В Приамурье и Приморье (аномалия $+4.22^{\circ}\text{C}$ – ранг 5) 95%-е экстремумы отмечены повсеместно вдоль течения Амура. В **феврале** осредненная по РФ аномалия температуры $+3.14^{\circ}\text{C}$. Сформировались три крупные области высокой аномалии температуры: в Средней Сибири и в бассейне Лены (до $+10^{\circ}\text{C}$ в Эвенкийском АО и на юге Якутии на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы); на Чукотке; а также в ЕЧР (на большей части выше $+10^{\circ}\text{C}$). Отрицательные аномалии температуры (до -2°C) наблюдались в бассейне Оби, на Алтае и на Саянах, востоке Якутии, Камчатке.

Весна была очень теплой. Средняя по РФ аномалия $+2.86^{\circ}\text{C}$ – ранг 4. Значительные положительные аномалии наблюдались в центре ЕЧР (в ЦФО $+2.59^{\circ}\text{C}$ – ранг 5), на юге Сибирского ФО и в Дальневосточном ФО ($+2.93^{\circ}\text{C}$ – ранг 4). Из весенних месяцев

Западной Сибири (+6.30°C – исторический максимум в ряду) и Средней Сибири (+6.34°C – ранг 4). Почти на всей территории страны три декады подряд наблюдалась аномально теплая погода. На севере Сибири сформировался обширный очаг тепла, где аномалии среднемесячной температуры составили +10-12°C. Эта температурная аномалия сложилась под влиянием постоянных мощных южных адвекций, которые были обусловлены активной деятельностью атлантических циклонов на западе и на севере Сибири и значительным ослаблением Сибирского антициклона. Так, в Туруханске среднесуточная температура воздуха практически в течение всего месяца значительно превышала норму, а максимальная температура в первой половине и в последние дни месяца была близка к абсолютным суточным максимумам (см. врезку рис. 1.3). Глубокие тихоокеанские циклоны способствовали выносу огромного количества тепла на Чукотку, второй месяц подряд рекордные температуры воздуха отмечаются в Уэлене. Особенно теплыми выдались начало и конец месяца (см. врезку рис. 1.3), когда обновлялись абсолютные суточные максимумы температуры.

Таблица 1.1 – Средние годовые (январь - декабрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2019 году.

νT - отклонения от средних за 1961-1990 гг.; s – среднее квадратическое отклонение за 1961-1990 гг. Красным выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранг 1, 2 или 3), оранжевым – имеющие ранг 4 или 5.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\nu T, ^\circ C$	$s, ^\circ C$	$\nu T, ^\circ C$	$s, ^\circ C$	$\nu T, ^\circ C$	$s, ^\circ C$	$\nu T, ^\circ C$	$s, ^\circ C$	$\nu T, ^\circ C$	$s, ^\circ C$
Россия	2.07	0.76	2.12	1.81	2.86	1.20	0.98	0.34	1.60	0.90
Физико-географические регионы										
ЕЧР	1.88	0.96	2.65	2.35	2.29	1.45	0.09	1.01	1.20	1.04
АЧР	2.15	0.80	1.92	1.86	3.08	1.86	1.32	0.34	1.76	1.09
Западная Сибирь	1.86	1.09	0.85	2.92	3.03	1.65	0.90	0.80	0.93	1.53
Средняя Сибирь	2.82	1.14	3.47	2.81	3.63	1.69	2.34	0.65	1.72	1.82
Прибайкалье и Забайкалье	1.88	0.76	1.52	1.80	2.64	1.36	1.70	0.54	1.09	1.20
Приамурье и Приморье	1.37	0.81	2.89	1.51	2.06	1.17	-0.08	0.72	1.28	0.89
Восточная Сибирь	2.28	0.62	1.10	1.37	3.28	1.24	1.23	0.53	3.19	0.94
Федеральные округа										
Северо-Западный	1.76	1.19	3.22	2.82	2.44	1.62	-0.51	1.22	0.90	1.28
Центральный	2.51	1.05	2.90	2.72	2.59	1.69	0.49	1.21	2.13	1.13
Приволжский	1.67	1.02	2.01	2.58	2.33	1.68	-0.20	1.18	1.11	1.27
Южный	2.04	0.88	2.28	2.08	2.00	1.48	1.53	1.03	1.26	1.04
Северо-Кавказский	1.89	0.69	2.35	1.63	1.56	0.99	2.07	0.78	1.18	0.89
Уральский	2.04	1.16	1.93	3.09	3.26	1.79	0.97	1.02	1.08	1.65
Сибирский	2.19	1.04	1.27	2.77	3.26	1.54	1.68	0.52	1.00	1.61
Дальневосточный	2.15	0.71	2.37	1.41	2.93	1.22	1.22	0.44	2.33	0.98

В *апреле* (осредненная по РФ аномалия +2.57°C – ранг 8) положительные аномалии наблюдались всюду кроме Южного Урала и юга ЮФО. 95%-е экстремумы температуры отмечались в Восточной Сибири (осредненная по региону аномалия +5.45°C – максимальная величина в ряду). В *мае* (+1.68°C – ранг 10) температуры выше нормы наблюдались всюду кроме Алтая и Саян. 95%-е экстремумы отмечались повсеместно в СКФО (осредненная по федеральному округу аномалия составила +2.42°C – ранг 4), в Приморье, на Сахалине, в Магаданской области, на Камчатке.

Лето умеренно теплое, средняя по РФ аномалия температуры составила +0.98°C (ранг 17), но по ЕЧР всего 0.09°C (лишь 51 в ряду), а по АЧР: +1.32°C (ранг 7). Этот сезонный контраст между ЕЧР и АЧР особенно

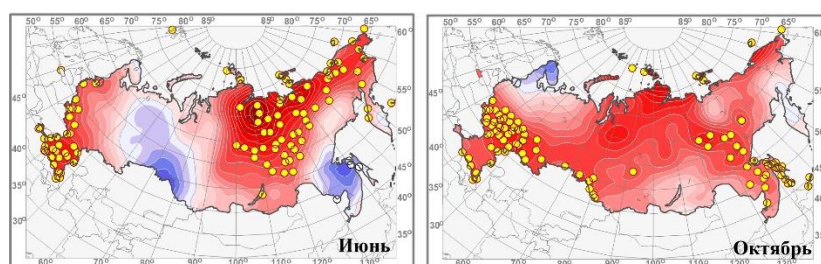


Рисунок 1.4 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в июне и в октябре 2019 г.

выражен в июле и августе. Экстремально тепло (повсеместно отмечались 95%-е экстремумы) в Средней Сибири ($+2.34^{\circ}\text{C}$ – ранг 2); прохладная погода наблюдалась на северо-востоке ЕЧР (аномалии до -1.6°C), на юге Хабаровского края, в Приморье, на Сахалине (аномалии до -1.2°C). Следует отметить рекордно теплый **июнь** в ЮФО и СФО ($+4.29^{\circ}\text{C}$ и $+4.26^{\circ}\text{C}$) и в ДФО ($+2.09^{\circ}\text{C}$), при этом в среднем по РФ аномалия температуры составила $+1.67^{\circ}\text{C}$ (ранг 6). Температуры ниже нормы (аномалии до -2.5°C – -2.8°C) наблюдались на северо-востоке ЕЧР, на Урале, в центре и юге Западной Сибири, в Приамурье и Приморье. **Июль** (аномалия $+0.39^{\circ}\text{C}$): экстремально тепло в центре АЧР (на многих станциях в районе Обской губы, в районе Байкала отмечались 95%-е экстремумы), отрицательные аномалии температуры наблюдались на ЕЧР (осредненная по ЦФО аномалия: -1.25°C – среди девяти самых холодных этом федеральном округе). **Август** (средняя по РФ аномалия температуры $+0.39^{\circ}\text{C}$): экстремально тепло в АЧР (аномалия $+1.47^{\circ}\text{C}$ – третья величина в ряду), температуры ниже нормы, на многих станциях зафиксированы 5%- экстремумы на севере ЕЧР (ЦФО и СЗФО (аномалии до -2.7°C)); в Приморье и на Сахалине (аномалии до -2.1°C).

Осень умеренно теплая, осредненная по России аномалия температуры составила $+1.60^{\circ}\text{C}$ (ранг 10). Положительные аномалии наблюдались практически всюду, 95%-е экстремумы фиксировались в центре ЕЧР и в ДФО (аномалия $+2.33^{\circ}\text{C}$ – ранг 5). Небольшие области отрицательных аномалий (не ниже -1°C) наблюдались на западе Мурманской области, на юге Урала, в районе среднего течения Витима. В **сентябре** (средняя по РФ аномалия $+0.96^{\circ}\text{C}$) положительные аномалии температуры наблюдались на большей части страны, но были почти везде ниже $+1.5^{\circ}\text{C}$. Температуры ниже нормы (аномалии до -2.5°C) наблюдались на Южном Урале. В **октябре** осредненная по РФ аномалия температуры составила $+2.66^{\circ}\text{C}$ (ранг 6). 95%-е экстремумы отмечались в ЦФО (аномалия $+3.36^{\circ}\text{C}$ – ранг 4) и в ПФО ($+3.89^{\circ}\text{C}$ – ранг 3); на юге ДФО ($+2.52^{\circ}\text{C}$ – ранг 5). **Ноябрь:** средняя по РФ аномалия $+1.19^{\circ}\text{C}$. Значительные положительные аномалии (до $+9^{\circ}\text{C}$) и 95%-е экстремумы отмечались на северо-востоке АЧР (осредненная по Восточной Сибири аномалия составила $+6.04^{\circ}\text{C}$ – ранг 4); аномалии до $+3.5^{\circ}\text{C}$ отмечались на большей части ЕЧР. Температуры ниже нормы (аномалии до -4.7°C) наблюдались на юго-востоке ЕЧР, в центре и юге АЧР. Отрицательные аномалии до -2°C наблюдались на западе Мурманской области, в Приморье.

Декабрь 2019 года (рис. 1.5). Осредненная по территории РФ аномалия температуры $+2.64^{\circ}\text{C}$, а осредненная по ЕЧР: 5.25°C – ранг 2 (особенно тепло в ЦФО). Повсеместно в центре и на западе ЕЧР отмечались 95%-е экстремумы, аномалии на станциях до 8.3°C . Во второй половине месяца среднедекадные температуры воздуха превышали нормы на $3-7^{\circ}\text{C}$ и более. Повсюду фиксировались новые суточные рекорды температуры. Самым богатым на температурные рекорды днем оказалось 23 декабря, абсолютные максимумы обновлены в Твери (см. врезку на рис. 1.5), в Москве и многих других городах центральных областей. Причиной такой теплой погоды стали мощные потоки с юга теплого средиземноморского воздуха. Отрицательные аномалии температуры в декабре наблюдались на Среднесибирском плоскогорье (до -4.5°C), в Забайкалье, в Приамурье.

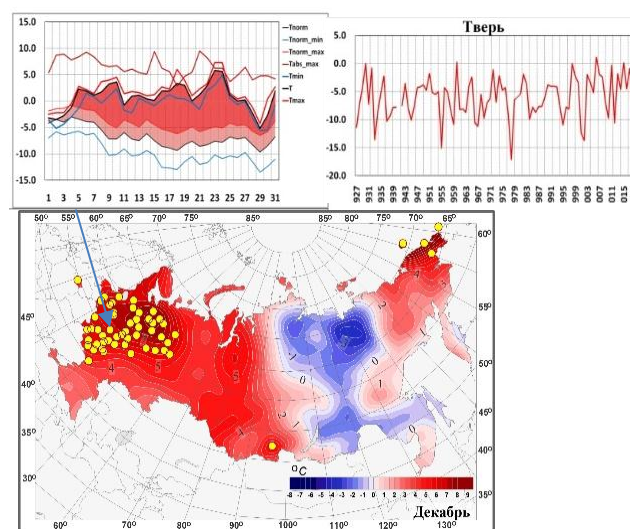


Рисунок 1.5 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2019 г. На врезках ряды среднемесячной температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в Твери

Тенденции изменений температуры воздуха

Региональные оценки трендов, полученные по временным рядам пространственно осредненных аномалий температуры за 1976-2019 гг., приведены в табл. 1.2 ($^{\circ}\text{C} / 10$ лет)

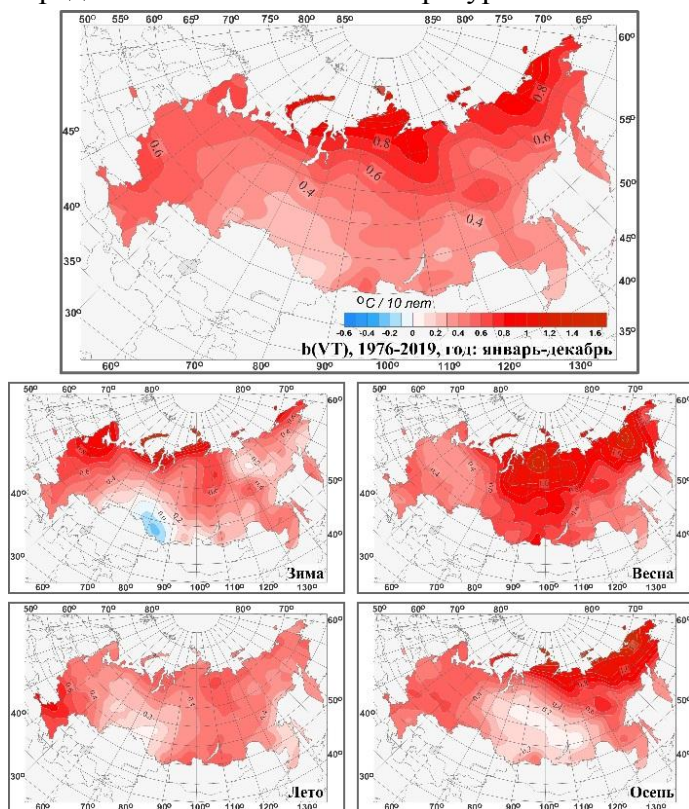


Рисунок 1.6 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2019 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет)

для всех рассматриваемых регионов: территория России, физико-географические регионы, федеральные округа.

На рис. 1.6 представлено географическое распределение локальных оценок на территории России. Коэффициент линейного тренда характеризует среднюю скорость изменения температуры на рассматриваемом интервале времени. 1976 год выбран условно в качестве начала современного потепления в соответствии с ходом глобальной температуры.

Потепление продолжается на всей территории России в целом за год и во все сезоны, кроме зимы (рис. 1.1 и табл.1.2). Летом и осенью имеются области, где оно выражено слабо, а зимой даже наблюдается небольшое похолодание. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила $+0.47^{\circ}\text{C}/10$ лет (вклад в общую изменчивость 52%). Наиболее

быстрый рост наблюдается весной ($+0.63^{\circ}\text{C}/10$ лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($+0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет: описывает 63% суммарной дисперсии). Среднегодовые температуры растут во всех физико-географических регионах и федеральных округах (табл. 1.2).

Наибольшая скорость роста среднегодовой температуры отмечается на побережье Северного Ледовитого океана, особенно в АЧР ($+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет - $+1.1^{\circ}\text{C}/10$ лет на Таймыре и на побережье Восточно-Сибирского моря). Весной и осенью максимум потепления – на побережье Восточно-Сибирского моря, а зимой – на северо-западе ЕЧР. Летом самое быстрое потепление происходит в ЕЧР южнее 55° ш. Кроме того необходимо отметить следующие особенности. Весной интенсивное потепление наблюдается в Западной ($+0.67^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Средней Сибири ($+0.82^{\circ}\text{C}/10$ лет), а также в Восточной Сибири весной ($+0.78^{\circ}\text{C}/10$ лет) и осенью $+0.77^{\circ}\text{C}/10$ лет; летом в ЮФО и ЦФО ($+0.44^{\circ}\text{C}/10$ лет и $+0.64^{\circ}\text{C}/10$ лет). Минимум потепления в среднем за год – на юге Западной Сибири. Летом и осенью потепление наблюдается на всей территории России, однако в Сибири (на юге летом и в центре осенью) имеются области, где потепление существенно слабее.

Для зимы, в целом по РФ, тренд за 1976-2019 гг. положительный ($0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет). Однако и в целом по России, и для всех регионов АЧР зимние тренды температуры незначимы (на 1% уровне). Осенью незначимые тренды (даже на 5% уровне) отмечаются в Западной и Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье.

В Сибири зимой наблюдается область похолодания, впервые проявившаяся в период 1976-2010 гг. и достигшая максимума в период 1976-2014 гг., когда похолодание охватывало большую часть Западной и юг Средней Сибири и достигало в центре -

0.54°C/10 лет; в настоящее время похолодание менее выражено (-0.4°C/10 лет на юге Западной Сибири). Рост зимней температуры для России в целом прекратился в середине 1990-х гг., после чего наблюдалось ее убывание, в последние шесть-семь лет наметилась тенденция к росту.

Таблица 1.2 – Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за год и по сезонам по территории России, её регионов и федеральных округов за 1976-2019 гг.:
b – коэффициент линейного тренда (°C/10 лет), *D* - вклад тренда в дисперсию (%); цветом выделены тренды незначимые на 1%-м уровне

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
Россия										
Россия	0.47	52	0.39	6	0.63	42	0.39	63	0.43	26
Физико-географические регионы										
ЕЧР	0.52	48	0.59	12	0.44	23	0.47	33	0.52	27
АЧР	0.46	45	0.32	6	0.70	41	0.37	64	0.43	23
Западная Сибирь	0.35	22	0.19	1	0.67	25	0.25	12	0.25	4
Средняя Сибирь	0.52	36	0.42	5	0.82	36	0.44	44	0.36	8
Прибайкалье и Забайкалье	0.38	34	0.24	3	0.63	31	0.48	50	0.16	3
Приамурье и Приморье	0.36	44	0.41	12	0.40	21	0.26	23	0.39	24
Восточная Сибирь	0.59	59	0.35	11	0.78	40	0.40	49	0.77	49
Федеральные округа										
Северо-Западный	0.55	40	0.76	12	0.46	16	33	24	0.53	22
Центральный	0.58	47	0.68	14	0.47	21	64	31	0.54	27
Приволжский	0.46	37	0.41	5	0.42	16	12	16	0.56	23
Южный	0.56	47	0.49	12	0.49	25	44	48	0.49	22
Северо-Кавказский	0.47	50	0.45	17	0.40	27	50	50	0.42	21
Уральский	0.42	24	0.34	2	0.65	20	23	11	0.33	6
Сибирский	0.38	25	0.22	1	0.76	36	49	38	0.19	3
Дальневосточный	0.51	60	0.37	15	0.68	40	33	60	0.59	43

2015/16 гг.: хотя следующие три зимы были существенно холоднее, они все же теплее ожидаемого по линии тренда. Оцененный за период 1976-2014 гг. зимний тренд по РФ был +0.15°C/10 лет, а для 1976-2019 увеличился до +0.39°C/10 лет. В период с 2004 по 2016 год наблюдалось определенное убывание осенней температуры.

Аномалии температуры и тенденции изменений температурного режима районов Северного Кавказа

Для территории Северного Кавказа был продолжен анализ рядов климатических переменных горных м/станций: Ахты (1281 м н.у.м.), Теберда (1335 м н.у.м.), Терскол (2144 м н.у.м.) и двух м/станций в предгорном и степном районах – Нальчик (500 м н.у.м.) и Прохладная (198 м н.у.м.). Был проведен анализ аномалий средней сезонной температуры в 2019 г., сезонного (годового) индекса максимальных и минимальных температур в 2019 году, а также тенденции их изменений за период 1976-2019гг. В табл. 1.3 приведены данные об аномалиях температуры в 2019г.

В 2019 г. на всех станциях наблюдались положительные аномалии сезонных и годовых **средних** температур для всех станций, кроме осенних аномалий (-0.5°C) на высокогорной м/станции Терскол. В зимний сезон 2019 года и в году в целом на всех станциях, за исключением Терскола, наблюдались 95%- ные экстремумы, в летний сезон 95 %-ные экстремумы отмечались на трех станциях: Ахты, Нальчик и Прохладная; в весенний сезон - на м/станции Прохладная. Индексы **максимальных** температур в основном положительны (за исключением зимнего индекса в Теберде, Нальчике и

По-видимому, это связано с наблюдавшимися в то время изменениями в основных циркуляционных системах Северного полушария. До середины 1990-х гг. почти вся территория России, в особенности запад ЕЧР, испытывала избыточное потепление из-за переноса теплого воздуха из Северной Атлантики. Потепление зим за период 1994-2014 гг. наблюдалось в основном в арктической зоне России; на остальной территории зимние температуры убывали, слабо на ЕЧР (до -0.2°C/10 лет) и значительно в АЧР, до -2°C/10 лет на юге Сибири. По-видимому, тенденция похолодания прекратилась после 2010 г. (рис. 1.1); отметим экстремально теплые зимы 2014/15 и

Прохладной, весеннего и осеннего индексов в Ахты), 95%-ные экстремумы отсутствуют. Индексы **минимальных** сезонных и годовых температур положительны (кроме осеннего сезона в Ахты) с присутствием 95%-ных экстремумов зимой в Теберде, Нальчике и Прохладной.

В табл. 1.4 приведены характеристики линейного тренда за 1976-2018 гг. Из табл. 1.4 и рис.1.7 видно, что с 1976 года на всех м/станциях Кавказского региона наблюдался положительный тренд средних годовых и сезонных температур; годовые тренды значимы на 1%-ном уровне, сезонные – на 5%-ном уровне (кроме зимнего тренда в Теберде). Рост годовых температур обусловлен ростом максимальных температур, особенно в предгорном (0,7°C/10 лет, $D=23\%$) и степном (0,96°C/10 лет, $D=35\%$) районах.

Таблица 1.3 - Среднегодовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры и индексы минимальной и максимальной за сутки температуры приземного воздуха для станций юга ЕЧР в 2019 г.: νT – отклонения от нормы (средние за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2019 гг., розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ , оранжевым – более $1,69\sigma$ (5 и 95% - ные экстремумы при Гауссовом распределении), голубым и синим – те же значения для отрицательных аномалий.

М/станция	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C
Средние температуры										
Ахты	1.8	0.84	2.3	1.82	1.0	1.24	2.2	1.05	0.9	1.26
Теберда	1.4	0.81	2.0	1.82	0.9	0.93	1.6	1.01	1.0	1.02
Терскол	0.6	0.67	1.5	1.57	0.2	0.93	1.4	0.91	-0.5	1.02
Нальчик	1.8	0.97	3.0	1.80	0.5	1.2	2.4	1.2	0.9	1.18
Прохладная	2.3	0.95	3.1	1.88	3.2	1.17	2.5	1.17	1.0	1.12
Абсолютный максимум температур										
Ахты	0.6	2.61	1.2	2.36	-0.5	2.1	1.7	2.57	-0.6	2.89
Теберда	0.4	2.17	-1.5	2.28	0.1	1.87	0.1	2.18	1.8	2.41
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	1.9	1.77	-1.0	2.91	0.8	2.3	1.7	1.77	3.2	2.42
Прохладная	2.5	1.9	-0.8	3.31	3.2	2.41	2.3	1.93	3.3	2.42
Абсолютный минимум температур										
Ахты	2.5	2.76	4.5	2.96	2.7	3.65	1.7	2.3	-0.1	3.12
Теберда	3.0	3.13	6.2	3.02	1.9	4.05	2.3	1.8	2.6	3.8
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	2.8	4.5	8.6	4.64	2.0	4.39	1.0	2.1	0.9	3.63
Прохладная	3.5	4.79	9.2	5.06	3.4	4.31	1.1	2.67	1.5	3.45

Таблица 1.4 - Характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2018 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режимов температуры на станциях Кавказского региона. T – средняя температура, Min – абсолютный минимум, Max – абсолютный максимум, b – значение углового коэффициента линейного тренда (°C /10 лет), $D(\%)$ – вклад тренда в суммарную дисперсию.

		Ахты		Теберда		Терскол		Нальчик		Прохладная	
		b	D	b	D	b	D	b	D	b	D
Год	T	0.43	41	0.39	37	0.18	12.0	0.55	52	0.46	40
	Min	0.6	9	0.4	0.5	-	-	0.32	0.9	0.45	2.1
	Max	0.49	6	0.43	6	-	-	0.7	23	0.96	35
Зима	T	0.43	12	0.36	7	0.06	0.3	0.51	16	0.46	13
	Min	0.4	3	0.27	16	-	-	0.2	0.04	0.27	0.5
	Max	0.55	9	0.42	5	-	-	0.36	3.0	0.61	6
Весна	T	0.4	10	0.31	16	0.17	4.0	0.52	31	0.4	23
	Min	1.1	15	1.4	17	-	-	1.4	19	0.99	12
	Max	-0.09**	0.3	0.19	2	-	-	0.2	2.0	0.48	7
Лето	T	0.52	40	0.54	49	0.45	41	0.70	52	0.65	52
	Min	0.1	0.3	0.72	25	-	-	0.54	10	0.61	9
	Max	0.32	3	0.39	2	-	-	0.7	23	0.96	34
Осень	T	0.39	10	0.37	18	0.06**	4.0	0.48	20	0.38	15
	Min	0.1	0.1	1.12	13	-	-	0.14	0.2	0.26	1
	Max	0.083	0.13	0.24	1	-	-	0.8	18	0.77	16

*серым цветом выделены отрицательные тенденции переменной

** статистически значимые тренды отмечены жирным

Отрицательный тренд с небольшим значением скорости имеет место для зимней максимальной температуры в Ахты (-0.09°C/10 лет, $D=0.3\%$). Но поскольку изменения за 10 лет незначительные и вклад в суммарную дисперсию минимален, то скорее возможно говорить о стабильности этих температур. На высокогорной станции Терскол

годовой тренд положителен за счет летнего тренда (значим на 1% уровне, $0.45^{\circ}\text{C}/10$ лет, $D=41\%$). Зимой, весной и осенью тренда здесь практически нет.

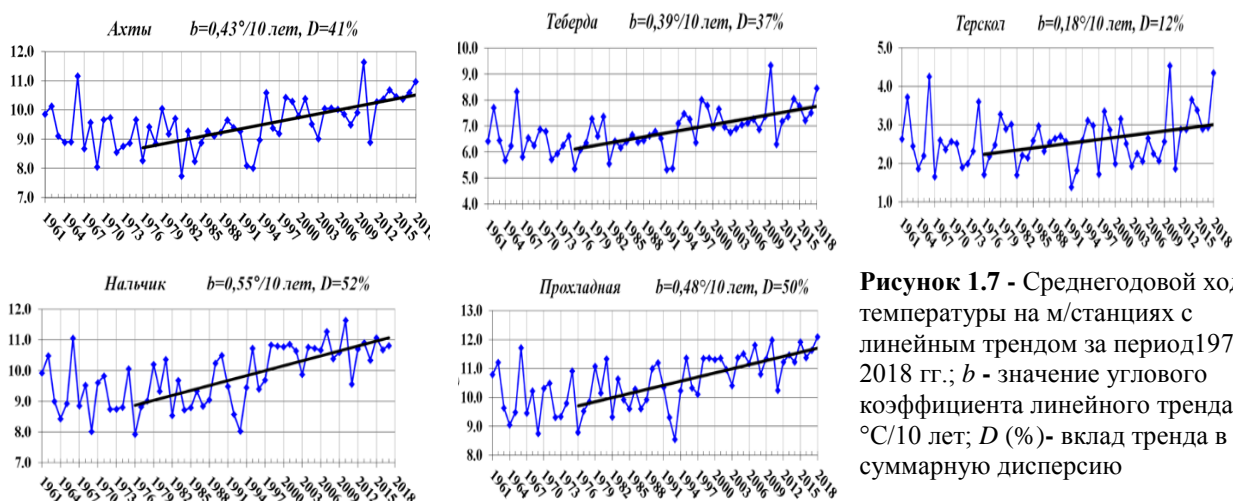


Рисунок 1.7 - Среднегодовой ход температуры на м/станциях с линейным трендом за период 1976-2018 гг.; b - значение углового коэффициента линейного тренда, $^{\circ}\text{C}/10$ лет; D (%) - вклад тренда в суммарную дисперсию

2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

Данные. Использованы данные о месячных суммах осадков на 455 станциях из базового массива ФГБУ «ИГКЭ», расположенных на территории России, стран СНГ и Балтии (из них 315 станций - российские). За 2019 год использованы данные КЛИМАТ, своевременно поступившие по каналам связи. Годовые и сезонные суммы осадков выражены в мм/месяц, т.е. приведены к масштабу месячных сумм осадков, либо выражены в процентах нормы 1961-90 гг.

Особенности режима атмосферных осадков в 2019 г.

На рис. 2.1 приведены временные ряды аномалии среднегодовых и сезонных осадков (% от нормы) для России в целом, а на рис. 2.2 карты - среднегодовых и сезонных аномалий осадков. На всех временных рядах показаны 11-летние скользящие средние, линейные тренды за 1976 – 2019 гг. с 95%-й доверительной полосой. В табл. 2.1 приведены данные об аномалиях пространственно осредненных осадков для России, ее физико-географических регионов, федеральных округов (рис. 1, 2 Введения). Аномалии, попавшие на одно из первых или последних 5 мест в ранжированном по убыванию ряду осадков, выделены.

В **2019 году** средняя по России годовая сумма осадков составила 108% нормы (шестая сумма в ряду). Доля площади с избытком осадков (более 80-го перцентиля) составила 25%, с дефицитом осадков – 12%. Значительный избыток осадков (рис. 2.2) наблюдался на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 131% нормы – максимальная величина в ряду, здесь значительный избыток осадков наблюдался во все сезоны), в нижнем течении Енисея, на Дальнем Востоке. Сильный дефицит осадков наблюдался в СКФО (выпало 84% нормы – среди четырех «самых сухих»), вдоль побережья Восточно-Сибирского моря, на Сахалине.

Из сезонов выделяется, **осень**: значительный избыток осадков в АЧР (114% - ранг 5) и в СЗФО (127% - ранг 4); сильный дефицит – в ЮФО (61% нормы - среди четырех «самых

сухих» осенних сезонов). Значительный избыток осадков отмечался **весной** в ЮФО (138% нормы – ранг 5), сильный дефицит осадков – **летом** в Восточной Сибири (79% нормы (среди четырех «самых сухих»)).

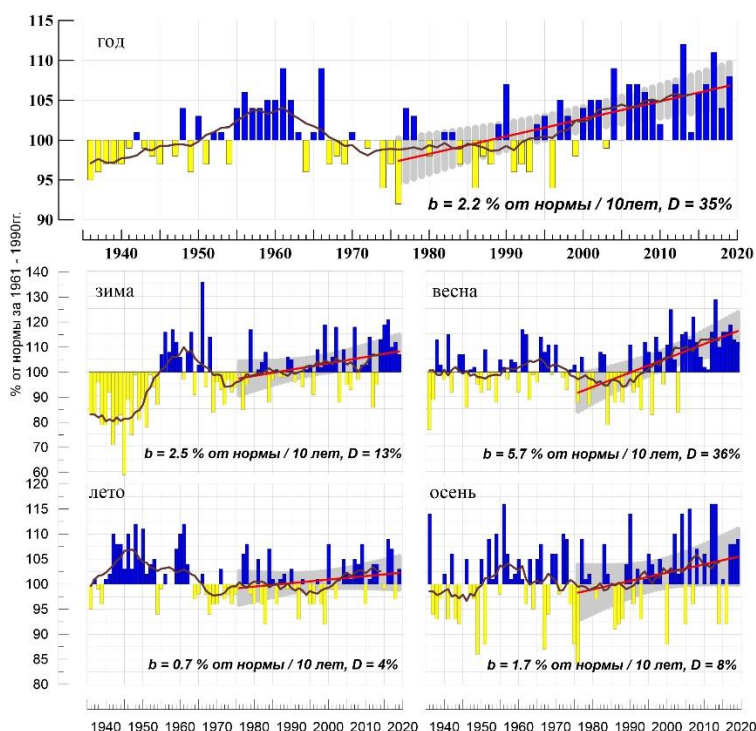


Рисунок 2.1 – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (мм/месяц), осредненные по территории России, 1936-2019 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976-2019 гг.; b - коэффициент тренда (% от нормы / 10 лет), D - вклад тренда в суммарную дисперсию (%).

осадков (до 20%) наблюдался на юге АЧР. Очень контрастным был **февраль** (рис. 2.3) – экстремальный избыток осадков – более 200% нормы, 95%-е экстремумы на многих станциях - на севере ЕЧР, на юге Якутии, на Чукотке; сильный дефицит осадков (до 20%) – в Саянах, в Забайкалье, в Приморье.

Весна была умеренно влажной, в целом по РФ выпало 112% нормы осадков (ранг 18), в ЮФО выпало 138% нормы – ранг 5. Кроме того, значительный избыток осадков наблюдался на Кольском полуострове, в нижнем и среднем течении Енисея, в Хабаровском крае. Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался на юге Сибири, на севере Якутии, на Сахалине. Особенность весны: в ЕЧР наблюдался резкий контраст между экстремально влажным мартом (161%, 2-й в ряду) и сухим апрелем (66%, шестой из самых сухих). Кроме того, в **марте** (рис. 2.3) значительный избыток осадков (на многих станциях отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался еще в центральных районах Западной Сибири, на Чукотке. Дефицит осадков в марте наблюдался на Алтае и во многих районах ДФО. Как отмечалось выше, в **апреле** сильный дефицит осадков (менее 60% нормы) наблюдался в ЕЧР (в центре и на севере, в ЦФО выпало 46% нормы – среди четырех самых «сухих»), юге ДФО, на Чукотке. Избыток осадков (более 120%) наблюдался в центральных районах Сибири, в Хабаровском крае. В **мае** значительный избыток осадков (более 120% нормы, на многих станциях отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался вдоль побережья Охотского и Японского морей, на юге Якутии (в целом по ДФО осадки составили 146% нормы – ранг 3), избыток осадков наблюдался также на большей части ЕЧР, в нижнем течении Енисея. Дефицит осадков (40-80% нормы) наблюдался на севере АЧР, на юге Сибири, в Забайкалье.

Летом в целом по России выпало 103%. Значительный избыток осадков (на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдался на северо-востоке ЕЧР, в Саянах, в Приморье. Сильный дефицит осадков (60-80% нормы, фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в центре и на юге ЕЧР (СКФО выпало 69% нормы - среди восьми «самых сухих»), в Средней Сибири, в Восточной Сибири (79% - среди четырех «самых сухих»), в особенности на севере Якутии. В **июне** в целом по РФ выпало 99% нормы осадков. Дефицит осадков (40-80%) наблюдался на большей части ЕЧР (кроме севера и северо-востока), на большей части ДФО. Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался на западе и юге АЧР. В июне сильный дефицит осадков в ЮФО (46%) при экстремальных температурах (см. раздел 1) привел к сильной засухе. **Июль.** Осредненные осадки по РФ составили 107% нормы. Значительный избыток осадков наблюдался на большей части ЕЧР (127% - ранг 4, особенно много осадков выпало в СЗФО (157% нормы – максимальная величина в ряду). Сильный дефицит осадков (до 20%) наблюдался в низовьях Енисея, в Иркутской области.

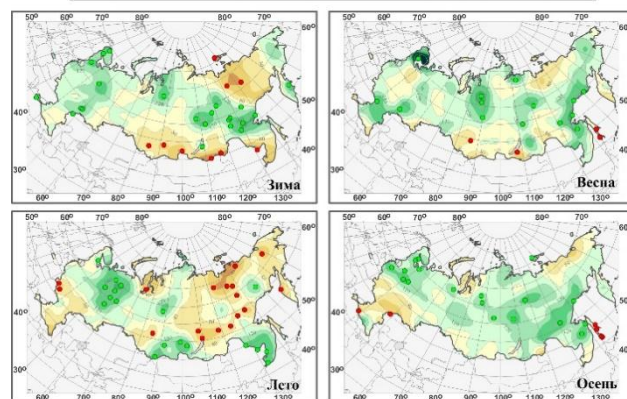
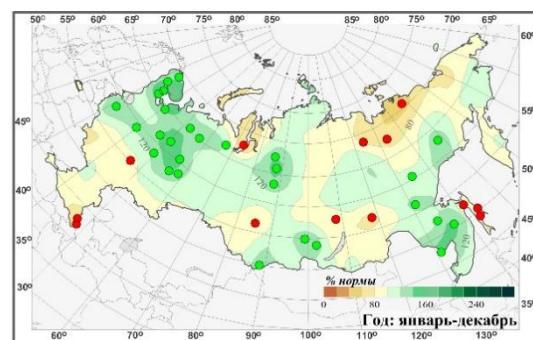


Рисунок 2.2 – Аномалии осадков на территории России в 2019 г. с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки)

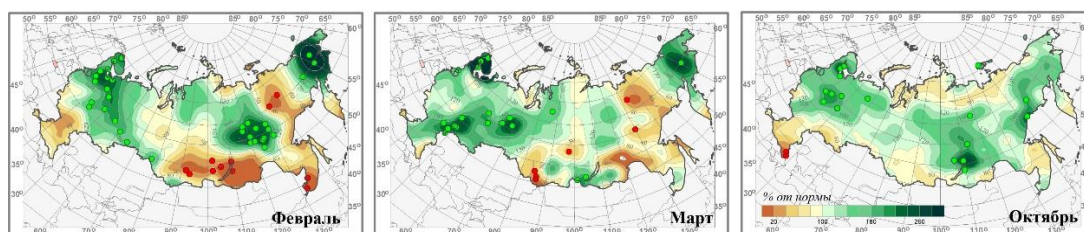


Рисунок 2.3 – Аномалии осадков в феврале, в марте, в октябре 2019 г.

Август. Осредненные по РФ осадки 100% нормы. Дефицит осадков преобладал в АЧР (на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы): в Восточной Сибири выпало 68% нормы – среди четырех «самых сухих» в ряду. Значительный избыток осадков (более 160% нормы) наблюдался востоке ЕЧР; а также в Приморье.

Осенью осредненные по РФ осадки составили 109% нормы. Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался в СЗФО выпало 127% нормы – ранг 4 и на большей части АЧР (114% - ранг 5). Дефицит осадков наблюдался в ЮФО (61% – среди четырех «самых сухих»), на Сахалине (отмечались 5%-е экстремумы), вдоль побережья Восточно-Сибирского моря. **В сентябре** осредненные по РФ осадки составили 99% нормы. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на большей части ЕЧР (кроме юга), на северо-востоке страны, в Приморье и на юге Сахалина. Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался на большей части АЧР (кроме перечисленных районов). **В октябре** (рис.2.3) осредненные по РФ осадки составили 124% нормы – четвертая величина в ряду. Экстремальный избыток осадков в СЗФО (172% нормы – исторический максимум), в Иркутской области и Хабаровском крае (более 160%). Дефицит осадков наблюдался в

ЮФО (58% нормы – среди пяти «самых сухих»), в Саянах, в Приамурье и Приморье, вдоль азиатского побережья Северного Ледовитого океана.

Таблица 2.1 – Годовые и сезонные суммы осадков (в % от нормы 1961-90 гг.) для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2019 г. Зеленым цветом выделены значения, попавшие в число наибольших (ранг 1), светло-зеленым цветом - попавшие в число пяти наибольших (ранг 4 или 5), оранжевым - в число четырех наименьших (ранг 81) – в ранжированных по убыванию рядах с 1936 г

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	108	107	112	103	109
<i>Физико-географические регионы</i>					
Европейская часть России	110	114	115	108	101
Азиатская часть России	106	100	110	100	114
Западная Сибирь	105	90	105	103	108
Средняя Сибирь	110	114	118	95	123
Прибайкалье и Забайкалье	102	92	92	103	110
Приамурье и Приморье	112	91	111	119	107
Восточная Сибирь	100	105	118	79	120
<i>Федеральные округа</i>					
Северо-Западный	131	125	118	127	127
Центральный	97	113	101	92	95
Приволжский	104	114	112	105	87
Южный	92	105	138	93	61
Северо-Кавказский	84	98	110	69	87
Уральский	112	99	112	114	110
Сибирский	107	93	107	103	113
Дальневосточный	104	106	111	96	116

врезку на рис. 2.4), осадки наблюдались 24 дня, причем трижды обновлялись суточные максимумы.

Значительный избыток осадков наблюдался также в бассейне Енисея, на Алтае (3 суточных максимума осадков зафиксировано в Хабаровском крае, см. врезку на рис. 2.4) на северо-востоке страны, на юге Хабаровского края, в Приморье. Сильный дефицит осадков (40%-80% нормы) наблюдался на юге ЕЧР, в Якутии, в Забайкалье.

В ноябре осредненные по РФ осадки 107% нормы. Значительный избыток осадков (более 120% нормы, фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдался на севере ЕЧР, на юге ДФО. Сильный дефицит осадков (фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался на юге и в центре ЕЧР (в ЮФО выпало лишь 32% нормы – среди трех «самых сухих»).

Декабрь 2019 г. (рис. 2.4) Осредненные по РФ осадки 110% нормы. Значительный избыток осадков (120%-160%) наблюдался в СЗФО (147% - максимальная величина в ряду). Причиной тому стали активные атлантические циклоны, проникающие через Скандинавию и северные районы ЕЧР далеко на юг Западной Сибири и приносили интенсивные осадки. В Мончегорске (Мурманская область) декабрь стал самым «мокрым» за всю историю наблюдений на станции (см.

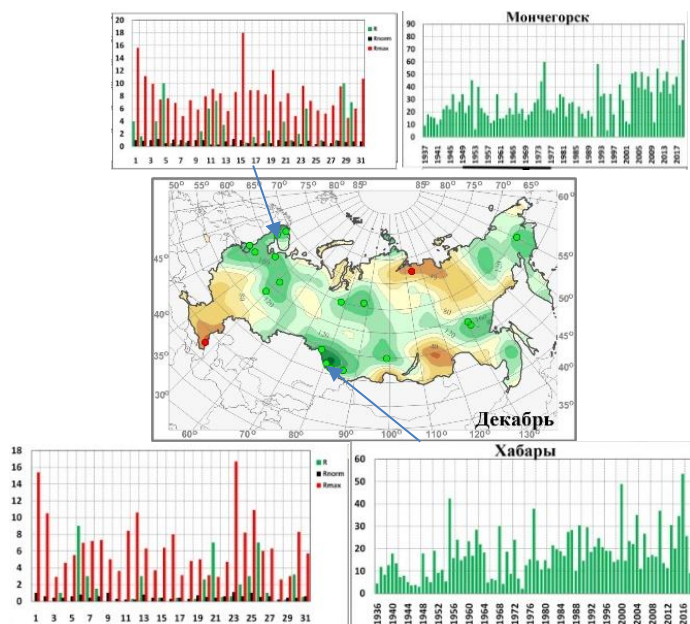


Рисунок 2.4 – Аномалии осадков в декабре 2019 г. На врезках ряды сумм осадков и суточных сумм осадков в зонах значительного переувлажнения

Тенденции изменений режима осадков

Географическое распределение коэффициента линейного тренда атмосферных осадков на территории России для 2019 г. в целом и для сезонов представлено на рис. 2.5.

Оценки получены по стационарным временным рядам годовых и сезонных аномалий осадков за 1976-2019 гг. Численные оценки трендов для регионов приведены в табл. 2.2 (в % нормы за 10 лет).

На территории России в целом преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков. Тренд превышает 5%/10 лет лишь в ряде областей Сибири и Дальнего Востока и в СКФО. Убывают осадки на севере Чукотского АО. Незначительное убывание наблюдается в центральных районах ЕЧР. Тренд годовых осадков по территории России в целом, составляет 2.2% /10 лет, вклад в дисперсию 35% - тренд статистически значим на уровне 1%.

Рисунок 2.1 показывает, что выраженный рост годовых осадков наблюдается со второй половины 1980-х гг. Наиболее значительные тренды (табл. 2.2) наблюдаются в регионах Средняя Сибирь (3.2%/10 лет, вклад в дисперсию 28%) и Восточная Сибирь (3.5%/10 лет; 19%), и, соответственно, в СФО (2.7%/10 лет, 26%) и ДФО (2.7%/10 лет, 24%).

Отрицательный, очень малый тренд, статистически незначимый на 5%-уровне, наблюдается в ряде федеральных округов ЕЧР (в ЦФО, в ПФО и в ЮФО).

Региональные тренды наблюдаются на фоне существенных колебаний с периодом в несколько десятилетий, так что нельзя с уверенностью утверждать наличие тренда, а лишь наличие определенной фазы таких колебаний. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается **весной** (5.7%/10 лет, вклад в дисперсию 36%): увеличение осадков происходит практически всюду, особенно в ДФО (до 15-20%/10 лет).

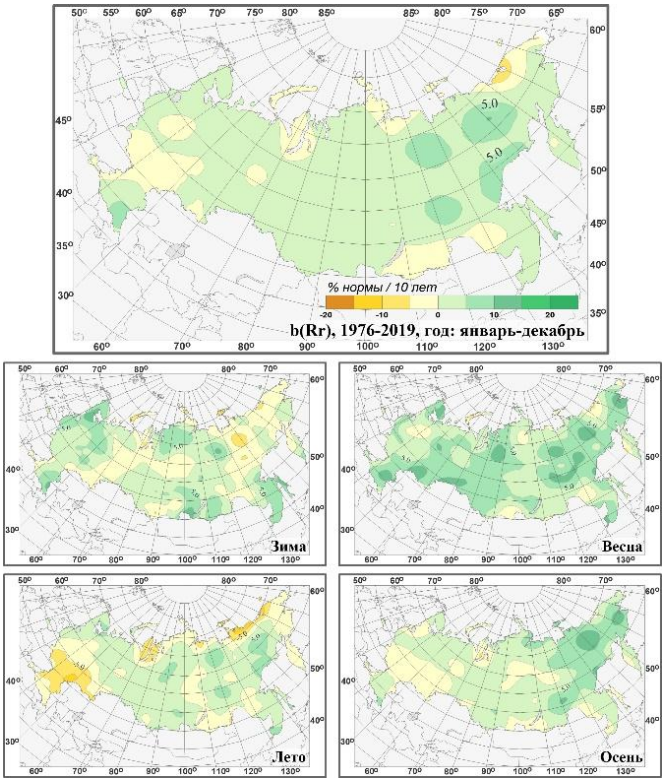


Рисунок 2.5 - Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2019 гг. на территории России (% / 10 лет).

Таблица 2.2 - Оценки линейного тренда осредненных за год (январь - декабрь) и по сезонам месячных сумм атмосферных осадков для регионов России за 1976-2019 гг. **b** % /10 лет – коэффициент линейного тренда, **D%** - вклад тренда в дисперсию. Выделены значения тренда, значимые на 1%-м уровне

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	D%	b	D%	b	D%	b	D%	b	D%
Россия	2.2	35	2.5	13	5.7	36	0.7	4	1.7	8
Физико-географические регионы России										
Европейская часть России	1.0	4	2.7	8	4.7	18	-1.6	3	0.0	0
Азиатская часть России	2.6	44	2.3	9	6.2	38	1.4	11	2.6	18
Западная Сибирь	2.6	14	0.6	0	8.1	31	1.5	2	1.2	2
Средняя Сибирь	3.2	28	2.3	4	6.4	35	2.8	9	2.2	6
Прибайкалье и Забайкалье	1.1	3	4.2	10	2.9	4	0.2	0	2.7	5
Приамурье и Приморье	2.1	7	6.1	8	4.6	7	1.9	2	0.4	0
Восточная Сибирь	3.5	19	1.9	2	6.3	25	0.5	0	6.1	26
Федеральные округа										
Северо-Западный	3.0	18	5.1	16	3.7	10	2.2	3	1.3	1
Центральный	-0.3	0	3.2	4	3.9	6	-4.2	7	-0.7	0
Приволжский	-0.5	0	0.9	0	5.5	9	-3.8	6	-1.8	1
Южный	-0.2	0	0.2	0	5.7	11	-4.8	6	-0.2	0
Северо-Кавказский	1.5	3	2.7	3	4.8	9	-2.4	1	1.9	1
Уральский	2.3	9	0.4	0	7.7	25	1.2	1	0.6	1
Сибирский	2.7	26	2.1	4	6.2	22	2.2	8	0.9	5
Дальневосточный	2.7	24	2.9	8	5.7	31	1.1	2	1.6	22

Статистически значимый на 5%-ном уровне положительный тренд весной отмечается во всех субъектах РФ (кроме Прибайкалья и Забайкалья, и ЦФО). *Зимой* рост осадков происходит в основном на севере и юге страны. *Летом* и *осенью* рост осадков наблюдается в АЧР. *Зимой* осадки уменьшаются на северо-востоке страны и в центральных районах Сибири. *Летом* осадки убывают на ЕЧР (кроме севера): отрицательные тренды наблюдаются как для ЕЧР в целом, кроме СЗФО; наиболее быстро осадки убывают в ЮФО: -4.8% за 10 лет. Летние осадки убывают также на арктическом побережье АЧР.

Аномалии осадков и тенденции изменений режима осадков районов Северного Кавказа

Аномалии показателей режима осадков (сумм осадков, максимума суточных осадков, числа дней с осадками не менее 5 мм) по данным 2019 года представлены в табл. 2.3.

Из табл. 2.3 видно, что в 2019 г. имел место дефицит осадков на станциях Нальчик, Прохладная в зимний период и годовой дефицит сумм осадков на станции Теберда. В Ахты небольшое превышение осадков имело место летом.

В Терсколе в июле 2019 г. аномалия количества осадков (99.4 мм) превысила стандартное отклонение (41.7 мм) в 2.4 раза (рис.2.7). Сумма осадков, выпавших в июле 2019 года, составила 205.5 мм при норме 106 мм, что явилось максимальным количеством за последние 60 лет. В остальные сезоны имело место, как превышение, так и дефицит осадков, но в пределах межгодовой изменчивости.

В табл. 2.4 и на рис. 2.6 представлены характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2018 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режима осадков на станциях Кавказского региона.

Таблица 2.3– Годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии сумм осадков для м/станций юга ЕЧР в 2019 году: Δ , мм – отклонения от нормы (средних за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2019 гг.

М/станция	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ , мм	σ , мм	Δ , мм	σ , мм	Δ , мм	σ , мм	Δ , мм	σ , мм	Δ , мм	σ , мм
Суммы осадков										
Ахты	-8.7	71.77	-4.5	15.95	-2.1	40.06	5.7	44.17	30.3	35.77
Теберда	-134.8	123.21	11.1	81.04	-43.1	64.2	19.7	53.56	-62.2	81.05
Терскол	-80.4	165.0	-4.0	85.5	-64.3	77.4	47.5	65.0	6.6	93.7
Нальчик	-9.4	107.04	-27.2	19.85	-12.3	55.66	-38.6	68.49	-23.1	52.06
Прохладная	-8.3	91.86	-20.2	19.21	-1.4	45.98	-1.5	57.12	-5.5	43.43
Максимум осадков										
Ахты	1.8	9.17	-1.5	6.36	-0.3	7.29	11.4	10.49	-0.1	9.17
Теберда	-6.4	13.77	-2.9	14.94	-5.0	13.69	-8.7	12.08	-2.2	13.25
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-1.7	11.27	-5.9	5.36	-2.6	11.12	3.1	10.53	-1.2	14.79
Прохладная	-1.2	16.14	-4.3	4.08	-0.5	14.38	0.2	15.35	-1.2	13.3
Число дней с осадками не менее 5 мм										
Ахты	-0.2	4.34	-0.03	1.6	0.3	2.84	-0.5	3.19	0.2	2.47
Теберда	0.6	7.36	1.3	3.56	-0.1	4.06	2.5	3.92	-1.0	4.38
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	0.1	6.88	-0.7	1.95	1.0	3.57	-0.8	4.01	0.7	3.36
Прохладная	-0.2	5.67	-0.7	2.04	0.3	2.84	-0.9	3.33	0.3	2.57

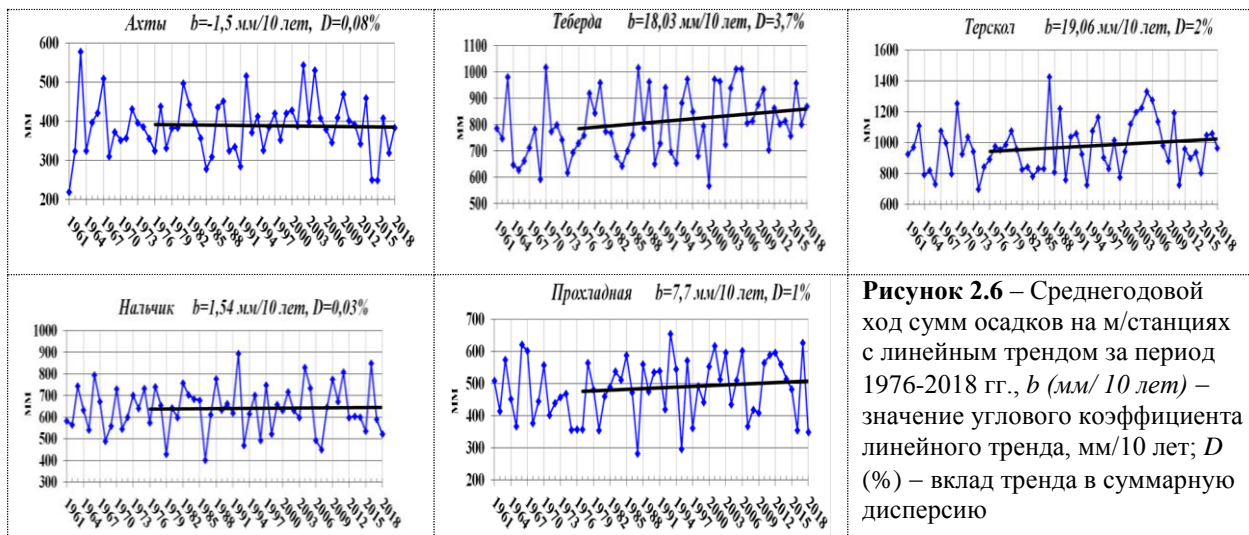
Увеличение сумм годовых осадков на всех станциях статистически незначимо. В Ахты с 1976 года скорость роста среднегодовых сумм осадков поменяла направление с положительной на отрицательную (-1.5 мм/10 лет), тренд статистически незначим (0.08%). В Теберде с 1976 года наблюдался статистически незначимый рост сумм годовых осадков (18.03 мм/10 лет, 3.7%). За период 1976-2018 гг. на горных станциях Теберда и Терскол

наблюдался статистически значимый рост весенних сумм осадков. В этот же период (1976-2018 гг.) зимние и летние суммы осадков незначительно уменьшались. На м/станции Ахты имели место как положительные тенденции (зима, весна, осень), так и отрицательные (лето, год) сумм осадков, все тренды незначимые.

Таблица 2.4 – Характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2018 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режима осадков на станциях Кавказского региона. R – сумма осадков, Max – максимум суточных осадков, $NR5$ – число дней с осадками не менее 5 мм, b – значение углового коэффициента линейного тренда (мм/10 лет или число дней/10 лет), $D(\%)$ – вклад тренда в суммарную дисперсию.

		Ахты		Теберда		Терскол		Нальчик		Прохладная	
		b	D	b	D	b	D	b	D	b	D
Год	R	-1.5	0.08	18.03	3.7	19.06	2.0	1.54	0.03	7.7	1.0
	Max	0.2	0.08	0.74	0.4	-	-	0.72	1.0	4.17	10.0
	$NR5$	0.07	0.05	2.4	21	-	-	0.78	2.0	0.62	2.0
Зима	R	1.97	2.0	-2.41	0.2	-4.82	0.6	0.78	0.3	3.98	6.0
	Max	1.37	6.0	-2.9	0.4	-	-	-0.04	0.01	0.81	7.0
	$NR5$	0.27	4.0	0.19	0.6	-	-	0.34	5.0	0.43	7.0
Весна	R	0.86	0.09	20.1	13	19.7	8.0	3.1	0.6	6.0	3.0
	Max	0.4	0.5	0.51	0.2	-	-	-1.23	0.17	0.67	3.0
	$NR5$	-0.17	6.0	1.32	15	-	-	0.36	1.6	0.35	3.0
Лето	R	-4.43	2.0	-1.89	0.18	-2.71	0.3	-3.7	0.5	-8.15	3.0
	Max	-0.51	0.4	-2.1	4.0	-	-	2.06	6.0	3.59	8.0
	$NR5$	-0.3	2.0	0.68	5.0	-	-	-0.64	4.0	-0.48	4.0
Осень	R	0.14	0.002	1.32	0.05	6.93	1.0	1.8	0.2	6.5	3.0
	Max	-0.79	1.2	1.3	1.5	-	-	-1.93	3.0	2.8	8.0
	$NR5$	0.27	2.3	0.1	0.09	-	-	0.77	7.0	0.46	5.0

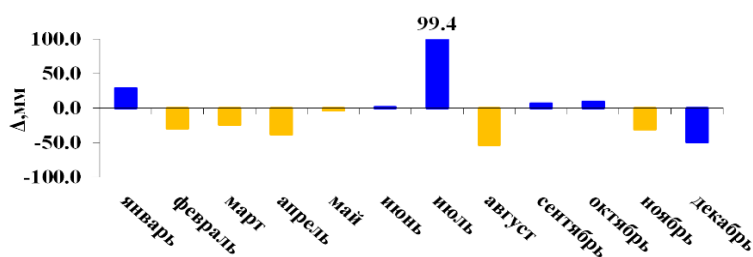
серым цветом выделены отрицательные тенденции изменения переменной
 ** статистически значимые тренды отмечены жирным



На предгорной м/станции Нальчик и степной м/станции Прохладная наблюдался рост зимних, весенних, осенних и годовых сумм осадков с 1976 года. В Нальчике и Прохладной уменьшение сумм осадков имело место летом. Величина суточных максимумов осадков уменьшалась зимой, весной и осенью, число дней с осадками не менее 5 мм также имели тенденцию к уменьшению.

Общая тенденция для всех м/станций – незначительное увеличение осенних сумм осадков и $NR5$.

Из всех трендов изменения осенних осадков статистически устойчивый тренд имел место лишь на равнинной станции Прохладная для суточных максимумов (2.8 мм/10 лет, $D=8\%$).



М/станция Прохладная выделяется статистически значимым ростом суточных максимумов осадков во все сезоны и в году в целом.

Рисунок 2.7 - Аномалии среднемесячных сумм осадков в 2019 г., Терскол

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2018/2019 г.

Анализ изменений характеристик снежного покрова проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квази-однородных климатических регионов характеристик. Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях арифметически осреднялись по квадратам сетки ($1^{\circ}\text{N} \times 2^{\circ}\text{E}$), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по регионам, показанным на рис. 3 (Введения), и по территории России. Методика наблюдений за характеристиками снежного покрова неоднократно изменялась. После 1965 года нарушений однородности, вызванных изменением процедуры наблюдений, не было, поэтому исследование многолетних характеристик снежного покрова проведено по данным за период с 1966 года. Используются нормы (среднемноголетние значения) характеристик снежного покрова за период 1971-2000 гг.

В табл. 3.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий характеристик снежного покрова зимой 2018-2019 гг. для регионов России и их ранги по данным за 1967-2019 гг. Анализ состояния снежного покрова каждого зимнего сезона осуществляется по данным с 1 июля прошедшего года по 30 июня текущего года.

Особенности состояния снежного покрова зимой 2018-2019 гг.

Первый снег зимой 2018-2019 гг. на большей части европейской территории выпал позже среднеклиматических сроков на 5-10 дней, за исключением части Южного и Северо-Кавказского ФО (рис. 3.1.б).

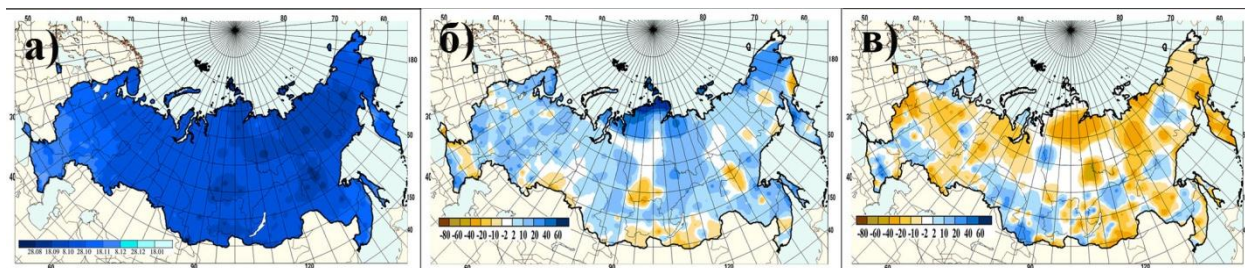


Рисунок 3.1 - а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2018-2019 гг. б) Аномалии в датах появления первого снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2018-2019 гг. (от норм 1971-2000 гг.) в) Аномалии в датах схода снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2018-2019 гг. (от норм 1971-2000 гг.)

На азиатской территории раньше обычных сроков снежный покров появился в Тюменской и Омской областях, центральных районах Красноярского края, Тыве, Забайкалье, юго-восточных районах Якутии и на севере Камчатского края. На юго-востоке Якутии первый снег лег уже в начале сентября (рис. 3.1.а), что на 10-20 дней раньше климатических сроков. На арктическом побережье Ямала и Таймыра, севере Якутии, в Чукотском АО и Магаданской области из-за очень теплой погоды в октябре-ноябре снежный покров появился гораздо позже климатических сроков. На большей части страны снег сошел раньше обычного (рис. 3.1.в). Задержался снежный покров дольше среднеклиматических сроков на Кольском полуострове, Карелии, Поволжье, предгорных районах Северного Кавказа, на юге Западной Сибири и Красноярского края, отдельных районах Дальневосточного ФО.

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России оказалась значительно меньше климатической нормы, отрицательная аномалия стала рекордной за рассматриваемый период (табл. 3.1). На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха как в начале холодного периода (октябрь-ноябрь), так и в его конце (март-апрель). Максимальные отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова отмечены на арктическом побережье страны, на юге Сибири, южных и северо-восточных районах Дальневосточного ФО (рис. 3.2.а). Во всех квази-однородных районах снег лежал меньше климатических сроков. Аномалии продолжительности залегания снежного покрова в I, II, III, VI и VII квази-однородных районах попали в десятку наибольших отрицательных значений. В отдельных районах Западной Сибири и Якутии снег пролежал дольше обычного из-за более раннего его появления. Максимальные положительные аномалии продолжительности залегания снежного покрова отмечены в горных районах Алтая (район VIII).

В зимний период 2018-2019гг. **максимальная высота снежного покрова** в среднем по России значительно превысила климатическую норму (табл.3.1) и вошла в десятку наибольших значений за рассматриваемый период. Максимальная высота снежного покрова превысила норму на большей части европейской территории, на некоторых станциях превышен абсолютный максимум. На азиатской территории страны значительные положительные аномалии максимальной высоты снежного покрова отмечены на севере Западной Сибири, в северных районах Якутии, на Чукотке. В этих районах также на многих метеорологических станциях превышен абсолютный максимум. На северо-востоке Дальневосточного ФО очень снежными выдались февраль и март 2019 года. При ослабленном Сибирском антициклоне далеко на восток прорывались атлантические циклоны, принося с собой обильные снегопады. В феврале в Чукотском АО месячная норма осадков была превышена в 3-4 раза, на многих метеорологических станциях обновились суточные максимумы осадков. Положительные аномалии максимальной высоты снежного покрова получены для I, II, III, IV и V квази-однородных районов. Значительный дефицит снега отмечался в VII и VIII районах, отрицательные аномалии попали в десятку наиболее крупных отрицательных аномалий (табл. 3.1).

Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался выше нормы в поле, и меньше нормы – в лесу (табл. 3.2). Положительные аномалии запаса воды в снеге в поле отмечены в I, II, IV и V квази-однородных районах, причем на севере ЕЧР и Западной Сибири (район I) величина максимального запаса воды в снеге стала рекордной. Наиболее значительные отрицательные аномалии запаса воды в поле получены в центральных и южных районах Восточной Сибири, а также на юге ЕЧР и в Приморье (рис. 3.3.а). В лесу максимальный запас воды в снеге оказался меньше нормы во всех квази-однородных районах, за исключением I и IV. Максимальные отрицательные аномалии получены на Дальнем Востоке (район VII), где значение максимального запаса воды в снеге стало рекордно низким, а также на Алтае и Саянах (район VIII), причем это значение также вошло в

первую десятку наименьших значений. Отрицательные аномалии запаса воды в снеге на лесном маршруте отмечены также на Урале, юге Западной Сибири, юге Хабаровского края и Сахалине (рис. 3.3.б).

Таблица 3.1 – Средние за зимний период (2018-2019 гг.) аномалии характеристик снежного покрова, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России:

Δ - отклонения от средних за 1971-2000 гг.; R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик зимнего периода за 1967-2019 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение

Регион	Максимальная высота			Число дней со снегом		
	Δ	R	σ	Δ	R	σ
Россия	4.39	9	2.93	-12.71	53	5.17
Север ЕЧР и Западной Сибири	17.78	1	8.19	-15.61	47	9.36
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	22.52	1	5.94	-15.05	51	7.80
Чукотка и север Камчатки	9.81	6	10.69	-24.76	52	11.32
Центр ЕЧР	14.13	4	6.79	-8.68	37	10.06
Центр и юг Западной Сибири	6.03	9	6.90	-3.53	35	8.29
Центр и юг Восточной Сибири	-0.26	32	6.13	-15.14	52	6.33
Дальний Восток	-8.65	52	7.23	-21.09	53	7.36
Алтай и Саяны	-6.61	47	6.53	-7.05	43	9.37
Юг ЕЧР	-1.45	36	4.67	-6.97	36	21.52

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за зимы 1967-2019 гг.

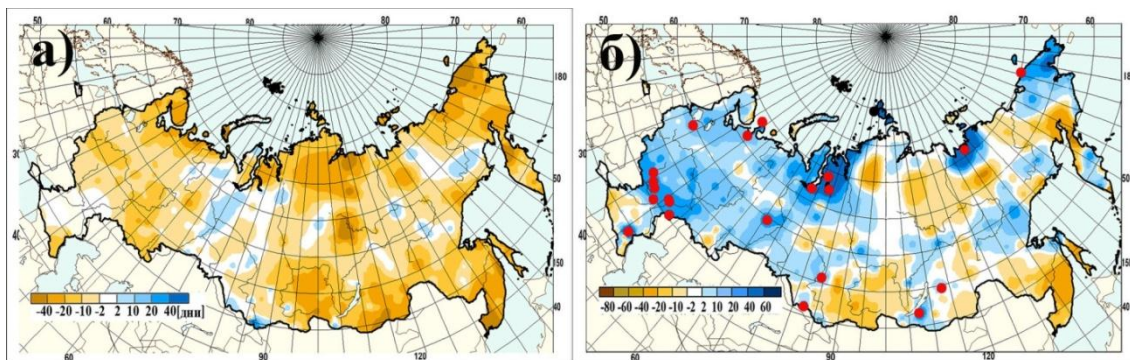


Рисунок 3.2 - а) Аномалии числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции зимой 2018-2019 гг. (от среднеемноголетних значений за период 1971-2000 гг.); б) Аномалии максимальной высоты снежного покрова зимой 2018-2019 гг. (от средних многолетних значений за период 1971-2000 гг.). Кружками красного цвета показаны станции, на которых зарегистрирован абсолютный максимум высоты снежного покрова

В табл. 3.3 приведены подробные данные о запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ РФ.

На Европейской территории России весна проходила в нормальные сроки. На Азиатской территории, наоборот, она значительно опережала многолетние сроки. Поэтому анализировались сведения о запасах воды в снежном покрове на 10 марта 2019 г., когда почти повсеместно они имели максимальные величины. В бассейне Волги запас воды в снежном покрове составил 117% нормы и оказался на 33 мм больше, чем в прошлом 2018 году. Запасы воды в снеге в бассейнах Верхней Волги, Оки, Суры, Вятки, Камы, Белой, Чебоксарского, Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ оказались на 11-69 мм больше прошлогодних; в бассейнах Костромы, Унжи, Москвы – близкими к ним, а в бассейне Ветлуги – на 15 мм меньше прошлогодних значений. Запасы воды в снеге в бассейнах Камы и Белой составили 94% нормы, реки Москва 100 % нормы, в бассейне Волгоградского водохранилища 209% нормы, в остальных бассейнах Волги составили 110-153 % нормы.

Таблица 3.2 – Аномалии максимального за зимний период (2017-2019 гг.) запаса воды в снеге, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России

Δ - отклонения от средних за 1971-2000 гг.; R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1967-2019 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение.

Р е г и о н	Запас воды в снеге (поле)			Запас воды в снеге (лес)		
	Δ	ранг	σ	Δ	ранг	σ
Россия	17.45	3	8.85	-6.02	39	8.02
Север ЕЧР и Западной Сибири	42.03	1	18.13	4.10	17	24.73
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	6.50	25	25.74	-4.25	32	14.34
Чукотка и север Камчатки	-46.7	49	29.25	-18.31	42	31.57
Центр ЕЧР	35.75	3	18.02	8.09	12	18.68
Центр и юг Западной Сибири	16.14	10	17.66	-10.07	27	22.44
Центр и юг Восточной Сибири	-6.93	47	6.65	-0.41	27	8.06
Дальний Восток	-5.70	38	20.70	-37.91	53	25.22
Алтай и Саяны	-0.94	33	13.94	-35.75	48	29.67
Юг ЕЧР	-11.12	46	10.37	-	-	-

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1967-2019гг.

Таблица 3.3 – Сведения о запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ Российской Федерации по состоянию на 10 марта 2019 г. (в сравнении с нормой и с влагозапасами 2018 г.): *н2018, н2019* – запасы воды в снеге в 2018 и 2019 гг.

№ п/п	Бассейны рек	Запасы воды в снеге на 10 марта 2019 г.				
		норма	н2018	н2019		
		мм	мм	мм	% от нормы	% от н2017
1	ВОЛГА, в т.ч.	115	102	135	117	132
2	до Рыбинского водохр.	101	92	122	121	133
3	р. Кострома и Унжа	125	150	153	122	102
4	р. Москва	95	92	95	100	103
5	р. Ока, включая бассейн р.Москвы	79	81	103	130	127
6	р. Сура	99	75	120	121	160
7	р. Ветлуга	135	175	160	119	91
8	Чебоксарское водохранилище	90	93	114	127	123
9	р. Вятка	141	144	155	110	108
10	Куйбышевское водохранилище	130	127	148	114	117
11	Саратовское водохранилище	92	72	141	153	196
12	Волгоградское водохранилище	66	87	138	209	159
13	р. Кама	179	119	168	94	141
14	р. Белая	134	75	126	94	168
15	ДОН, в т.ч.	48	59	120	250	203
16	Хопер	55	58	143	260	247
17	Медведица	53	69	114	215	165
Реки севера						
18	Северная Двина	116	144	165	142	115
19	Сухона	121	140	157	130	112
20	Вага	118	114	151	128	132
21	Юг	111	156	193	174	124
22	Пинега	97	125	171	176	137
23	Вычегда	131	159	174	133	109
24	Мезень	134	149	147	110	99
25	Нарва	51	53	28	55	53
26	Волхов)	62	56	131	211	234
Реки и водохранилища Сибири						
27	Верхняя Обь	81	62	84	104	135
28	Тобол	62	45	78	126	173
29	Енисей (С.Шушенское водохранилище)	148	97	84	66	140
30	Енисей (Красноярское водохранилище)	181	96	80	53	98
31	Ангара (оз. Байкал)	97	77	101	79	117
32	Ангара (Братское водохранилище)	104	55	82	53	160
33	Ангара (Усть-Илимское водохранилище)	126	100	88	79	137

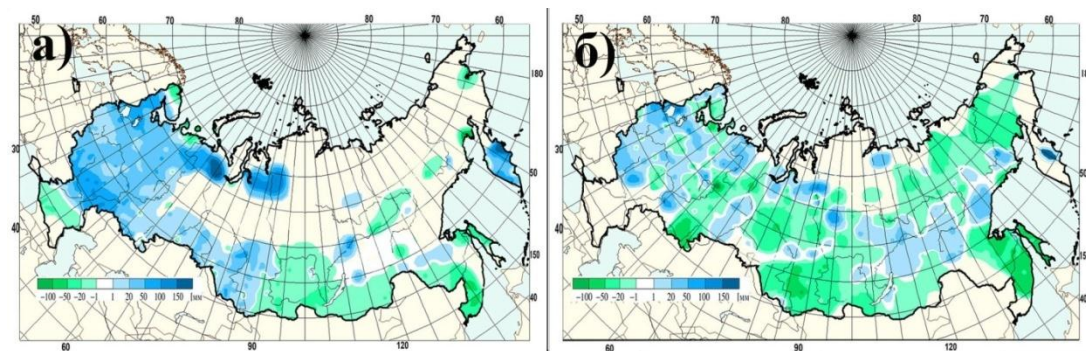


Рисунок 3.3 - Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2018-2019 гг. (от среднемноголетних значений за период 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б).

В бассейнах Дона выше Цимлянского водохранилища, Хопра и Медведицы запасы воды в снеге составили 215-260% нормы и оказались больше прошлогодних значений на 45-85 мм.

Почти на всех бассейнах рек севера Европейской части России снеготзапасы оказались больше прошлогодних на 15-46 мм, лишь в бассейне Мезеня они оказались на 2 мм меньше, чем в прошлом году. В бассейнах Северной Двины, Сухоны, Ваги, Юга, Пинеги и Вычегды запасы воды в снежном покрове составили 128-176 % нормы, в бассейне Мезеня составили 110 % нормы.

На северо-западе Европейской части России снеготзапасы в бассейнах Нарвы и Волхова составили 55 и 211% нормы соответственно. По отношению к прошлогодним, запасы в бассейне Нары уменьшились на 25 мм, а в бассейне Волхова увеличились на 75 мм.

В бассейнах рек и водохранилищ Сибири запасы воды в снеге на конец первой декады марта преимущественно составляли 82–126% нормы. Снеготзапасы в бассейне Верхней Оби и Тобола оказались на 22-33 мм больше прошлогодних значений; на территории остальных бассейнов Сибири – на 20-85 мм меньше значений прошлого года.

Многолетние изменения характеристик снежного покрова

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений максимальных за зимний период значений высоты снежного покрова на интервале 1976 - 2019 гг., рассчитанных по данным станционных наблюдений на территории России, показано на рис. 3.4.а. Тренд выражен в см/10 лет. Как и в период 1976 - 2018 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на севере Западной Сибири, на побережье Охотского моря, в центре ЕЧР, в Чукотском АО и на юге Камчатки. В отличие от предыдущего периода несколько замедлилось увеличение максимальной высоты в юго-восточных районах Якутии. Уменьшение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается на северо-западе и отдельных станциях на севере ЕЧР, а также на юге Западной Сибири, севере Камчатского края, северо-западе Республики Саха-Якутия, юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края. При осреднении по регионам, статистически значимые на 5%-уровне положительные коэффициенты линейного тренда получены как для России в целом, так и для всех квазиоднородных районов, кроме VIII и IX (табл. 3.4).

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции приведено на рис. 3.5.б (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-уровне).

В период с 1976 по 2019 гг. на значительной части страны выявлена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова: на большей части ЕЧР, арктическом побережье Восточной Сибири (Гыданский п-ов и Таймыр), юге Западной Сибири, северо-западе Республики Саха-Якутия, севере Камчатского края и в Амурской

области. При этом, по сравнению с предыдущим периодом, усилилась тенденция увеличения продолжительности залегания снежного покрова на востоке Якутии. Сохраняется тенденция увеличения числа дней со снежным покровом в Забайкалье, в горных районах Алтая и Саян, на северном и западном побережье Охотского моря, южном и центральном Урале, в южных районах Камчатки.

В среднем для России число дней со снегом сокращается на 1.01 дня за 10 лет (табл. 3.4), т.е. аномалия последнего года значительно увеличила скорость сокращения продолжительности залегания снежного покрова.

Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2019 гг. по данным маршрутных наблюдений практически не изменились по сравнению с периодом 1976-2018гг. ни в поле, ни в лесу. По данным на полевых маршрутах наблюдается увеличение в центральных районах ЕЧР, северных и южных районах Западной Сибири, на Камчатке, Сахалине и в Приморье (рис.3.5.а).

Таблица 3.4 – Оценки линейного тренда (значимые на 5%-м уровне) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2019 гг.:

H_{max} , см/10 лет – максимальной высоты снежного покрова; **N_d , дни/10лет** - числа дней со снежным покровом; **$SWEn$, мм/10лет** - запаса воды в снеге (в поле); **$SWEл$, мм/10лет** - запас воды в снеге (в лесу)

Регион	H_{max}	N_d	$SWEn$	$SWEл$
Россия	1.72	-1.01	2.53	-1.45
Север ЕЧР и Западной Сибири	1.71			
Сев. Восточной Сибири и Якутии	1.4			
Чукотка и север Камчатки	3.25		-8.37	
Центр ЕЧР	1.79	-2.77		-5.03
Центр и юг Западной Сибири	1.73			-5.2
Центр и юг Восточной Сибири	1.05			
Дальний Восток	3.17		7.1	
Алтай и Саяны			3.87	
Юг ЕЧР				

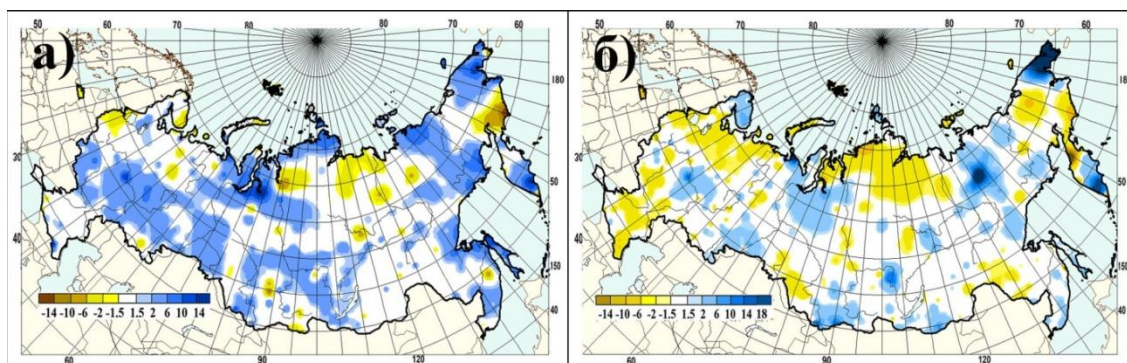


Рисунок 3.4 - а) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова. б) Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2019гг.

Сохраняется тенденция уменьшения на северо-западе и севере ЕЧР, Полярном Урале и в прибрежных районах Магаданской области. Средний для страны в целом запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в поле увеличивается на 2.53 мм за 10 лет. По данным маршрутных наблюдений в лесу (рис. 3.5.б) на территории России по-прежнему преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге, средний для страны запас воды в снеге уменьшается на 1.45 мм за 10 лет. Наиболее обширная зона положительных коэффициентов линейного тренда охватывает северное и западное побережье Охотского моря, южные районы Хабаровского края, Приморье и Сахалин. Можно отметить уменьшение областей с положительными трендами в Прикамье и на юге Восточной Сибири. При оценке региональных изменений получены значимые отрицательные тренды запаса воды в снеге по данным снегосъемок по лесным маршрутам в центре ЕЧР (IV район), в центре и на юге Западной Сибири (V район), по полевым маршрутам - на Чукотке и севере Камчатки (район III). На Дальнем Востоке (район VII), в

горных районах Алтая и Саян (район VIII) запас воды в снеге в лесу увеличивается на 7.1мм и 3.87мм за 10 лет соответственно (табл.3.4).

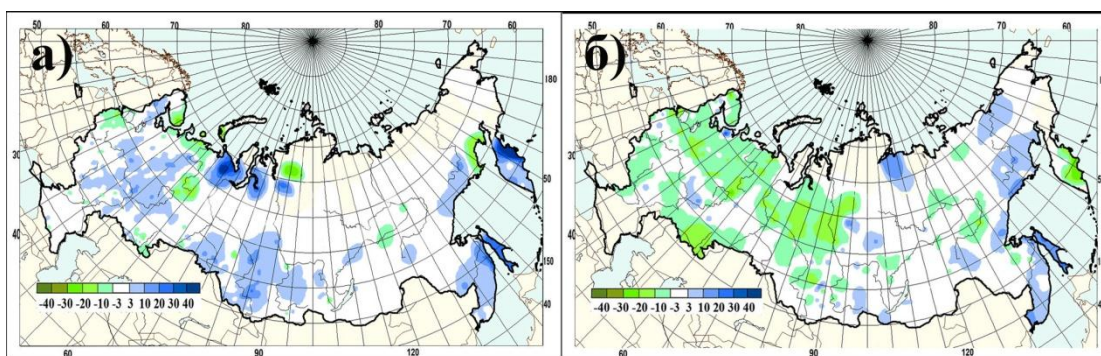


Рисунок 3.5 - Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б). 1976-2019гг.

Выводы

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2018-2019 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы, отрицательная аномалия стала рекордной за рассматриваемый период. На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха как в начале холодного периода, так и в его конце. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России значительно превысила климатическую норму, при этом в I и II квази-однородных районах максимальная высота снежного покрова оказалась рекордной за рассматриваемый период. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался выше нормы в поле, и меньше нормы - лесу. В I районе величина максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте стала рекордной, а значения в IV и V районах попали в первую десятку наибольших значений. В лесу аномально низкий запас воды в снеге наблюдался в VII и VIII квази-однородных районах, причем в VII районе такое низкое значение максимального запаса воды в снеге отмечено впервые.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова. Как и в период 1976 - 2018 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. В отличие от предыдущего периода несколько замедлилось увеличение максимальной высоты в юго-восточных районах Якутии. Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2019 гг. по данным маршрутных наблюдений в поле не изменились. По данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

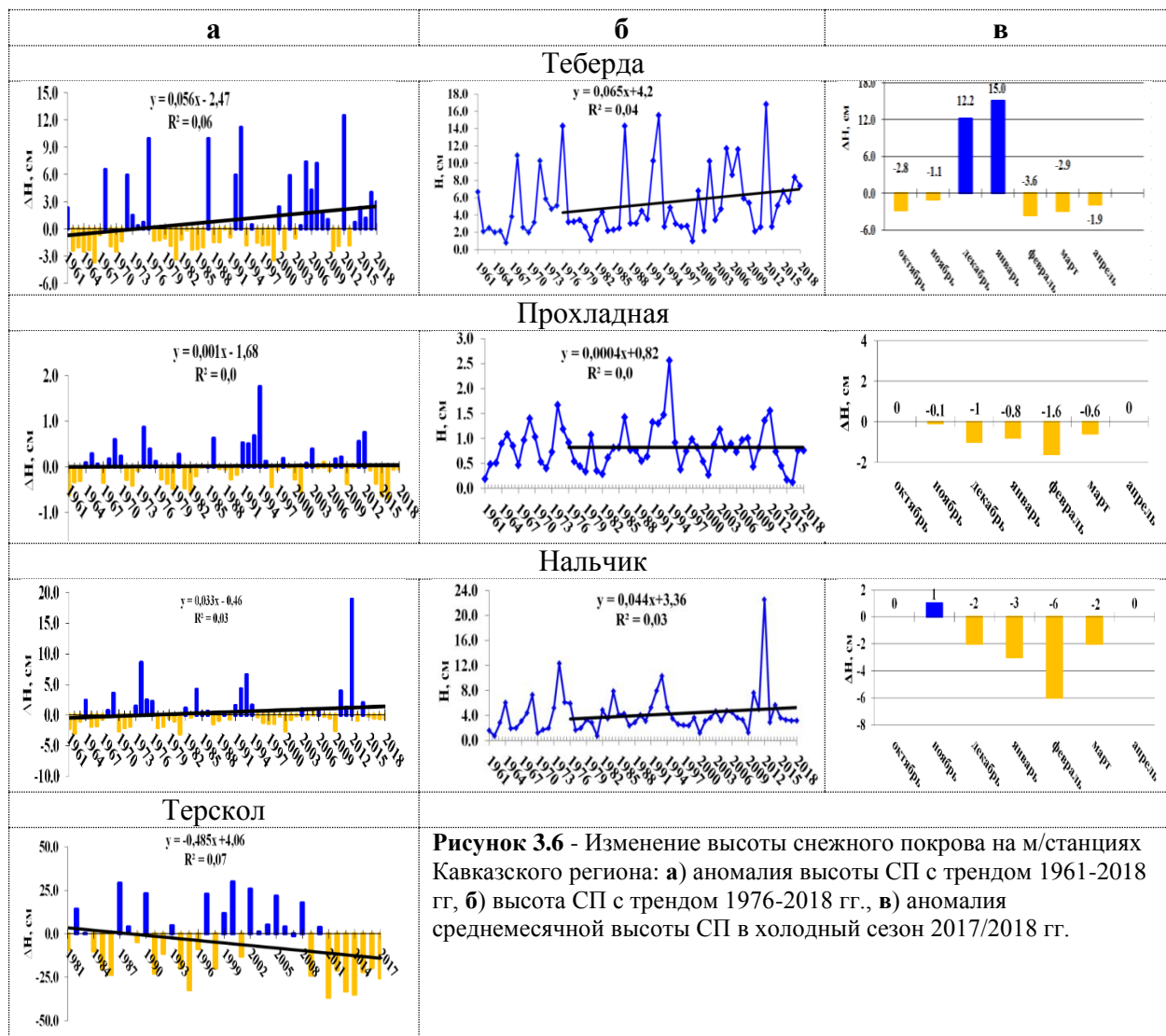
Анализ изменения высоты снежного покрова в различных климатических зонах Кавказского региона в современный период с 1976 по 2018 гг.

Анализ изменения высоты снежного покрова (СП) в различных климатических зонах Кавказского региона в современный период (с 1976 по 2018 гг.) был сделан по данным м/станций: Теберда (горная зона), Терскол (высокогорная зона), Прохладная (равнинная зона), Нальчик (предгорная зона) (рис. 3.6).

На горной станции **Теберда** в 1961-2018 гг. имело место увеличение высоты СП на 0.56см/10 лет ($D=6\%$), с 1976 г. скорость роста увеличилась до 0.65 см/10 лет, тренд

статистически незначим ($D=4\%$). В сезон 2017/2018гг. превышение высоты СП наблюдались в декабре 2017 г. на 12.2 см и январе 2018 г. на 15 см.

На высокогорной м/станции **Терскोल** с 1981 года по 2017 гг. имело место уменьшение среднемесячной высоты снежного покрова на 4.85 см/10 лет, тренд близок к статистически значимому ($D=7\%$). В последние 10 лет наблюдались исключительно отрицательные аномалии высоты снежного покрова.



На равнинной станции **Прохладная** как в 1961-2018 гг., так и в 1976-2018 гг. тренд изменения высоты снежного покрова отсутствует ($D=0\%$). В холодный сезон 2017/2018 гг. высота снежного покрова всех месяцев было меньше нормы от 0.1 см в ноябре до 1.6 см в феврале.

На предгорной станции **Нальчик** с 1961 года по 2018 гг. имело место небольшое увеличение среднемесячной высоты снежного покрова на 0.33 см/10 лет, тренд статистически незначим ($D=3\%$). В современный период с 1976 г. происходило незначительное усиление роста высоты СП до 0.44 см/10 лет ($D=3\%$).

С декабря по март сезона 2017/2018 гг. на предгорной станции Нальчик наблюдалась высота СП ниже климатической нормы от 2 см в декабре, марте до 6 см в феврале. В ноябре месяце высота СП превышала норму на 1 см.

С 1981 по 2018 гг. на высокогорной м/станции Терскोल наблюдалось статистически значимое уменьшение высоты снежного покрова (-4.85 см/10 лет, $D=7\%$), на остальных станциях за 1976-2018 гг. – статистически незначимое увеличение высоты СП. В холодные

сезоны (октябрь-апрель) последних лет имело место уменьшение среднемесячной высоты СП по сравнению с климатической нормой (1961-1990 гг.) на всех м/станциях, за исключением горной станции Теберда, где наблюдалось значительное превышение нормы СП в декабре 2017г. (+12.2 см) и январе 2018г. (+15 см).

4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК

Вскрытие рек и очищение ото льда водохранилищ весной 2019 года.

В результате теплой погоды в феврале на реках Калининградской области во второй декаде февраля произошло вскрытие и очищение рек области, что в среднем на месяц раньше нормы. В первой - начале второй декады марта произошло вскрытие верхних течений рек Нарвы, Полисти, Ловати, Плюсы Псковской области, что на 35-54 дня раньше нормы. Во второй декаде марта произошло вскрытие рек: Шелони, Холковы, Луги, Тосны, Тихвинки, Полы, среднего течения Ловати и Волхова, озер Чудско-Псковского и Ильменя, что на 9-21 дней раньше нормы. Очистились ото льда реки Псковской области Шелонь, Уверь, Холова, на 15-25 дней раньше нормы. В конце марта – начале апреля вскрылись нижнее течение рек Невы и Ловати, верхнего и среднего Свири, участками Мсты, на 7-22 дня раньше; очистились ото льда реки запада Новгородской области, что на 11-15 дней раньше нормы.

В конце второй – третьей декадах марта на 7-15 дней раньше нормы вскрылись Днепр выше Смоленска, Западная Двина выше Витебска, Верхняя Волга, Ока от Каширы до устья р. Москвы, р. Москва выше г. Москвы, Хопер.

В конце марта - начале апреля вскрылись ото льда реки Самарской, Ульяновской и большинство рек Саратовской областей в сроки близкие к норме и на 4-6 дней раньше. Лишь во второй декаде марта на 10-22 дня раньше нормы ледоход начался на реках Чагра Самарской области, Большой Камраман, Терешка, Алай Саратовской области.

Аномально высокие температуры воздуха марта способствовали раннему, дружному вскрытию рек южной половины Приморского края, здесь вскрытие прошло преимущественно в третьей декаде марта. Так, на 8-17 дней раньше средних многолетних значений, вскрылись верховья р. Уссури (отдельные участки), р. Малиновка в среднем течении, реки Артемовка, Шкотовка, Раздольная. Экстремально ранее вскрытие отмечалось на оз. Ханка, озеро вскрылось в период 24-25 марта, на 19-20 дней раньше нормы и до 7 дней раньше самых ранних за весь период наблюдений. Однако, в связи со значительным понижением температур воздуха в апреле, далее процесс вскрытия приобрел постепенный характер. На реках северной половины края основной процесс вскрытия отмечался в первой половине апреля, преимущественно близко к средним многолетним срокам. Заторных явлений при вскрытии не наблюдалось.

В первой декаде апреля вскрылись реки Оша, Большой Аев (Омская область), Ишим (частично), Тобол (частично), Исеть, Тура, Пышма (Тюменская область) что на 5-12 дней раньше среднемноголетних дат; Большая Воровская (Камчатский край) - в сроки близкие к норме. Произошло вскрытие участками рек Алтайского края и юга Кемеровской области, что на 6-14 дней раньше средних многолетних сроков. В сроки близкие к экстремально ранним значениям (повторяемость 1 раз в 60 лет) начался ледоход на р. Мрас-Су в районе г. Мыски Кемеровской области на 14 дней раньше нормы.

В Нижегородской области разрушение льда на малых реках началось в последней пятидневке марта и продолжилось в первой декаде апреля, в основном раньше средних сроков на 1-2 недели; вскрытие в нижнем течении Оки и Ветлуги произошло от 6-11 дней раньше обычного. В первой половине апреля реки республик Мордовия, Марий Эл, Удмурская и Чувашская вскрылись и освободились ото льда в сроки близкие и до 2-9 дней раньше средних многолетних, в основном лед растаял на месте. В Удмурской Республики на 3 недели раньше обычного и в сроки близкие к ранним значениям, в результате изменения режима сбросов воды выше расположенного Воткинского водохранилища, начался ледоход на Каме у г. Сарапул.

В первой половине апреля в Республики Татарстан раньше многолетних сроков на 4–11 дней начался весенний ледоход на реках Анзирка, Малый Черемшан, Шешма и Милля. Вскрытие р. Кубня у с. Чутеево сопровождалось образованием затора льда. Отдельные водотоки (Меша, Анзирка, Актай, Кичуй, Степной Зай) полностью освободились ото льда. Весенний дрейф льда и очищение ото льда на Куйбышевском водохранилище произошло в сроки раньше многолетних дат на 1–10 дня. Вскрытие и очищение ото льда Нижнекамского водохранилища произошло на 5-13 дней раньше средних многолетних дат.

В конце марта – начале апреля, на 2 недели раньше обычного и в сроки близкие к ранним, начали освобождаться ото льда малые реки Кировской области – Суна, Уржумка, Святица, Немда. Во второй декаде апреля вскрылась Вятка в среднем и нижнем течении, Чепца в нижнем течении, реки Филипповка, Великая, Быстрица, Пижма, Ярань, Воя, Кильмезь, Лобань, а также Юг и Большая Кокшага. В третьей декаде апреля ледоход начался в верховьях Камы и Вятки, на ее северных притоках Черной и Белой Холунице, Кобре, Летке. Реки Кобра Ярань, Б.Кокшага, Летка, Белая Холуница и верхняя Кама вскрылись в сроки близкие к средним многолетним, остальные реки – на 3-7 дней раньше обычного. При вскрытии на некоторых реках наблюдались заторы льда.

В первой половине апреля вскрылось большинство рек Свердловской области (за исключением рек горных районов), что около и раньше нормы - до 11 дней, местами вскрытие сопровождалось образованием заторов льда.

Во второй декаде апреля на 2-12 дней раньше нормы вскрылись Кострома, Ветлуга выше Ветлуги, Вятка, Обь ниже Новосибирского водохранилища до Колпашево, Иртыш на участке Черлак – Омск, Тура, Тавда; очистились ото льда Саратовское, Волгоградское и Нижнекамское водохранилища.

Вскрытие большинства рек Приамурья проходило во второй половине апреля, что близко к средним многолетним значениям и до 9 дней раньше, к концу апреля очистились ото льда реки южных и частично центральных районов. Процесс вскрытия рек закончился во второй декаде мая в сроки близкие к обычным, на 1-3 дня раньше. На отдельных участках рек Амур, Зея, Арги, Мульмуга, Бурей, Бикие при вскрытии наблюдались неопасные заторы льда.

В третьей декаде апреля вскрылись реки севера южных и большинство рек центральных районов Сахалинской области в сроки близкие к норме и раньше на 3-5 дней. Вскрылись притоки реки Поронай и реки северных районов острова раньше нормы на 5-10 дней, река Макарова – в сроки близкие к норме. Затвор льда без достижения неблагоприятной отметки наблюдался на р. Лютога у п. Огоньки.

Около нормы и до 12 дней раньше нормы, в третьей декаде апреля, вскрылись Северная Двина, Пинега, Печора выше Усть-Шугора, Верхняя Кама, Обь от Колпашево до Александровского, Иртыш ниже Тобольска, Амгунь. Очистились ото льда Рыбинское, Шекснинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское и Воткинское водохранилища. В это же время на 2-5 дней позже нормы вскрылись Шилка, Аргунь и Зея и на 13 дней раньше вскрылся Енисей на участке Назимово - Ярцево.

В конце третьей декады апреля и в первой декаде мая в сроки близкие к норме вскрылись Мезень, Обь от Александровского до Сургута, Енисей на участке Ярцево –

Ворогово, Лена от Качуга до Витима, Киренга. Очистилось ото льда Камское водохранилище, что на 3 дня раньше нормы. В это же время на 8 дней раньше нормы вскрылась Обь от Сургута до Октябрьского и очистился ото льда Беломорско-Балтийский канал (водораздел).

В конце апреля завершился процесс вскрытия рек южной половины Камчатского края. На 2-6 дней раньше нормы вскрылась р. Камчатка в нижнем течении. На 9-11 дней раньше среднемноголетних значений вскрылись реки Тигильского района. На 17 дней раньше в экстремально ранние сроки вскрылась р. Апука Олюторского района.

Ледоход на реках Мурманской области прошел в конце апреля – начале мая, преимущественно на 5-15 дней раньше нормы. Во второй – третьей декаде мая вскрылись и очистились ото льда озера и водохранилища области, раньше нормы на 5-20 дней. С 31 мая на Серебрянском водохранилище наблюдался дрейф льда. 2 июня оно очистилось ото льда, раньше нормы на две недели. Заторные явления наблюдались на р. Варзуга у с. Варзуга.

Вскрытие рек Магаданской области произошло в первой декаде мая, что на 7-11 дней раньше среднемноголетних сроков. На 1-9 дней раньше нормы, во второй декаде мая, вскрылись Печора ниже Усть-Щугора, Обь от Октябрьского до Салехарда, Лена от Витима до Сангар, Алдан, Вилуй, Колыма до Среднеколымска. В это же время на 5 дней позже нормы вскрылся Витим и на 1 день позже нормы – Енисей на участке Ворогово – Верхнеимбатское. Произошло вскрытие рек Чукотского автономного округа в третьей декаде мая в основном в сроки близкие к норме и участками на реках Анадырь, Энмываам и М.Ануй – на 2-4 дня раньше.

В третьей декаде мая вскрылись Лена ниже Сангар, Индигирка на участке Усть-Мома – Воронцово, Колыма на участке Среднеколымск – Черский на 1-5 дней раньше нормы; вскрылся Енисей от Верхнеимбатского до Игарки – на 2-5 дней позже нормы. Вскрытие рек Республики Саха произошло в основном в мае, в сроки близкие к норме или на 1-9 суток раньше нормы.

В конце мая и в первой декаде июня вскрылись Енисей от Игарки до Усть-Порта, Яна, что на 1-2 дня позже нормы; также Индигирка на участке Воронцово – Чокурдах – на 3 дня раньше нормы. В первых числах июня очистилось ото льда Зейское водохранилище (Амурская область). В июне вскрылись и очистились ото льда реки Таз, Щучья и Тазовская Губа (Ямало-Ненецкий автономный округ). В это же время большинство рек Чукотского автономного округа очистилось ото льда.

Вскрытие отдельных участков рек Ока, Мокша, Клязьма, Ветлуга (бассейн Волги), Вишера, Кондас, Нугуш, Ай (бассейн Камы), Чепца, Пижма (притоки Вятки), Обь с притоками (Чарыш, Томь, Мрас-Су, Тым), Ишим, Уй (бассейн Иртыша), а также устьевых участков Енисея и Лены сопровождалось формированием заторов льда.

Появление льда на реках и установление ледостава на водохранилищах осенью 2019 года.

Осенью 2019 года на реках центрального района, а также запада, юга и юго-запада европейской части России в связи с аномально теплой погодой ледообразование являлось затяжным и проходит прерывисто.

В первой декаде ноября на 3-11 дней позже нормы ледообразование началось на Северной Двине, Сухоне, Вычегде, Верхней Каме, Вятке выше Котельнича, Оби на участке Колпашево – Мужы, Иртыше ниже Омска, Тоболе, Туре, Тавде, Енисее у Кызыла, Амуре от Кумары до Хабаровска, Зеи ниже Мазаново. На 2-3 дня позже нормы лед появился на Амуре ниже Хабаровска и установился ледостав на Камском водохранилище выше Усть-Гаревой.

На 5 дней раньше нормы установился ледостав на Беломорско - Балтийском канале.

Во второй декаде ноября на 4-12 дней позже нормы ледообразование началось на Оби выше Камня – на - Оби и на участке Новосибирск - Колпашево и установился ледостав на водохранилищах Воткинском и Камском ниже Усть-Гаревой.

В третьей декаде ноября и начале декабря около нормы и до 6 дней позже нормы ледообразование началось на Оке, Москве-реке, Западной Двине, Десне и установился ледостав на Горьковском, Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах. В этот же период на 6-11 дней позже нормы лед появился на Верхней и Средней Волге, на Верхнем Дону, Суре и установился ледостав на Рыбинском, Нижнекамском и Шекснинском водохранилищах. На 15-20 дней позже нормы ледообразование началось на Белой, Костроме, Унже и Ветлуге.

Около нормы и до 4 дней раньше нормы ледообразование началось на Среднем Дону и Днепре.

Во второй декаде декабря на 10-12 дней позже нормы установился ледостав на Саратовском и Волгоградском водохранилищах.

5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области (СПО) ведется как для области в целом, так и для отдельных ее частей (рис. 5.1) на основе постоянно пополняемой базы приземных метеорологических данных для полярных районов (<http://www.aari.nw.ru>).

Ниже приводятся оценки изменения температуры воздуха и количества осадков СПО за период 1936–2019 гг. Исходными данными послужили данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев Международной программы арктических буёв (МПАБ).

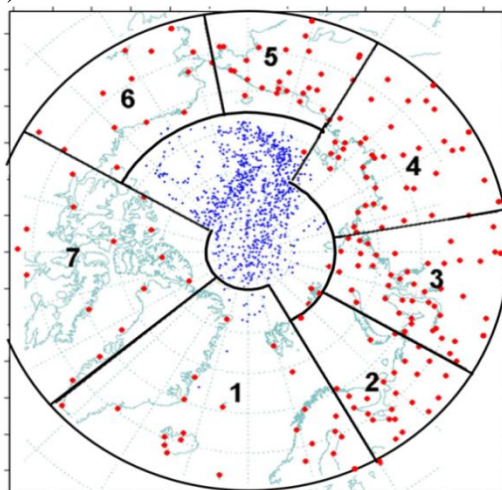


Рисунок 5.1 – Положение метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) в СПО и границы рассматриваемых районов:
1 – Атлантический
2 – Североевропейский
3 – Западносибирский
4 – Восточносибирский;
5 – Чукотский
6 – Аляскинский
7 – Канадский

Температура воздуха. Для расчета аномалий температуры воздуха, осредненных по территории СПО и территориям климатических районов использован метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены относительно рекомендованного ВМО стандартного базового периода 1961-1990 гг. В качестве сезонов рассматривались: зима (декабрь-февраль), весна (март-май), лето (июнь-август) и осень (сентябрь-ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь рассматриваемого.

Оценка аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2019 г. по отдельным широтным зонам (70–85, 60–70 и 60–85° с.ш.) представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Аномалии температуры воздуха в 2019 г., осредненные по территории СПО и по широтным зонам, в среднем за год (декабрь 2018 - ноябрь 2019) и за сезоны: ΔT , °C – отклонения от средних за 1961-1990; R – ранг в ряду убывающих температур за 1936-2019 гг.

Широтная зона, °с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R
70-85	3.4	2	3.5	4	4.1	1	1.9	2	4.0	2
60-70	2.4	2	2.6	4	3.6	1	1.6	2	2.0	4
60-85	2.8	2	3.0	4	3.8	1	1.7	2	2.9	2

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО составило 2.8°C, и 2019 г. стал вторым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70-85° с.ш. оказалась равной 3.4°C, а в зоне 60-70° с.ш. – 2.4°C. Эти значения стали также вторыми в ряду убывающих температур.

Пространственное распределение аномалий среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на территории СПО приведено на рис. 2. Числовые значения регионально осредненных аномалий температуры, наблюдавшихся в 2019 году, по отдельным климатическим районам СПО приведены в табл. 5.2. Более подробные данные для северных и южных частей районов см. на сайте <http://www.aari.ru/main.php>

Можно видеть, что в 2019 г. году области крупных положительных аномалий температуры располагались преимущественно в восточной части евразийского сектора и в западной части североамериканского сектора. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Восточносибирского и Аляскинского районов. Значения пространственно осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно 3.6 и 4.3 °C. Это соответствует первому значению по рангу теплых лет за период 1936 г.

Временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов широтной зоны 60-85° с.ш. и их линейные тренды за весь период с 1936 года, за последние тридцать и десять лет, представлены на рис. 5.3, а для районов арктических морей (70-85° с.ш.) – на рис. 5.4.

Характеристики линейного тренда, оцененные по этим рядам за 1936-2019 гг., приведены в табл. 5.3.

В течение 1936-2019 гг. наблюдается статистически значимый (на 5-% уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для широтных зон 60-70 и 70-85° с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 84 года составило соответственно 1.60, 1.85 и 1.68 °C. Для отдельных климатических районов значимый тренд в среднегодовой температуре воздуха прослеживается во всех районах. Потепление за 84 года составляет в районах от 1.34 до 2.,52 °C.

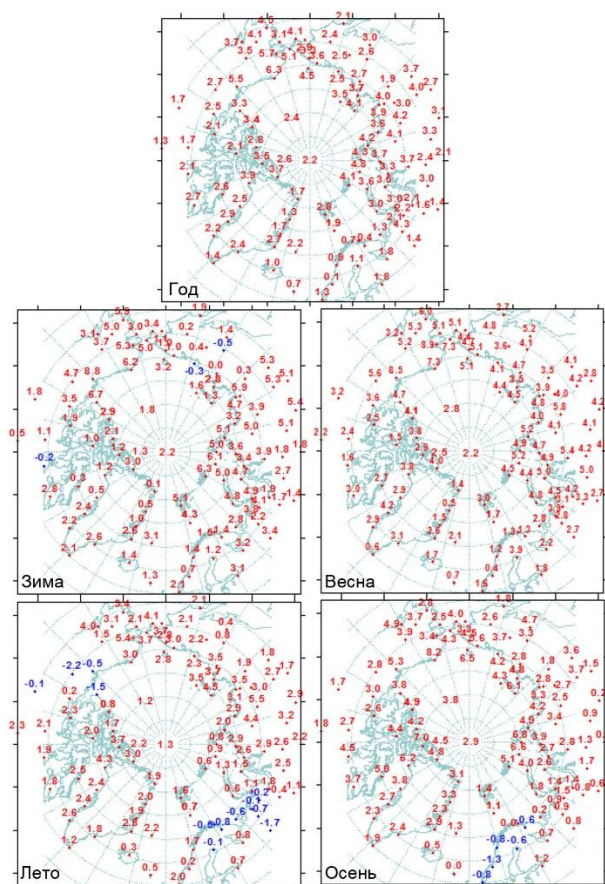


Рисунок 5.2 – Аномалии среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на станциях СПО, °C.

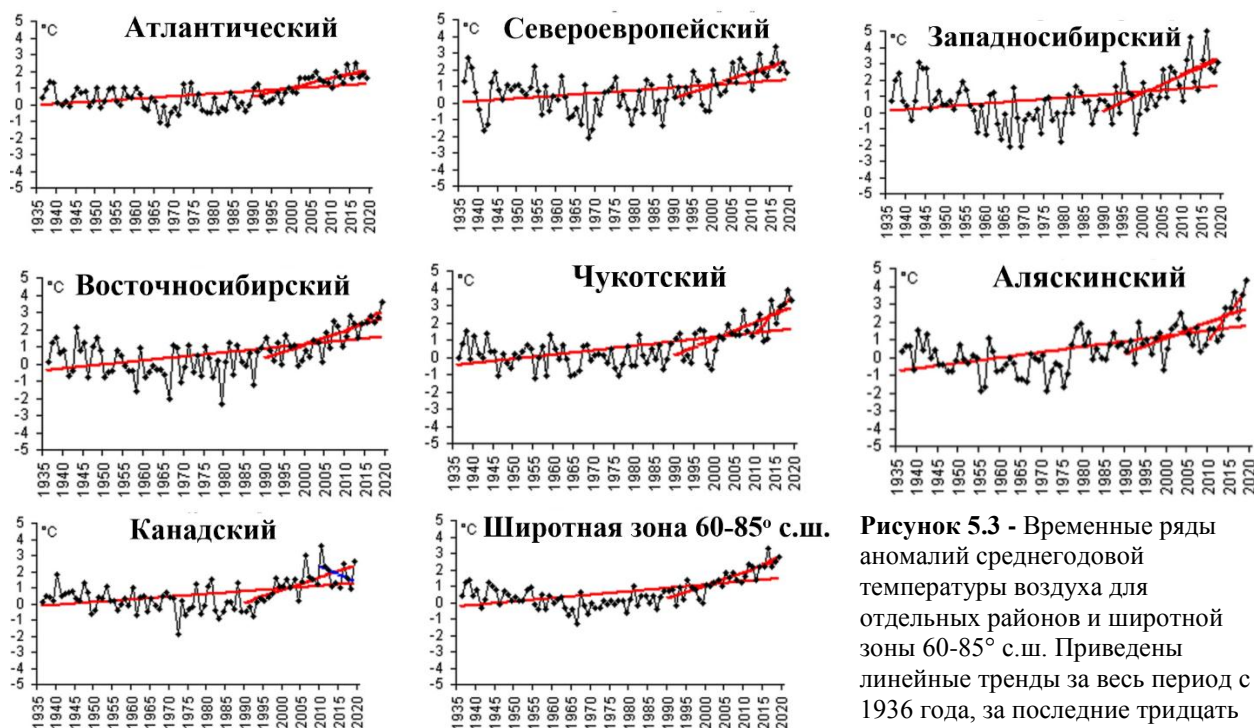


Рисунок 5.3 - Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60-85° с.ш. Приведены линейные тренды за весь период с 1936 года, за последние тридцать и десять лет.

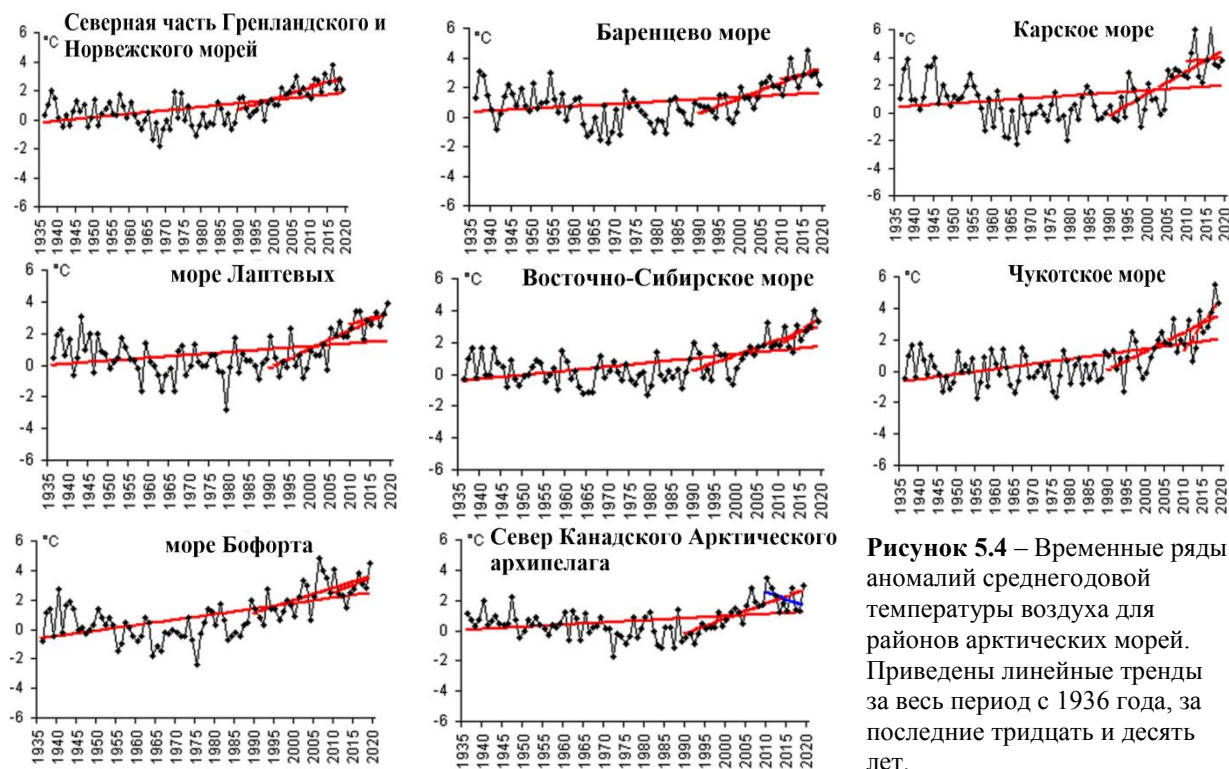


Рисунок 5.4 – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей. Приведены линейные тренды за весь период с 1936 года, за последние тридцать и десять лет.

В течение последних тридцати лет (1990-2019 гг.) температура росла во всех регионах СПО. В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры составил около 2,43 °C за 30 лет (или 0,81 °C/10 лет).

В районах арктических морей в течение 1936-2019 гг. всюду знак тренда положительный. В последнем 30-ти летнем периоде потепление в районах морей составило от 2,31 °C (северная часть Гренландского и Норвежского морей) до 4,74 °C (Карское море).

Таблица 5.2 – Аномалии температуры воздуха в 2019 г. (отклонение от нормы за 1961-1990 гг.) для отдельных районов СПО (в среднем за год и сезоны), °С

Климатический район СПО	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>ΔT</i>	<i>R</i>	<i>ΔT</i>	<i>R</i>	<i>ΔT</i>	<i>R</i>	<i>ΔT</i>	<i>R</i>	<i>ΔT</i>	<i>R</i>
Атлантический	1.6	6	2.0	13	1.6	8	1.5	3	1.2	11
Североевропейский	1.8	10	3.2	16	2.8	7	0.0	20	1.0	18
Западносибирский	3.1	4	3.4	14	4.5	6	1.7	4	2.6	8
Восточносибирский	3.6	1	4.1	2	4.2	4	2.9	1	3.1	4
Чукотский	3.3	2	1.5	16	4.8	2	2.7	2	4.0	5
Аляскинский	4.3	1	5.1	4	5.8	1	1.9	2	4.3	1
Канадский район	2.6	3	1.8	13	3.2	3	1.7	5	3.8	1
Канадский район (северная часть)	3.0	2	1.6	15	3.3	4	2.3	2	4.8	1
Гренландское и Норвежское моря (северная часть)	2.1	9	2.4	16	1.8	10	1.9	4	2.2	9
Баренцево море	2.2	11	3.9	16	3.0	7	0.2	18	1.6	15
Карское море	3.8	6	4.7	15	4.8	8	1.6	6	4.0	10
Море Лаптевых	3.9	1	3.4	7	4.4	7	3.2	1	4.7	3
Восточно-Сибирское море	3.3	2	1.4	15	4.4	4	3.1	2	4.5	5
Чукотское море	4.3	2	3.1	9	5.7	1	3.2	2	5.1	3
Море Бофорта	4.5	1	6.2	2	6.2	1	0.2	19	5.5	2

Таблица 5.3 – Коэффициенты линейного тренда средней за сезон и за год (декабрь-ноябрь) температуры воздуха за период 1936-2019 гг. по регионам СПО; *b*, °С/10 лет – коэффициент линейного тренда, *D%* – вклад тренда в дисперсию

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>
Широтные зоны										
70-85 °с.ш.	0.23	36.1	0.28	52.9	0.14	55.3	0.21	38.3	0.22	49.8
60-70 °с.ш.	0.23	45.4	0.25	54.9	0.15	61.8	0.14	39.6	0.19	60.2
60-85°с.ш.	0.24	45.5	0.26	55.3	0.14	58.7	0.17	42.0	0.20	56.7
Районы СПО										
Атлантический	0.23	40.7	0.16	43.7	0.12	46.0	0.12	32.8	0.16	47.2
Североевропейский	0.15	14.1	0.30	44.8	0.10	25.8	0.10	19.2	0.16	34.0
Западносибирский	0.13	11.4	0.34	37.8	0.13	35.5	0.12	16.4	0.18	31.5
Восточносибирский	0.26	33.2	0.36	47.0	0.15	41.9	0.17	25.0	0.24	49.6
Чукотский	0.18	24.3	0.32	44.8	0.21	58.4	0.31	46.1	0.26	56.0
Аляскинский	0.46	49.8	0.31	39.4	0.18	54.3	0.23	33.8	0.30	60.2
Канадский	0.25	34.3	0.10	17.7	0.12	42.1	0.21	40.3	0.17	43.7
Моря как часть климатического района										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0.32	37.4	0.25	48.2	0.19	61.7	0.19	36.7	0.24	52.2
Баренцево море	0.11	10.7	0.26	39.1	0.10	28.2	0.14	23.6	0.15	28.9
Карское море	0.12	8.8	0.35	36.8	0.10	28.0	0.18	19.5	0.19	26.3
Море Лаптевых	0.12	15.8	0.30	39.3	0.13	34.1	0.16	20.5	0.18	13.0
Восточно-Сибирское море	0.24	35.6	0.32	42.8	0.19	48.7	0.29	39.7	0.26	54.2
Чукотское море	0.37	38.2	0.36	41.9	0.22	55.1	0.33	46.9	0.32	55.9
Море Бофорта	0.53	57.7	0.25	42.7	0.13	40.3	0.30	45.8	0.30	60.0
Северная часть Канадского района	0.19	23.4	0.10	15.6	0.08	22.1	0.21	38.8	0.15	34.6

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, статистически значимые на уровне значимости 5%.

Атмосферные осадки. Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За холодный сезон принимается период с октября по май, а за теплый – с июня по сентябрь. В табл. 5.4 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2018/19 г. для СПО и для отдельных климатических районов. На рис. 5.5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей.

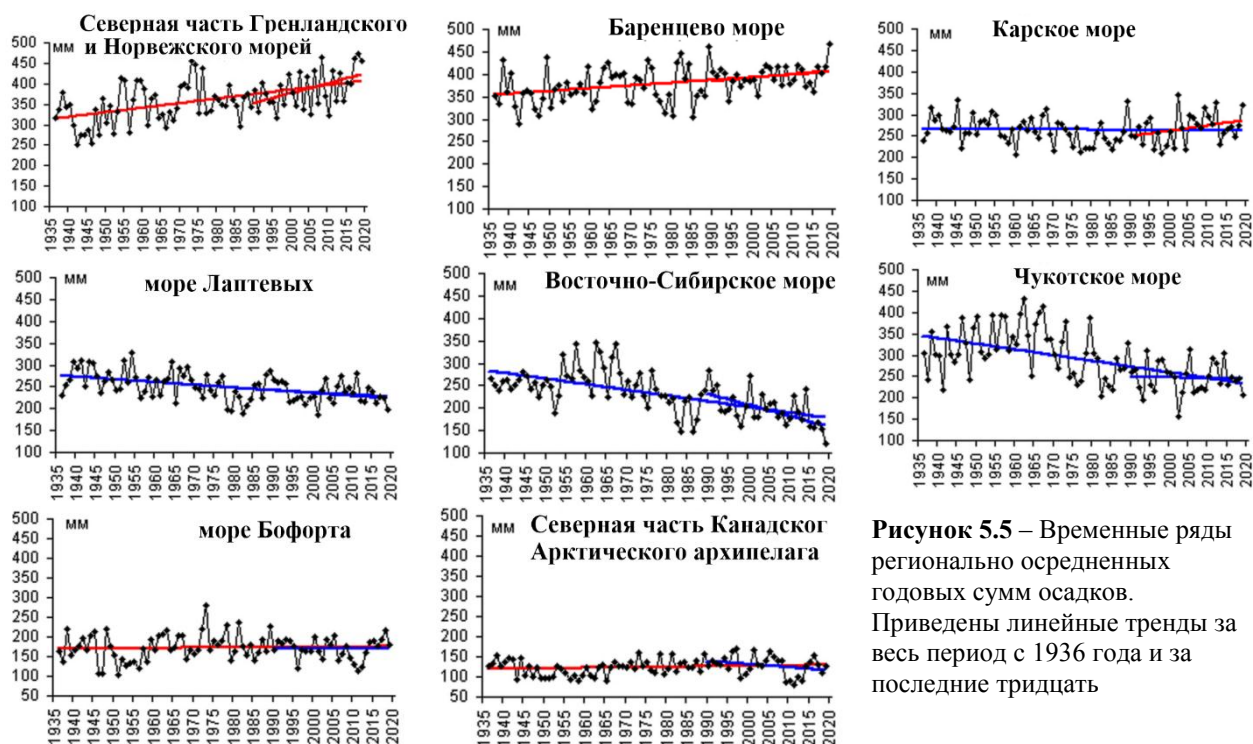


Рисунок 5.5 – Временные ряды регионально осредненных годовых сумм осадков. Приведены линейные тренды за весь период с 1936 года и за последние тридцать

Таблица 5.4 – Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков в 2018/19 г. (в % от нормы 1961-1990 гг.)

Район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	84.3	98.0	88.5
Североевропейский	119.5	104.5	113.0
Западносибирский	127.7	112.3	120.3
Восточносибирский	92.2	81.7	86.6
Чукотский	90.9	81.1	86.6
Аляскинский	119.7	113.1	116.1
Канадский	80.3	111.6	96.5
70-85° с.ш.	115.9	103.2	110.2
60-70° с.ш.	99.0	102.6	100.6
60-85° с.ш.	99.4	100.6	99.9

В целом для СПО в 2018/19 г. годовая сумма осадков была около нормы.

В отдельных районах самое малое количество осадков за год выпало в Атлантическом (на 11.5 % ниже нормы) и наибольшее – в Западносибирском (на 20.3 % выше нормы).

В табл. 5.5 представлены оценки трендов в изменении сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2019 г. по северным (70–85° с.ш.), южным (60–70° с.ш.) частям климатических районов, а также для районов в целом.

В многолетних изменениях годовых сумм осадков за период 1936-2019 гг. в СПО наблюдается тенденция их статистически значимого их увеличения со средней скоростью около 3 мм/10 лет. При этом рост осадков преимущественно отмечается в канадско-европейском секторе, включая Атлантику, и, в основном, в холодный период года.

Тенденция к убыванию осадков уверенно обнаруживается в Чукотском районе и в районах арктических морей азиатского сектора СПО в течение всего года. Более всего рост осадков выражен в южной части Североевропейского района (14.0 мм/10 лет для осадков холодного периода и 17.6 мм/10 лет для годовых сумм), а уменьшение – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях (13.1 и 13.6 мм/10 лет для годовых сумм осадков).

В заключение отметим, что результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

Таблица 5.5 – Оценки линейного тренда регионально осредненных сезонных и годовых сумм осадков за период 1936-2019 гг.; *b*, мм/10 лет – коэффициент линейного тренда, *D*, % – вклад тренда в полную дисперсию

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	5.25	13.1	-0.76	6.3	4.49	11.0
Североевропейский (южная часть)	13.97	69.5	2.58	21.7	16.55	65.2
Западносибирский (южная часть)	8.99	62.0	-0.80	6.6	8.19	31.9
Восточносибирский (южная часть)	2.40	37.4	-0.57	7.9	1.83	17.9
Чукотский (южная часть)	0.21	1.4	-0.28	2.8	-0.07	3.7
Аляскинский (южная часть)	3.53	23.7	-0.59	3.8	2.94	11.4
Канадский (южная часть)	-0.49	6.8	2.13	31.0	1.64	24.2
60-70°с.ш.	5.03	47.3	0.27	6.0	5.30	43.9
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	10.24	55.7	0.84	8.2	10.08	52.8
Баренцево море	6.89	59.7	-0.50	4.7	6.39	39.6
Карское море	0.45	5.5	-0.74	8.1	-0.29	2.2
Море Лаптевых	-3.06	40.3	-3.32	34.4	-6.38	48.8
Восточно-Сибирское море	-7.31	58.4	-5.75	49.3	-13.06	68.2
Чукотское море	-8.89	54.0	-4.73	34.0	-13.62	54.0
Море Бофорта	-0.70	7.3	1.43	18.6	0.73	4.9
Канадский (северная часть)	0.41	7.3	0.61	11.1	1.02	14.0
70-85°с.ш.	1.69	33.8	-0.79	18.7	0.90	10.9
Атлантический	6.95	24.7	-0.36	4.1	6.59	21.8
Североевропейский	11.11	75.5	1.13	13.0	12.24	67.2
Западносибирский	5.39	59.0	-0.95	11.9	4.44	30.4
Восточносибирский	0.31	6.2	-1.39	21.8	-1.08	15.1
Чукотский	-2.79	23.2	-2.03	23.6	-4.62	34.4
Аляскинский	1.90	16.1	-1.60	12.4	0.30	3.7
Канадский	-0.14	2.5	1.46	30.7	1.32	23.8
60-85°с.ш.	3.30	46.1	-0.51	14.6	2.79	35.3

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, статистически значимые на уровне значимости 5%.

Морская Арктика

Температура воздуха. Приповерхностная температура воздуха (ПТВ) зимой 2019 года в морской Арктике (область распространения морского льда (рис. 6.б)) составила -20.5°C (рис. 6.а) и заняла 6-е место в ряду зимних ПТВ (первое -18.5°C в 2016 году). Летом (рис. 6.в) ПТВ +5.9°C оказалась на уровне самых высоких ПТВ (в 2012, 2016 и 2019 гг.). Средняя за год ПТВ в 2019 году равна -7.8°C и занимает 2-е место в ряду «теплых» лет после 2016 года (-7.2°C).

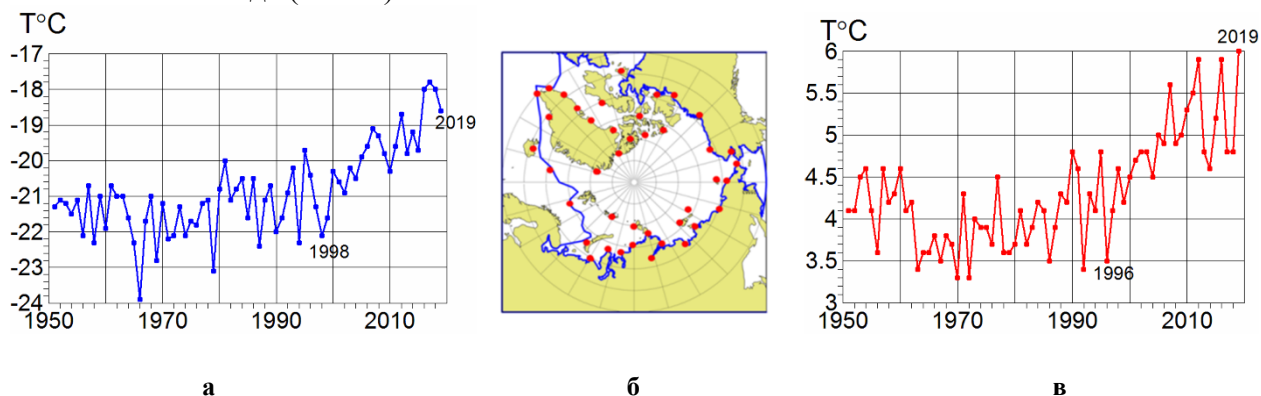


Рисунок 5.6 – Средняя за декабрь-февраль (а) и за июнь-август (б) приповерхностная температура воздуха на 41 станции в морской Арктике (б) в 1951–2019 гг.

Морские льды. По данным ААНИИ (<http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/north/extent/arctic/>) минимальная среднемесячная площадь, занятая морским льдом в середине сентября 2019 года составила 4.10 млн. кв. км, что является третьим после абсолютного минимума 2012 года (3.35 млн. кв. км) и после минимума 2016 года (4.099 млн. кв. км) (рис. 5.7). Аналогичные оценки Национального центра данных по снегу и льду (США, NSIDC, <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>) составляют 4.14 и 4.15 млн. кв. км, соответственно. В сентябре 2016 и 2019 гг.

Средняя площадь, занятая морским льдом в сентябре 2019 года (4.32 млн. кв. км) оказалась второй в ряду минимальных значений после 2012 года (3.58 млн. кв. км).

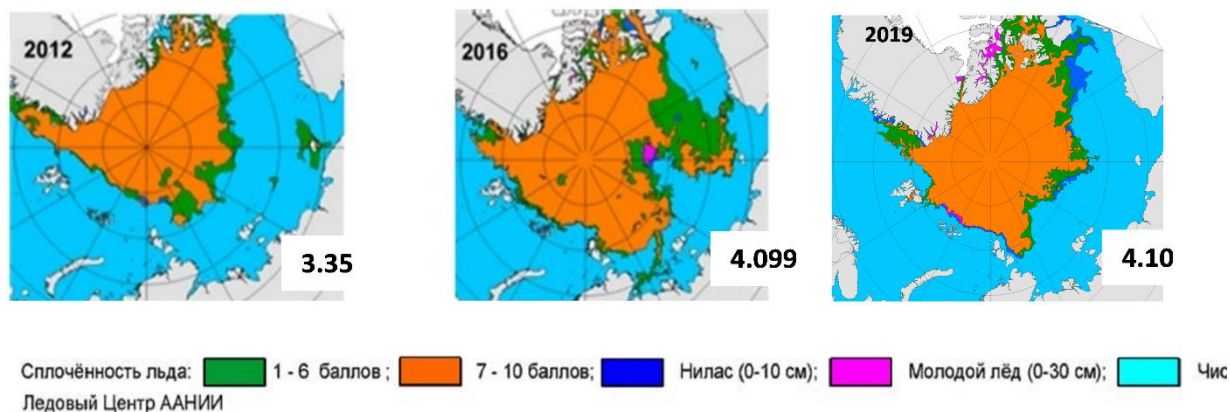
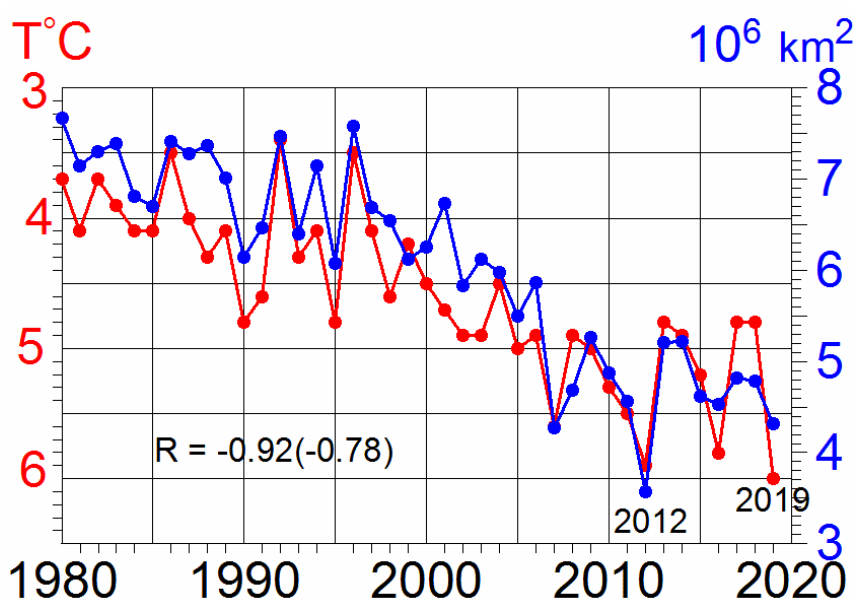


Рисунок 5.7 – Морской ледяной покров Арктики в середине сентября 2012–2019 гг.



Сокращение площади, занятой льдом в сентябре, находится в тесном соответствии с ростом летней температуры воздуха в морской Арктике (коэффициент корреляции между ними равен -0.92 за 1979-2019 гг. (рис. 5.8).

Рисунок 5.8 – Средняя сентябрьская площадь, занятая морским льдом, (по данным <http://wdc.aari.ru>) и летняя (июнь-август) приповерхностная температура воздуха в морской Арктике. R – коэффициент корреляции, в скобках – то же для отклонений от полиномиального (3й степени) тренда.

Акватория Северного морского пути. В связи с возрастающим вниманием к изменениям климата на акваториях Северного Ледовитого океана, через которые проходят трассы Северного морского пути (СМП), ниже представлены характеристики климата и ледовых условий в этом районе морской Арктики. Изменения средних зимней и летней температур воздуха на акватории арктических морей, по которым проходит трасса СМП, представлены на рис. 5.10, а морской ледяной покров в конце лета на рис. 5.9

Видно, что потепление в этом районе морской Арктики (рис. 5.10) началось в 1996 году летом и в 1998 году зимой. Средняя за год ПТВ в 2019 году равна -8.4°C (6-е

значение в ряду «теплых» лет, рекорд -7.3°C в 2016 году). Зимняя ПТВ в 2019 году -19.4°C (3-е значение в ряду «теплых» зим. Рекорд -18.4°C в 2012 году). Летом ПТВ в 2019 году оказалась второй (5°C) после лета 2016 года ($+5.1^{\circ}\text{C}$).

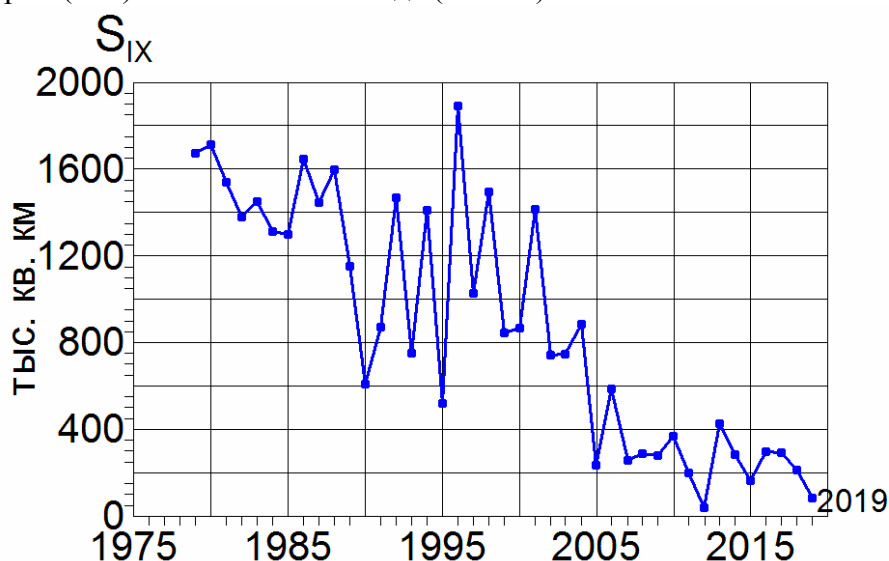


Рисунок 5.9 – Площадь, занятая морским льдом в сентябре в Сибирских арктических морях (моря Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) по данным отдела ледовых прогнозов ААНИИ

Морской ледяной покров в арктических морях в конце лета быстро сокращался, начиная с 2001 года, уменьшившись к 2005 году до 300 тыс. кв. км. В последние 15 лет его площадь в сентябре колеблется около 200-300 тыс. кв. км, что в 4-5 раз меньше, чем в 1980-х гг. (рис. 5.9).

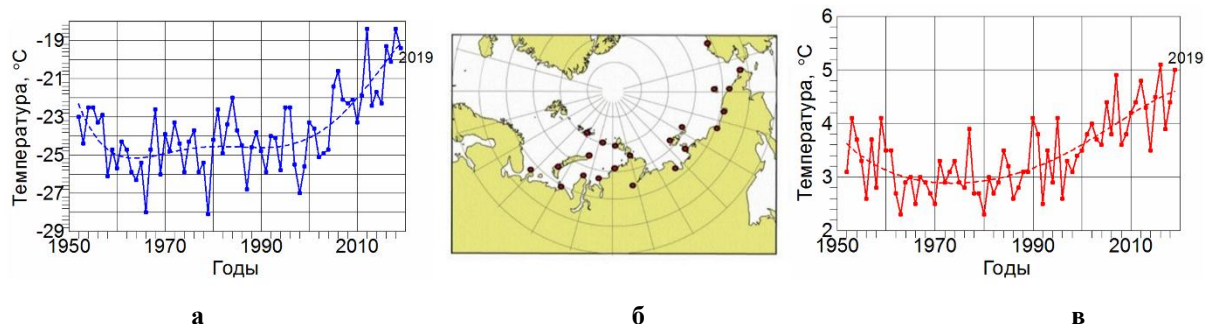


Рисунок 5.10 - Средняя температура воздуха зимой (а) и летом (в) на акватории арктических морей, по которым проходит трасса СМП по данным 22 метеорологических станций (б).

6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Мощность сезонно-талого слоя (СТС) является индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов (ММГ), отражающим метеорологические условия отдельных лет. Измерения мощности СТС проводятся по стандартизованной методике в рамках Международной программы мониторинга CALM (CircumPolarActive-LayerMonitoring), в

которой участвуют несколько десятков стран, в том числе и Россия. Программа работает с 1990 года, на территории РФ выбрано 68 площадок, однако количество площадок, с которых поступают данные о состоянии СТС, изменяется от года к году. Это связано с тем, что измерения на площадках в основном производятся по личной инициативе различных специалистов (геоморфологов, ботаников, геологов и др.), участвующих в полевых работах.

В 2019 году из 68 площадок CALM имеются данные только с 41-й площадки. Количество данных, поступивших из разных частей территории России в 2019 году, распределено следующим образом: на ЕЧР – 5 площадок, в Западной Сибири – 11, в Центральной Сибири – всего 4 площадки. На северо-востоке Сибири доступны данные измерений на 15 площадках, на Дальнем Востоке – с 6 площадок.

Карта расположения площадок и их географические координаты приведены в Докладах Росгидромета за предшествующие годы, а также доступны на интернет-портале: www.permafrost.su.

В Табл. 6.1 представлены данные о мощности СТС и его средних значениях за 15-ти летний период с 2005-2019 гг. Также приведены тренды СТС за период с начала наблюдений на каждой площадке отдельно, для двух периодов: 2005- 2018 гг. и с 2005 - 2019 гг. Сравнение трендов за два последних периода позволяет показать вклад данных за последний год наблюдений. Расчеты трендов проводились только для площадок, имеющих данные наблюдений не менее чем за 7 лет.

На севере ЕЧР измерения в 2019 году показали наиболее значительное увеличение глубины СТС (на 6 см по сравнению с прошлым годом) только на площадке R23 (Тальник). На мысе Болванском, в дельте р. Печора (R24), где в прошлом году отмечалось максимальное увеличение СТС (на 22 см), в 2019 году глубина СТС уменьшилась только на 6 см. На остальных площадках Большеземельской тундры изменение СТС в 2019 году по сравнению с 2018 годом было незначительное, в пределах 1-2 см.

На 3 площадках из 11, расположенных в Западной Сибири, отмечается уменьшение мощности СТС: относительно незначительное (на 2 см) в районе Надыма (R1) и на 8 см в районе Уренгойского месторождения (R50A). Таким образом, по сравнению с 2018 годом, в 2019 году мощность СТС на этих площадках значительно уменьшилась. В 2018 году в районе Уренгойского газового месторождения (R50A) отмечалось максимальное за весь период наблюдений увеличение СТС (на 44 см). Уменьшилась глубина протаивания и в районе Надыма, в 2018 году она составляла 30 см, по сравнению с 2 см в 2019 году. На остальных площадках наблюдается небольшое увеличение мощности СТС: на полуострове Ямал увеличение СТС 6-8 см имело место на площадках R5A, R5B, R5D (Васькина Дача) и на 14 см на площадке R3 (район Маресале). На Полярном Урале увеличение СТС составило 11 см (R53), относительно небольшое увеличение СТС отмечается на двух площадках острова Белый (на 1-2 см).

Центральная Сибирь из 14 площадок CALM представлена данными только 4х площадок. По-прежнему, полностью отсутствуют данные для п-ва Таймыр (оз. Лабас и оз. Левинсон-Лессинга). Из 4х площадок, на которых проводились наблюдения в 2019 году, на трех отмечается увеличение мощности СТС от 4 до 9 см, на одной площадке Игарка (R40) имеет место уменьшение глубины СТС на 6 см. Данные площадки (R40) свидетельствуют о сохранении тенденции к уменьшению мощности СТС в этом районе, которая отмечалась уже в 2017 и 2018 годах. В 2019 году отсутствуют данные площадок, расположенных в дельте р. Лена (площадки R32 и R40). Данные из района Якутска (R42 и R43) показывают небольшое увеличение мощности СТС в 2019 году и сохранение тенденции к увеличению мощности СТС.

На территории северо-восточной Сибири мощность СТС в 2019 году изменялась в небольших пределах, её значения колебались от небольших положительных до небольших отрицательных значений, в пределах от -2 до +2 см. Исключение составляют площадки в районе озер Ахмело (R21) и Глухое (R19), где глубина сезонно-талого слоя увеличилась

соответственно на 4 и 9 см, а также площадка R20, где наблюдалось уменьшение СТС на 15 см. Все три площадки расположены в районе нижнего течения р. Колыма и характеризуют состояние СТС на побережье Восточно-Сибирского моря.

Таблица 6.1– Мощность СТС (см), средние значения за период 2005-2019 (СР, см) и тренды (см/10 лет) за период с начала наблюдений по 2018 г. (ТР1) и по 2019 г. (ТР2) на площадках CALM.

Код	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	СР	ТР1	ТР2
Европейский север																		
R2	81	84	89	87	86	89	88	91	93	91	90	92	80	85	86	81	12	11
R23	131	137	138	152	144	138	144	161	156		150	169	155	158	167	134	37	36
R24	115	114	125	124	112	104	107	>135	117	102	110	111	88	110	104	110	1	0
R24a						58	64	88	87	65	80	109	76	84	83	79	29	23
R52								46	52	53	56	60	53	54	54	54	12	8
Западная Сибирь																		
R1	141	129	129	136	101	114	129	134	136	164	163	186	148	178	176	139	18	20
R3	116	116	114	114	85	98	102	127	115	102	122	136	98	107	121	110	3	3
R5	97	94	92	93	76	87	87	102	103	95	102	114	102	94		93	6	
R5A			72	75	47	67	67	77	80	71	76	87	66	66	72	71	7	6
R5B			72	73	81	65	65	77	78	70	77	91	75	70	73	74	5	3
R5C			112	113	82	106	114	128	126	111	129	144	118	116	114	116	22	16
R5D										41	48	54	39	40	46	45		
R50A				84	65	77	72	87	70	76	85	74	69	111	103	45	14	20
R50B				84	65	80	82	95	92	84	93	96	93	101	102	81	23	23
R53												99	94	100	111	101		
R55					54	50	53	60	55	41	59	68	57	53	54	89	6	4
R55a					100	90	98	114	112	91	111	130	115	107	109	101	22	18
Центральная Сибирь																		
R29A/ R29C	33	35	44	38	28	38	39	33	26	35	34	29	30	38		33	0	
R29B	33	32	44	37	25	28	35	30	24	33	30	30	26	36		31	-1	
R32	81	91	90	94	94	94	96	104	86	95	102	84	106	104	113	96	11	13
R40				74	71	67	70	69	72	79	89	93		94	88	79	27	24
R42				203	199	197	201	201	201	203	201	201	203	201	205	201	2	3
R43				124	122	123	123	124	129	126	125	121	121	119	124	123	-3	-2
R51		50	46	52	54	42	56	57	55	46	51	53		54			3	
Северо-Восточная Сибирь																		
R13A	50	42	55	50	36	52	46	43	47		36	46	43	43	43	43	3	2
R13B	46	32	56	37	25	50	46	41	47		27	41	38	44	44	40	0	1
R14	47	44		40	46	49	47	46	42		48	41	49	47	49	44	3	3
R15A		30	60	38	28	48	32	30	30		31	33	31	30	32	35	-2	-2
R15B		44	54	44	39	45	54	46	43		44	41	39	40	41	43	2	2
R16	54	42	75	49	43	56	72	54	50	57	60	57	56	52	51	53	10	8
R17	54	53	60	49	47	56	61	53	55	64	55	57	55	70	55	54	7	6
R18	82	83	86	80	78	84	84	77	74	79	83	85	87	89	90	79	9	9
R18A	100	96	104	98	96	104	104	97	94	101	102	109	111	119		101	11	11
R19	95	93		92	92	103	94	83	89	95	101	112	79	89	98	87	14	14
R20	53	54	57	55	49	53	59	54	61	65	59	53	64	64	63	55	6	6
R21	113	101	117	100	96	110	105	92	96	108	96	111	85	97	101	97	8	8
R22	53		57	53	51	57	50	52	49	45	56	53	54	55	54	52	3	3
R25	55	45	65	43	42	65	60	41	41		39	42	43	49	48	46	5	4
R31	42	44	48	47	49	52	53	50	47	47	46	49	41	39			0	
R35			41	34	32	52	45	44	40	40	46	42	43	41	39	41	1	0
R36	38	37	43	43	41	31	35	34	44	38	38	42	43	44	43	39	4	4
R38C	80	81	84	79	78	82	79	72	66	75	75	72	75	74			-4	
Дальний Восток																		
R9	57	53	59	52	52	52	51	53	52	59	55	60	55	51	60	51	6	6
R11	62		67	61	60	53	57	54	57	60	58	64	60	65	61	56	6	6
R27	67	59	74	61	64	74	65	67	69		72	67	67	78	78	67	6	7
R41						47	47	47	51	56	55	56	55	59	66	54	16	19
R45						42	44	44	47	49	44	49	49	46	50	46	6	7
R30C		44	45	49	49	50	50	48	46		47	53	51	49	47	48	4	2

На Чукотке мощность СТС уменьшилась на площадке R11 (г. Дионисий), на других трех площадках наблюдалось увеличение мощности СТС от 4 до 9 см. Единственная площадка на Камчатке показала уменьшение СТС по сравнению с предыдущим годом на 2 см.

Сравнивая тренды СТС, рассчитанные за периоды от 2005 до 2018 и 2019 гг. (последние 2 столбца табл. 6.1), можно отметить следующие особенности. Условия 2019 года привели в основном к уменьшению трендов на Европейском севере России (на 1-6 см/10 лет), за исключением площадки Тальник, где тренд не изменился. Несмотря на некоторое замедление темпов роста СТС, на севере ЕТР наблюдается наибольшая

тенденция в изменении мощности СТС, максимальные значения тренда составляют 36 см/10 лет.

В Западной Сибири наблюдается некоторое уменьшение трендов СТС на 1-6 см за 10 лет, еще на двух площадках тренд остался неизменным по сравнению с прошлым годом. Наиболее существенное увеличение тренда, как и в прошлом году, наблюдается на площадке R50A в районе Уренгойского газового месторождения (на 6 см). Максимальные значения трендов на территории Западной Сибири достигают 22-23 см/10 лет.

На территории Центральной Сибири тренд в основном увеличился, изменения не превышали 3 см/10 лет, за исключением площадки в районе Игарки, где тренд уменьшился на 3 см/10 лет.

На северо-востоке Сибири условия 2019 года в основном не оказали существенного влияния на поведение трендов: на 4 площадках тренд уменьшился на 1-2 см, на одной площадке увеличился на 1 см, на оставшихся площадках тренды не изменились.

На Дальнем Востоке тренды по сравнению с предыдущим годом остались идентичными прошлогодним или незначительно увеличились на 1 см/10 лет, за исключением площадки Лорино (Чукотский п-ов), где изменения составили 3 см/10 лет. На Камчатке тренд на единственной площадке уменьшился на 2 см. В целом, значения тренда СТС уменьшаются при продвижении с запада на восток криолитозоны России.

На рис. 1 представлена карта расположения площадок с данными за 2019 год и средними значениями СТС (см) за период 2005-2019 гг.

Как видно из рис. 1, наибольшие значения СТС за период 2005-2019 гг. отмечаются на севере Большеземельской тундры и в северных районах Ямала-Ненецкого Автономного округа. Относительно небольшие значения СТС характерны для большей части полуострова Ямал и для о-ва Белый. Минимальная мощность СТС за этот период имела место на площадках в дельте р. Лена и на северо-востоке Чукотки. На южной границе сплошной мерзлоты, в районе Якутска (R42 и R43) мощность СТС за последние годы достигала больших значений за период наблюдений с 2005 года.



Рисунок 6.1 - Средние значения мощности сезонно-талого слоя (см) за период 2005-2019 гг. на территории криолитозоны РФ.

Анализ современных данных о состоянии СТС показывает, что более чем на половине площадок (63%) значения СТС в 2019 г. превышают средние многолетние. Несмотря на некоторое снижение темпов роста мощности СТС в 2019 году, тренды практически на всех площадках (35 из 39 площадок с наблюдениями продолжительностью более 7 лет) сохраняют положительные значения, что свидетельствует об устойчивой

тенденции увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в 21 веке. Все фактические данные наблюдений представлены на сайте: www.permafrost.su.

Выводы

В 2019 году из 68 площадок CALM поступили данные с 41-й площадки. Количество данных, поступивших из разных районов РФ в 2019 году, распределено следующим образом: на Европейской территории России (ЕЧР) – 5 площадок, в Западной Сибири – 11, в Центральной Сибири – всего 4 площадки. На северо-востоке Сибири доступны данные измерений на 15 площадках, на Дальнем Востоке – с 6 площадок. Приведены данные трендов СТС на каждой площадке, начиная с 2005 до 2018 гг. и до 2019 г. Сравнение трендов за два последних периода показывает вклад данных за последний год. Расчеты трендов проводились только для площадок, имеющих данные наблюдений не менее чем за 7 лет. Имеющиеся на сегодняшний момент наблюдения показывают, что более чем на половине площадок (63%) значения СТС в 2019 г. превышают средние многолетние. Несмотря на некоторое снижение темпов роста мощности СТС, тренды практически на всех площадках (35 из 39 площадок) сохраняют положительные значения, что свидетельствует о сохранении тенденции увеличения глубины протаивания вечной мерзлоты в 21 веке. Все фактические данные наблюдений представлены на сайте: www.permafrost.su.

7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Мониторинг агрометеорологической составляющей климата за 2019 год осуществлялся по данным наблюдений за температурой воздуха и суммами осадков месячного разрешения для 455 станций на территории России и стран СНГ за период с 1951 г. по 2019 г., содержащимся в базе данных «Климат» (ФГБУ «ИГКЭ»), и данным декадных телеграмм, поступающим через программный комплекс «Прометей» (ФГБУ «Гидрометцентр России»).

Расчёты агроклиматических показателей и показателей продуктивности за вегетационный период основных сельскохозяйственных культур выполняются с помощью имитационной системы «Климат-Почва-Урожай» (ФГБУ «ВНИИСХМ»).

Анализ текущих значений агроклиматических показателей

Расчёт агроклиматических показателей в 2019 г. выполнялся по станционным данным сети наблюдений на территории земледельческой зоны России. Определены аномалии агроклиматических показателей по отношению к предшествующему двадцатилетию (1999–2018 гг.). Аномалии показателей термического и влажностного режимов при возделывании сельскохозяйственных культур в 2019 г., осредненные по федеральным округам в пределах условной земледельческой зоны южнее 66.5° с. ш. (до 90° в. д.), 60° с. ш. (до 130° в. д.) и 55° с. ш. (см. рис. 7.2), представлены в табл. 7.1 и 7.2.

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур. Весна на всей территории земледельческой зоны России в 2019 г. была теплее на 0.7–1.4 °С по сравнению с периодом 1999–2018 гг. (табл. 7.1). В среднем по земледельческой зоне России положительные аномалии температуры воздуха весной составили 1.2 °С. Вследствие этого на большей части территории России возобновление вегетации (переход через 5 °С весной) наблюдалось раньше, чем в среднем за последние двадцать лет. Ранние сроки начала вегетации отмечены на ЕЧР (на 1–8 сут. раньше), за исключением ПФО, и в ДФО

(на 5 сут. раньше) (табл. 7.1). В УФО и СФО возобновление вегетации зафиксировано на 4 сут. позже.

Таблица 7.1 – Аномалии показателей термического режима в 2019 г. относительно средних значений за 1999–2018 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), °С				T _{T>5} , °С	T _{зерн.} , °С	Дата перехода через 5 °С весной, сут.	Сумма температур, °С		Продолжительность периода, сут.	
	зима	весна	лето	осень				>5	>10	T>5 °С	T>10 °С
Северо-Западный	1.1	1.1	-1.2	-0.1	-0.6	-0.7	-3	-79	-121	4	-1
Центральный	0.6	1.4	-0.9	1.1	-0.3	0.5	-1	70	108	8	13
Приволжский	0.1	1.4	-1.2	0.0	-0.7	-0.1	0	-26	-44	7	6
Южный	1.0	0.7	0.5	0.7	0.1	0.2	-8	253	228	15	10
Северо-Кавказский	1.5	1.1	0.6	0.2	0.4	1.2	-4	208	180	10	5
Уральский	0.0	1.1	-0.5	-0.3	-0.4	-0.1	4	-48	-162	3	-10
Сибирский	-0.8	1.2	0.4	-0.1	0.2	0.6	4	40	40	2	2
Дальневосточный	0.9	1.2	-0.7	0.4	-0.2	-0.3	-5	25	-2	8	5
РФ	0.5	1.2	-0.5	0.2	-0.2	0.1	-1	29	3	6	3

Летние температуры в 2019 г. по сравнению со средними величинами последнего двадцатилетия были ниже на 0.5 °С в среднем по территории земледельческой зоны России (табл. 7.1). Максимальные отрицательные аномалии наблюдались на территории СЗФО, ПФО (-1.2 °С) и ЦФО (-0.9 °С). Положительные аномалии летних температур (0.4–0.6 °С) отмечены в СФО, ЮФО и СКФО.

В 2019 г. знаки аномалий средней температуры воздуха за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до даты уборки (T_{зерн.}) относительно средних значений за 1999–2018 гг. по отдельным федеральным округам различались (табл. 7.1). Максимальная положительная аномалия отмечена в СКФО (1.2 °С), минимальная – в СЗФО (-0.7 °С). Аномалии средней температуры тёплого периода года от даты устойчивого перехода через 5 °С весной до даты устойчивого перехода через 5 °С осенью (T_{T>5}) были отрицательны (-0.2...-0.7 °С) на большей части земледельческой зоны России (табл. 7.1). Положительные аномалии этого показателя отмечены в СКФО (0.4 °С), СФО (0.2 °С) и ЮФО (0.1 °С).

Положительные аномалии сумм активных температур (выше 10 °С) относительно средних значений за 1999–2018 гг. на ЕЧР отмечались в ЮФО, СКФО и ЦФО (от 108 до 228 °С), отрицательные – в СЗФО (-121 °С) и ПФО (-44 °С) (табл. 7.1). На АЧР значительные отрицательные аномалии этого показателя наблюдались в УФО (-162 °С). В СФО и ДФО значения сумм активных температур были незначительно выше или близки к норме.

В 2019 г. продолжительность периода вегетации (T>5 °С) превысила среднюю продолжительность за предшествующие два десятилетия на всей рассматриваемой территории. В среднем по земледельческой зоне России период вегетации был длиннее на 6 сут. (табл. 7.1).

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. В 2019 г. рассматривались следующие показатели степени увлажнённости территории: сезонные аномалии суммы осадков; гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) за май–август; индекс сухости М. И. Будыко (ИС); суммарное количество осадков за тёплый период года ($\Sigma R_{T>5}$); сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ($\Sigma R_{\text{зерн.}}$).

Аномалии весенних осадков на ЕЧР положительны или близки к норме, за исключением СКФО, где весной осадков выпало на 30 % меньше, чем за предыдущие двадцать лет. На АЧР сумма осадков за весну была в среднем на 15 % ниже по сравнению с 1999–2018 гг.

Аномалий летних осадков относительно средних значений за 1999–2018 гг. по отдельным федеральным округам имеют разные знаки (табл. 7.2). Максимальная отрицательная аномалия суммы летних осадков зафиксирована в СКФО (–32 %), максимальная положительная – в УФО (18 %) (табл. 7.2).

Таблица 7.2 – Аномалии показателей влажностного режима в 2019 г. относительно средних значений за 1999–2018 гг.

Федеральный округ	Сумма осадков, %					$\Sigma R_{T>5}$, %	$\Sigma R_{\text{зерн.}}$, %	ГТК _{май-авг.} , ед.	ИС, ед.
	зима	весна	лето	осень	год				
Северо-Западный	7	0	7	23	10	8	17	0.20	–0.09
Центральный	3	6	–9	–11	–4	–1	–3	0.01	0.05
Приволжский	9	4	1	–23	–2	–3	–6	0.12	0.03
Южный	18	–3	–9	–37	–7	–8	–2	–0.08	0.15
Северо-Кавказский	–4	–30	–32	–16	–20	–10	–37	–0.19	0.50
Уральский	–1	–15	18	–1	3	9	15	0.17	–0.10
Сибирский	–26	–14	–7	2	–9	–11	–15	–0.12	0.12
Дальневосточный	–16	–16	0	8	–2	14	22	0.07	–0.01
РФ	–4	–8	–1	–3	–2	–1	0	0.03	0.03

Анализ данных, приведенных в табл. 7.2, показывает, что сумма осадков, выпавших за период вегетации яровых зерновых культур, в 2019 г. на большей территории ЕЧР была ниже средней величины за предшествующие два десятилетия. Максимальная отрицательная аномалия этого показателя отмечена в СКФО (–37 %). В СЗФО аномалии были положительны (17 %). На АЧР сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур в 2019 г. была выше нормы на 15–22 % в УФО и ДФО и ниже нормы на 15 % в СФО.

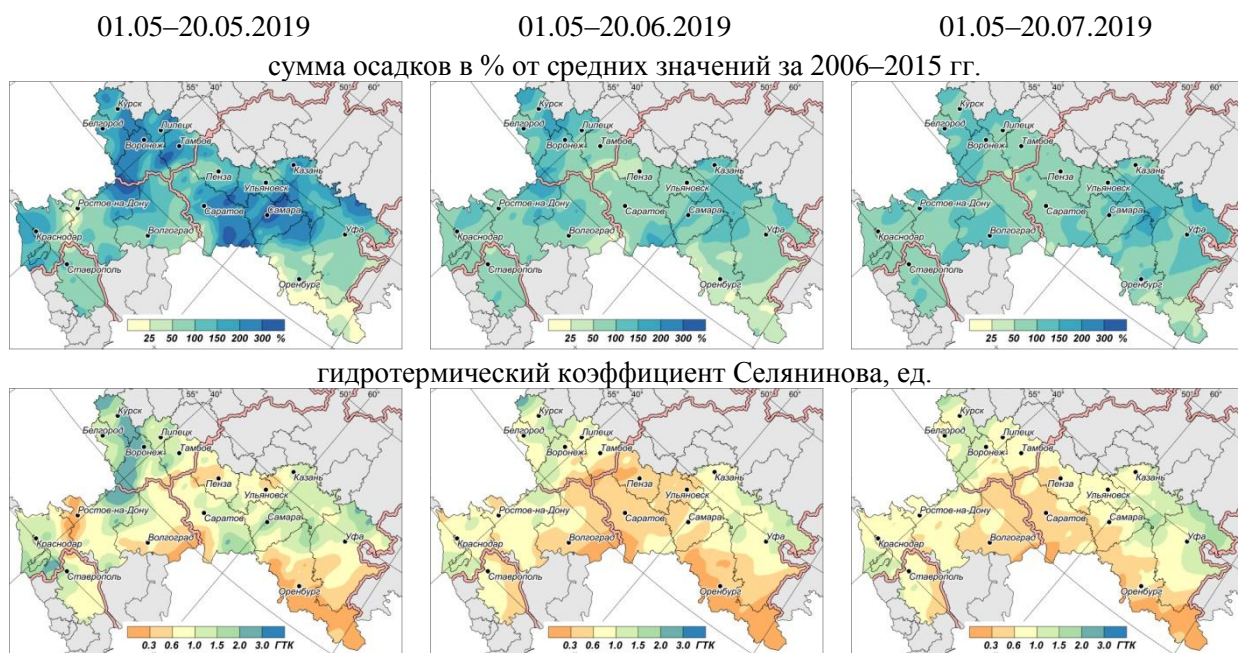


Рисунок 7.1 – Мониторинг условий увлажнённости вегетационного периода 2019 г.: сумма осадков в % относительно средних значений за 2009–2018 гг. и гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) на 20 мая, 20 июня и 20 июля 2019 г.

Аномалии индекса увлажнённости всего тёплого периода года ($\Sigma R_{T>5}$) отрицательны для территории сельскохозяйственной зоны России, за исключением аномалий в СЗФО (8 %), УФО (9 %) и ДФО (14 %) (табл. 7.2).

Величины ГТК за май–август и ИС, свидетельствуют о том, что уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2019 г. на большей части сельскохозяйственной

зоны России был выше среднего относительно 1999–2018 гг. (табл. 7.2). Недостаточная увлажнённость посевов наблюдалась в СКФО, ЮФО и СФО.

На рис. 7.1 представлено пространственное распределение сумм атмосферных осадков (в % от средних значений за 2009–2018 гг.) и ГТК в 2019 г. для трёх периодов: с 1 мая по 20 мая, с 1 мая по 20 июня и с 1 мая по 20 июля. Расчёты выполнены для территории 16 субъектов (республик, краев, областей) ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО.

Тенденции изменения агроклиматических показателей

Анализ оценок линейного тренда сумм активных температур воздуха показал, что положительная тенденция к росту этого показателя за последние десятилетия на территории России сохраняется (табл. 7.3, рис. 7.2). За период с 1976 г. по 2019 г. на ЕЧР скорость роста сумм активных температур колеблется в диапазоне от 93 до 158 °C/10 лет. В среднем для территории земледельческой зоны России оценка линейной скорости роста за 1976–2019 гг. составила 84 °C/10 лет. Анализ за период 2000–2019 гг. показал наличие отрицательного тренда за последние два десятилетия в СФО.

Линейные тренды продолжительности вегетационного периода ($T > 5$ °C) и периода активной вегетации ($T > 10$ °C) в среднем по земледельческой зоне России положительны и составляют 3–4 сут./10 лет для периода 1976–2019 гг. и 1–2 сут./10 лет для периода 2000–2019 гг. (табл. 7.3).

В среднем по земледельческой зоне России отмечается положительная тенденция к росту весенних осадков – их линейные тренды положительны и составляют 4.9 и 1.4 мм/10 лет за периоды 1976–2019 и 2000–2019 гг. соответственно (табл. 7.3). В то же время, расчёты за период 2000–2019 гг. показывают наличие отрицательных трендов весенних осадков в СЗФО, УФО и ДФО.

Таблица 7.3 – Оценки линейных трендов показателей термического и влажностного режимов на территории земледельческой зоны России за периоды 1976–2019 и 2000–2019 гг.

Федеральный округ	Температура воздуха, °C/10 лет		Сумма температур, °C/10 лет		Продолжительность периода, сутки/10 лет		Сумма осадков, мм/10 лет		ГТК _{май-авг.} , ед./10 лет	ИС, ед./10 лет
	весна	лето	>5 °C	>10 °C	T>5 °C	T>10 °C	весна	лето		
1976–2019 гг.										
Северо-Западный	0.4	0.4	95.5	105.2	4.0	5.2	3.1	1.2	−0.03	0.02
Центральный	0.5	0.6	124.7	129.0	4.3	4.7	3.3	−9.3	−0.08	0.05
Приволжский	0.4	0.4	94.6	93.4	3.5	3.2	5.2	−8.3	−0.07	0.05
Южный	0.4	0.8	171.5	157.5	5.5	3.9	5.0	−7.7	−0.04	0.06
Северо-Кавказский	0.4	0.6	140.1	126.8	5.2	3.0	3.3	−3.1	−0.02	0.00
Уральский	0.4	0.2	49.5	50.4	2.5	2.6	6.6	1.8	0.00	0.01
Сибирский	0.7	0.3	53.8	44.1	3.0	1.7	4.8	3.5	0.01	0.00
Дальневосточный	0.4	0.3	60.7	65.4	2.8	3.4	5.7	6.4	0.01	0.01
РФ	0.5	0.4	84.6	84.1	3.5	3.4	4.9	−0.5	−0.03	0.02
2000–2019 гг.										
Северо-Западный	0.3	0.0	16.8	91.7	−3.0	6.3	−4.8	13.2	0.03	0.01
Центральный	0.5	0.4	103.1	143.7	−1.3	3.6	15.3	−10.1	−0.06	0.06
Приволжский	0.2	0.4	85.7	134.0	−1.6	4.3	−0.3	−9.9	−0.09	0.12
Южный	0.7	1.0	221.5	185.7	6.8	2.4	2.4	−27.9	−0.11	0.17
Северо-Кавказский	0.6	0.9	145.4	119.2	3.1	−1.4	−0.4	−7.9	−0.06	0.10
Уральский	−0.1	0.2	9.8	4.3	0.1	−0.1	−4.1	9.7	0.00	0.02
Сибирский	0.4	0.2	−1.2	−54.3	3.2	−4.0	3.8	−9.8	−0.01	0.00
Дальневосточный	0.5	0.1	43.0	44.8	2.8	3.0	−1.0	8.8	0.03	0.00
РФ	0.4	0.3	57.8	64.0	1.2	1.8	1.4	−2.1	−0.02	0.04

В среднем по всей земледельческой зоне линейные тренды летних осадков отрицательны и составляют –0.5 и –2.1 мм/10 лет для 1976–2019 и 2000–2019 гг.

соответственно (табл. 7.3). Тренды летних осадков за 1976–2019 гг. отрицательны в основных сельскохозяйственных регионах на ЕЧР и положительны на АЧР. По расчётам за период 2000–2019 гг. максимальный отрицательный тренд летних осадков наблюдается в ЮФО (–27.9 мм/10 лет). Тренд летних осадков на территории СФО отрицателен за период 2000–2019 гг. (–9.8 мм/10 лет).

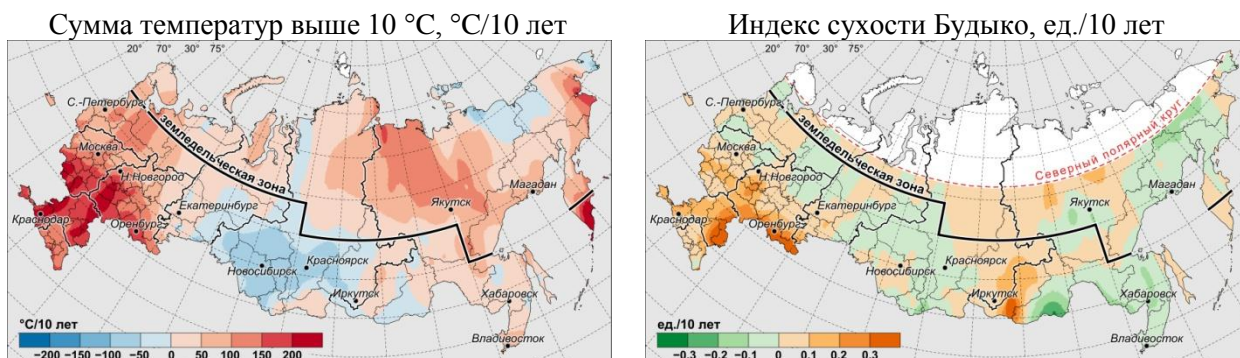


Рисунок 7.2 – Скорость изменения (линейный тренд) суммы активных температур выше 10 °С и индекса сухости Будыко (ИС) на территории России за 2000–2019 гг.

Оценки линейного тренда ГТК, рассчитанные за период с мая по август – основного периода для производства большинства сельскохозяйственных культур, за 1976–2019 гг. отрицательны на ЕЧР (табл. 7.3). Оценки за период 2000–2019 гг. также отрицательны практически на всей территории ЕЧР, но в СЗФО знак тренда сменился на положительный.

Линейные тренды ИС, характеризующего условия увлажнения за весь тёплый период года, за 1976–2019 гг. и 2000–2019 гг. положительны или близки к нулю на всей рассматриваемой территории (табл. 7.3). Расчёты за 2000–2019 гг. свидетельствуют о снижении уровня влагообеспеченности посевов в ПФО, ЮФО и СКФО. Пространственное распределение оценок линейного тренда ИС за период 2000–2019 гг. представлено на рис. 7.2.

Продуктивность сельскохозяйственных культур

Данные ежедекадного мониторинга агроклиматических условий формирования урожайности зерновых культур получены для территории 16-ти субъектов (республик, краев, областей) ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО с 1 мая по 20 июля 2019 г. (рис. 7.3).

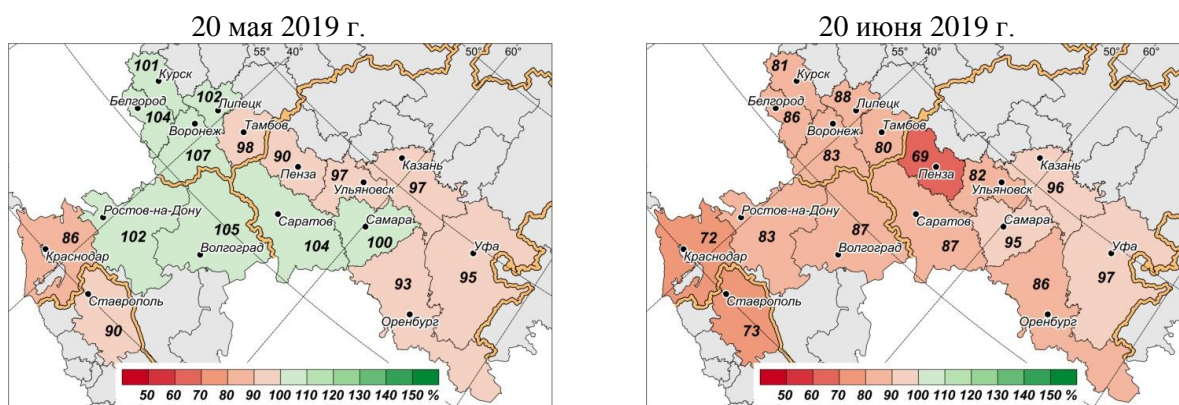


Рисунок 7.3 – Оценки (%) ожидаемой урожайности озимой пшеницы в 2019 г. относительно среднего уровня за 2009–2018 гг. на 20 мая и 20 июня.

На рис. 7.3 представлено пространственное распределение оценок ожидаемой урожайности озимой пшеницы в 2019 г. на основные прогностические даты: 20 мая и 20 июня. Из анализа данных, представленных на рисунке, можно сделать вывод, что в

целом для рассматриваемых субъектов РФ оценки ожидаемой урожайности ниже среднееголетних значений на 15–20 %. Снижение урожайности озимой пшеницы в 2019 г. связано с недостаточной влагообеспеченностью посевов (см. рис. 7.1). Только в центральных и восточных областях ПФО оценки урожайности озимой пшеницы близки к уровню предыдущих лет.

На рис. 7.4 представлены оценки увлажнённости пахотного слоя почвы (0–20 см) под озимой пшеницей в предпосевной и осенний периоды. Оценки показывают, что для озимых культур урожая 2020 года на территории ЮФО, чернозёмных областей ЦФО и южных областей ПФО наблюдалась недостаточная влагообеспеченность (рис. 7.4).

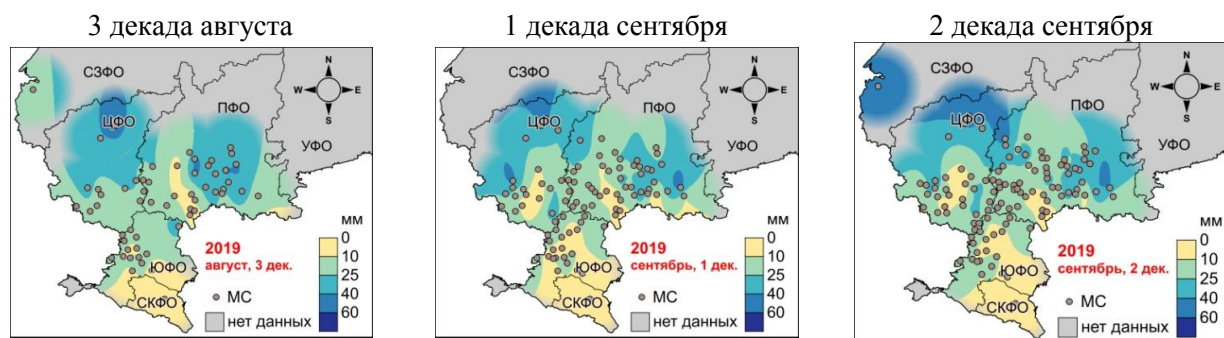


Рисунок 7.4 – Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы под озимой пшеницей на третью декаду августа, первую и вторую декады сентября 2019 года.

8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

По данным Росгидромета в 2019 году в целом на территории РФ отмечалось 903 опасных гидрометеорологических явления (ОЯ), (включая агрометеорологические и гидрологические). Это на 137 явлений меньше, чем в 2018 году, когда их было 1040. Мониторинг общего числа ОЯ ведется с 2008 г. Динамика общего числа ОЯ за двенадцать лет следующая:

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1090	923	972	760	987	963	898	973	988	907	1040	903

Из всех ОЯ, наблюдавшихся в 2019 г. 346 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

На рис. 8.1 приведены данные Росгидромета о динамике количества гидрометеорологических ОЯ за 1996 – 2019 гг., относящиеся лишь к опасным явлениям и комплексам гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения (общее число и количество непредусмотренных ОЯ). Прошедший год стал четырнадцатым по количеству ОЯ, нанеших ущерб. Число непредусмотренных ОЯ в 2019 г. составило 17.

В 2019 г. было выпущено 1509 штормовых предупреждений, не оправдались 64, предупреденность составила 95,8%.

По-прежнему наибольший ущерб нанесли сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в т.ч. шквал), град, а также метели и аномально холодная погода в

зимний период, чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев.

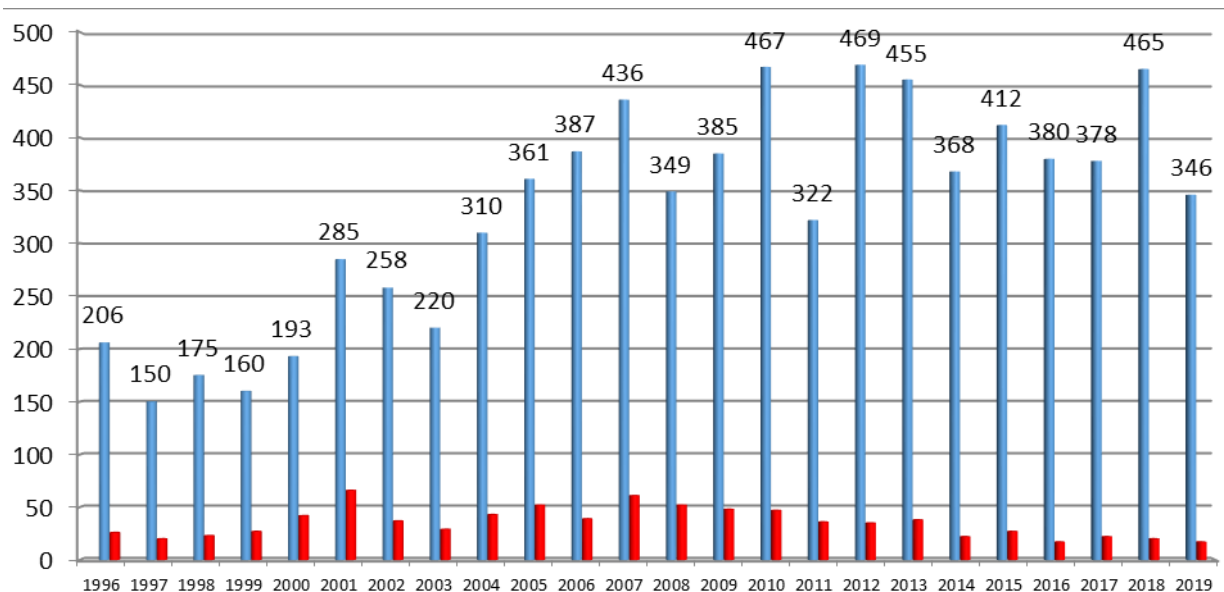


Рисунок 8.1 – Распределение гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (синий) и количество непредусмотренных ОЯ (красный)

В целом в большинстве федеральных округов количество ОЯ, нанесших материальный и социальный ущерб населению и отраслям экономики, уменьшилось по сравнению с 2018 годом.

Таблица 8.2 - Распределение ОЯ, нанесшие материальный и социальный ущерб населению и отраслям экономики в 2019 г., по видам и по федеральным округам

2019 г.	Очень сильный и ураганный ветер, шквал, сильные метели	Сильный мороз или сильная жара	Засуха и засухи	Опасно высокие и низкие уровни воды на реках	Чрезвычайная пожарная опасность	Лавины	Сели	Агрометеорологические ОЯ в зимний и летний периоды	Сильное сложное отложение	Сильные осадки	Град	Дождевой паводок	Половодье	Затор	Переувлажнение почвы	Низкая межень	Туман сильный	Итого
ЦФО	1	0	9	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	2	0	0	17
ЮФО	18	0	3	0	7	3	2	6	2	14	5	2	0	0	0	0	0	62
СКФО	9	0	1	0	0	10	0	2	0	4	7	1	0	0	0	0	0	34
СЗФО	6	0	0	0	1	0	0	1	1	2	0	4	0	1	1	0	0	17
ПФО	17	0	4	0	3	0	0	8	1	4	1	0	0	1	4	0	0	43
УФО	6	1	0	0	4	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	16
СФО	29	3	8	0	4	0	0	10	1	10	0	6	5	2	4	2	2	86
ДФО	20	1	1	0	7	1	0	3	1	19	0	18	0	0	0	0	0	71
За год	106	5	26	0	27	14	2	32	7	58	14	31	5	4	11	2	2	346
Среднее за 5 лет	116	8	29	0	20	6	4	31	8	79	19	24	23	5	14	10	0	396

В Гидрометцентре России ведется статистика отдельно только опасных метеорологических явлений (ОЯ). В 2019 году на территории России было зарегистрировано 542 случая возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений, сочетание которых образует ОЯ (КМЯ). Это седьмой из 22 лет по количеству ОЯ и КМЯ.

По сравнению с 2018 годом количество зарегистрированных метеорологических ОЯ в 2019 г. уменьшилось на 38 случаев. Высокой была повторяемость сильных осадков, сильного ветра, КМЯ и заморозков. Это составляет более 70 % от всех опасных метеорологических явлений. Опасные явления, входящие в состав КМЯ по отдельности, не достигали критериев ОЯ, но в сочетании между собой в значительной степени затрудняли хозяйственную деятельность регионов.

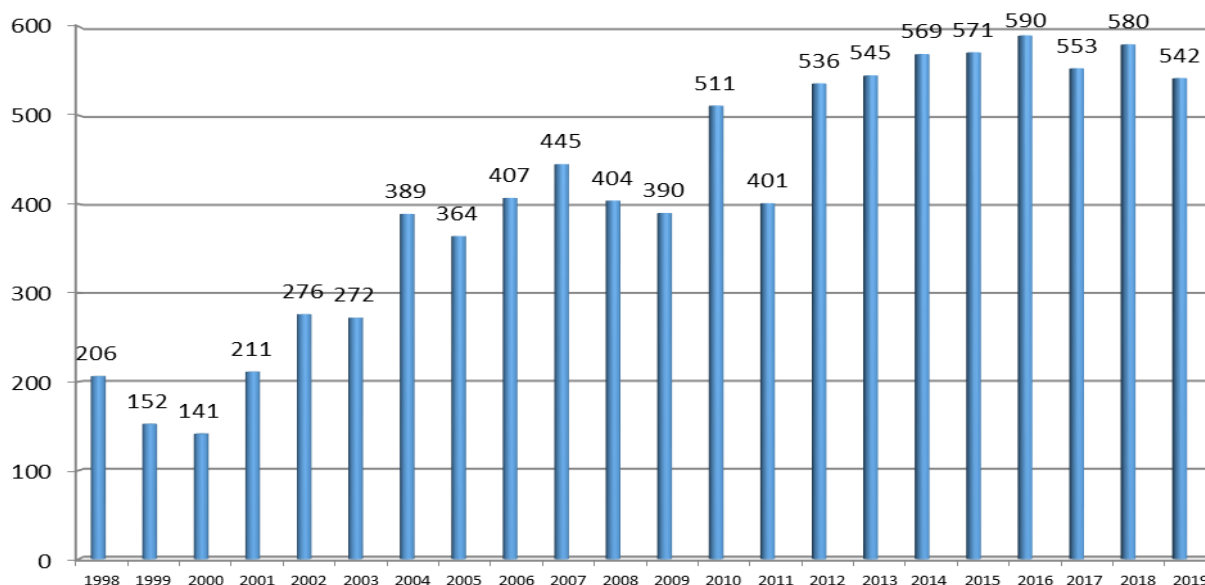


Рисунок 8.2 – Распределение метеорологических ОЯ по годам.

Все эти опасные явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

Таблица 8.2 - Динамика количества всех метеорологических ОЯ за период с 1998 по 2019 годы

Годы	Месяцы												Всего за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1998	19	15	12	12	14	17	28	16	19	19	20	15	206
1999	20	10	9	9	14	10	15	15	16	8	14	12	152
2000	9	2	6	10	15	17	18	17	20	7	8	12	141
2001	12	12	4	5	27	30	30	25	17	14	16	19	211
2002	16	15	17	11	24	27	41	35	28	17	16	29	276
2003	21	17	13	14	16	35	41	36	27	17	18	17	272
2004	23	29	27	21	23	54	49	61	26	20	28	28	389
2005	19	19	49	31	28	52	48	38	21	24	14	21	364
2006	27	20	29	21	39	64	49	56	26	22	30	24	407
2007	39	40	21	9	56	61	56	52	38	25	28	20	445
2008	29	25	18	19	28	47	83	45	27	12	30	41	404
2009	26	30	24	24	31	64	57	42	26	22	16	28	390
2010	39	23	33	28	31	68	73	64	35	16	35	66	511
2011	28	53	23	29	33	39	71	46	23	16	23	17	401
2012	24	14	18	22	53	71	82	89	32	37	28	66	536
2013	47	36	63	23	51	71	61	56	43	38	33	23	545
2014	46	44	35	33	70	75	69	64	29	37	23	44	569
2015	55	47	39	33	46	79	69	63	42	42	25	31	571
2016	46	14	36	34	64	84	80	104	34	17	28	49	590
2017	49	22	12	35	69	77	104	63	40	30	20	32	553
2018	25	20	45	21	66	84	105	62	57	33	34	28	580
2019	31	31	21	28	72	80	80	60	38	34	32	35	542

9. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Система регулярного мониторинга составляющих радиационного баланса земной поверхности основана на результатах сетевых измерений радиационных потоков в фиксированные сроки (т.н. «срочных» актинометрических наблюдений). Преимущественное внимание уделяется анализу таких видов радиации как прямая солнечная радиация на горизонтальной поверхности, рассеянная и суммарная радиация. Аномалии месячных, сезонных и годовых сумм этих видов радиации рассчитываются как отклонения от норм базового периода 1961-1990 гг. и выражаются в процентах от этих норм. Для оценки условий 2018 – 2019 гг. использованы данные станций со срочными наблюдениями, для которых своевременно поступила оперативная информация (всего 75 станций).

Основной особенностью глобальных *многолетних* изменений приходящей радиации, обнаруживаемых на территории России, является пониженное поступление радиации (возможно, обусловленное воздействием крупных вулканических извержений) в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века и связанный с этим отрицательный тренд прямой и суммарной радиации на интервале 1961-90 гг. В последнее десятилетие 20-го столетия во всех крупных регионах России произошел возврат к значениям приходящей радиации, близким к норме. Изменения, происходящие в начале XXI в., в большей степени отражают региональные особенности.

Анализ пространственно-осредненных аномалий годовых сумм прямой радиации на интервале 1961-2018 гг. (рис.9.1) показал, что включение в анализ 2019 г. (последнего года со всеми доступными месячными аномалиями) практически не изменило выводы, сформулированные ранее.

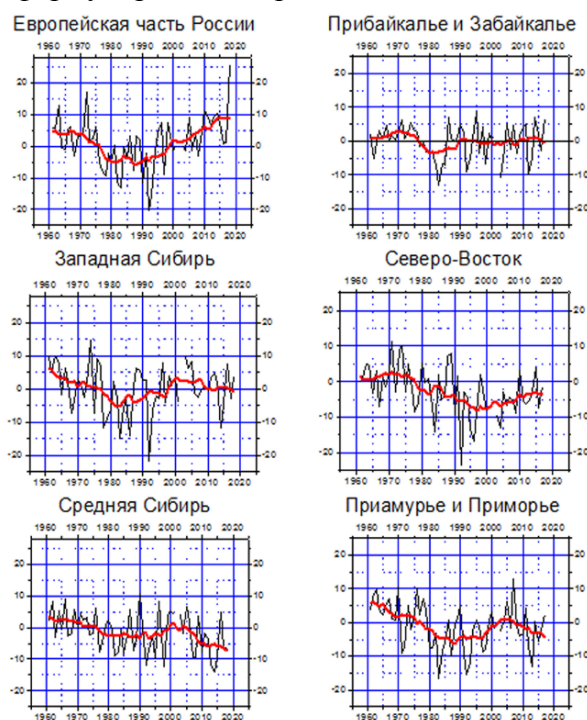


Рисунок 9.1 - Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние)

Формирование обширной отрицательной аномалии, охватившей всю Европейскую территорию и северные районы Азиатской части страны, происходило под влиянием частых выходов глубоких атлантических циклонов и приводило к преобладанию низкой сплошной облачности и частых обильных осадков.

Положительная тенденция, отмечавшаяся на территории ЕЧР, получила подтверждение в 2018 г., когда было достигнуто рекордно высокое значение регионально-осредненных аномалий годовых сумм прямой радиации. Тенденция к увеличению наблюдается и в Северо-восточном регионе, но при этом необходимо отметить низкую плотность сети станций на северо-востоке страны, а также отсутствие в настоящее время регулярного поступления информации с Чукотского и Камчатского УГМС. В Приамурье и Приморье в последнее десятилетие отмечается тенденция к снижению прямой радиации. В Средней Сибири в последние годы наблюдались крупные отрицательные аномалии, сопоставимые с рекордно низкими значениями, которые происходят на фоне сильной межгодовой изменчивости.

Зимний сезон 2018/19 гг. в целом характеризуется пониженными значениями в приходе прямой солнечной радиации во все зимние месяцы (рис.9.2.а).

Наиболее ярко это проявилось в январе на европейской территории. Например, в ЦЧО (Нижегородская, Воронежская обл.) месячные отклонения от нормы для прямой радиации превысили 70%.

В то же время южные районы Западной и Восточной Сибири, Хабаровского края, Приморья, а также Магаданская область, под влиянием гребней Сибирского антициклона оказались в области повышенного прихода прямой радиации. Так, в феврале в Хужире (Иркутская обл.) положительная аномалия составила 50%, а в Бурятии (Иволгинск) превысила 80%. Аналогичные особенности обнаруживаются при анализе зимних аномалий суммарной радиации (рис.9.2.б).

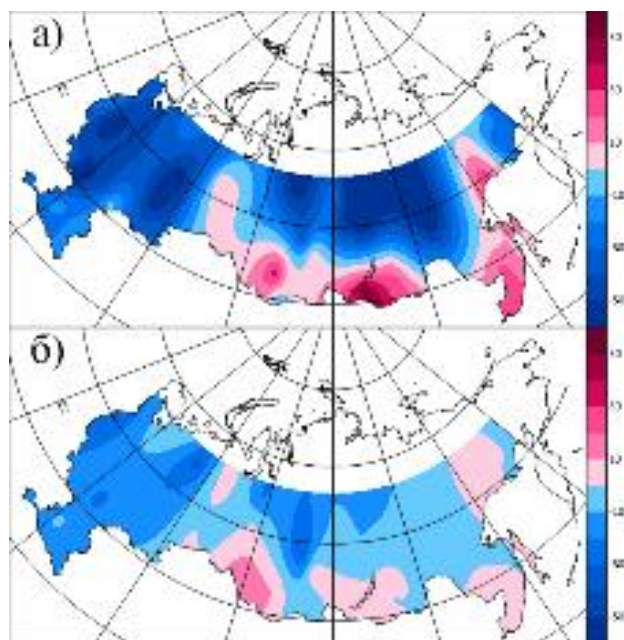


Рисунок 9.2 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) сезонных сумм прямой солнечной (а) и суммарной (б) радиации. Зима 2018/2019 гг.

В **весенний** период на территории РФ в поле аномалий прямой радиации сформировалась интенсивная и устойчивая отрицательная аномалия, охватывающая северные территории Западной и Средней Сибири, а также северо-восток ЕЧР. Отрицательные аномалии в этих районах сохранялись на протяжении всех трех месяцев. В отдельных пунктах (Норильск, Ванавара, Мамакан) сезонное снижение прямой радиации превысило 30%.

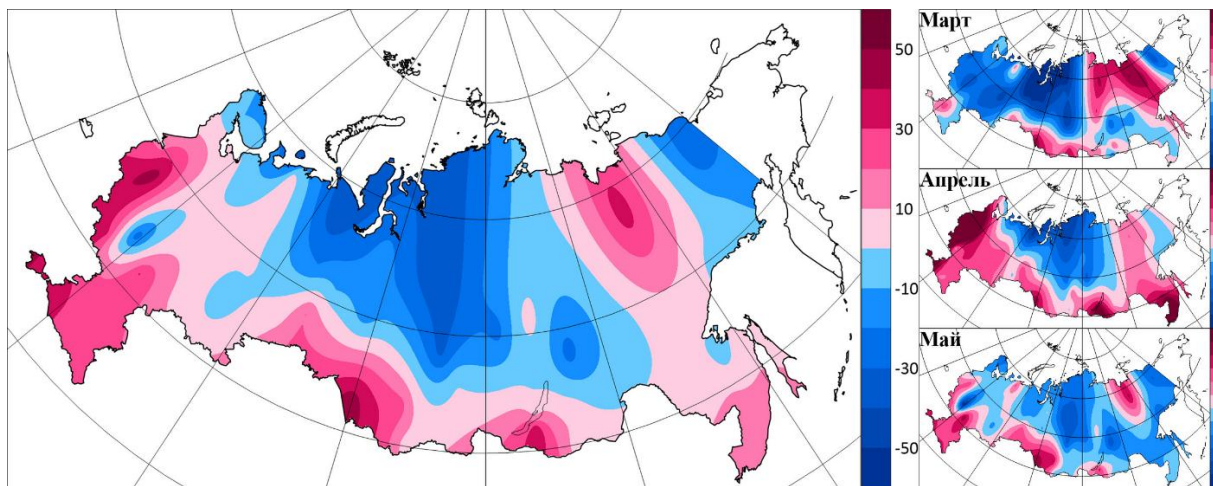


Рисунок 9.3 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) месячных и сезонных сумм прямой солнечной радиации. Весна 2019 г.

В марте пониженные значения прямой радиации наблюдались и на европейской территории. Этому способствовала активная циклоническая деятельность в Северной Атлантике и на арктических морях, которая формировала погоду в Восточной Европе, на Урале и Западной Сибири. Преобладание облачной дождливой погоды привело к снижению месячных сумм прямой радиации на 30-55% (Елецкая, Октябрьское). Активная циклоническая деятельность ослабила сибирский максимум, но его северо-восточные гребни обеспечили преобладание сухой малооблачной погоды и повышенный приход прямой радиации на востоке Якутии и Хабаровского края, что способствовало формированию здесь положительной аномалии прямой радиации. В Якутии максимальные положительные аномалии достигали 40-50% (Оленек, Верхоянск).

В апреле на европейской территории произошли значительные изменения в поступлении прямой солнечной радиации. Преобладание малооблачной сухой погоды привело к образованию здесь обширной положительной аномалии. Наиболее интенсивный очаг этой аномалии располагался в западных и северо-западных районах, где месячные значения прямой радиации вдвое превышали средние многолетние значения (Валдай, Воейково).

В среднем за весенний сезон приход прямой радиации на большей части европейской территории оказался близок к норме. При этом на западе ЕЧР и на территории ЮФО сезонные суммы прямой радиации существенно превысили норму. В азиатской части страны значительные положительные аномалии прямой радиации отмечены в южных районах Сибири и Дальнего Востока, а также в Якутии. В поле суммарной радиации в ЕЧР преобладали пониженные значения. Этому способствовало уменьшение рассеянной радиации, связанное с низкими значениями альбедо подстилающей поверхности, обусловленными чрезвычайно теплой погодой, отмечавшейся в апреле, и исчезновением во многих местах снежного покрова.

В **летний** сезон на большей части территории России отмечался пониженный приход прямой радиации. Крупные очаги положительных аномалий наблюдались лишь в июне. В этом месяце на европейской территории преобладала малооблачная сухая и жаркая погода, обусловленная влиянием Азорского максимума, распространившимся на север, и скандинавских антициклонов. На Кольском полуострове (Апатиты) месячная аномалия прямой радиации составила 35%. В Восточной Сибири при взаимодействии приполярных антициклонов и антициклонов Тихого океана также образовались условия для малооблачной погоды, которые способствовали повышенному месячному приходу прямой солнечной радиации (на 30-35% больше нормы). В последующие месяцы заметное увеличение месячных сумм прямой радиации отмечалось в августе на европейской территории – в Южном федеральном округе и в западных районах ЕЧР.

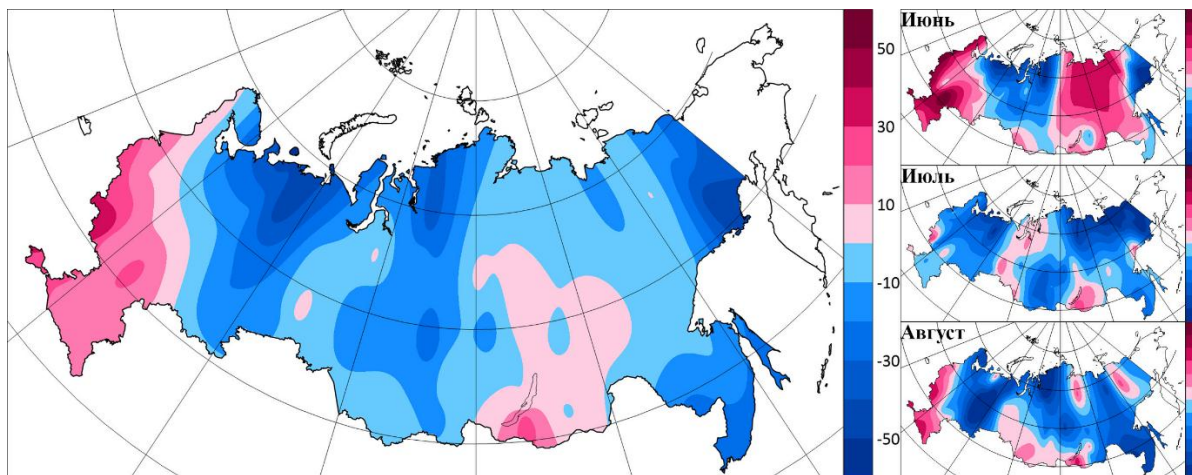


Рисунок 9.4 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) месячных и сезонных сумм прямой солнечной радиации. Лето 2019 г.

В целом за летний сезон приход прямой радиации был выше нормы в южных и западных районах ЕЧР, а также в Бурятии (Иволгинск). Однако на большей части территории России сезонные аномалии прямой радиации оказались отрицательными. Рекордно низкие значения зарегистрированы на северо-востоке ЕЧР и на Колыме.

В весенний и летний сезоны, которые обеспечивают наибольший приход солнечной радиации, отмечались крупные положительные аномалии прямой радиации, вероятность превышения которых составляет менее 10% (рис. 9.5).

В весенний период такие аномалии наблюдались в южных и западных районах ЕЧР, южных районах Сибири и Дальнего Востока, в Якутии. Весной на значительной территории АЧР, включающей северные районы Западной и Средней Сибири,

наблюдались также и крупные отрицательные аномалии. Фон рассеянной радиации весной – как и в предыдущие годы – был преимущественно пониженный. В летний сезон в поле прямой радиации доминировали отрицательные аномалии. Особенностью лета 2019 г. является наличие крупной положительной аномалии в поле рассеянной радиации в Сибири и на прилегающих территориях, включая восточную Арктику (рис. 9.5б).

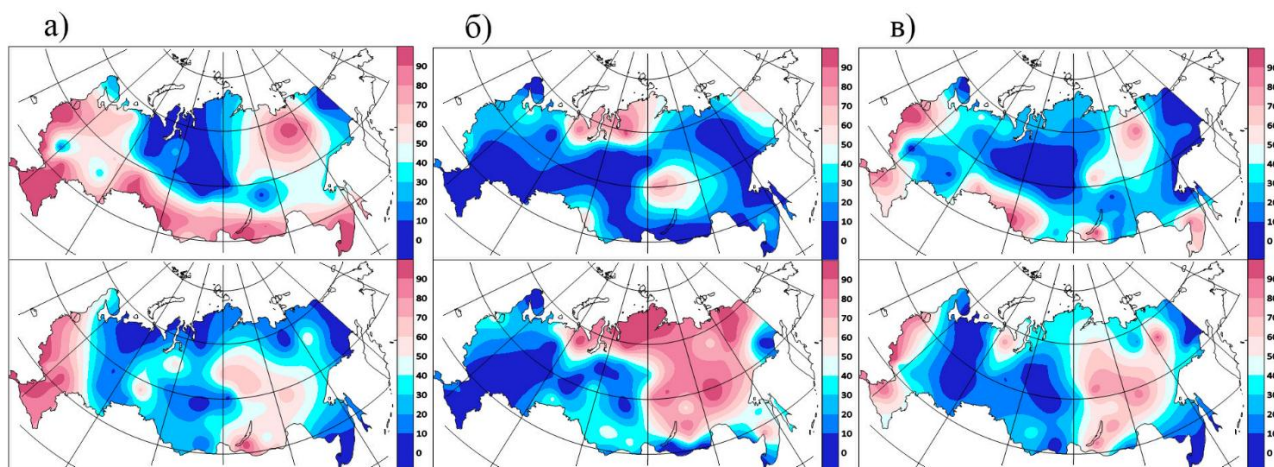


Рисунок 9.5 – Вероятности непревышения аномалий сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Верхние фрагменты - весна 2019 г., нижние - лето 2019г.

Осреднение сезонных аномалий прямой радиации по территории России (рис.9.6) показывает, что для каждого из рассмотренных календарных сезонов (весна и лето 2019 г., зима 2018/2019 гг.), значения аномалий прямой радиации в среднем оказались отрицательными. Наибольшее отклонение от нормы отмечено в летний сезон.

В целом радиационный режим 2019г. характеризуется преобладанием пониженного прихода солнечной радиации. Особенно ярко это проявилось в летний сезон, когда крупные положительные аномалии прямой радиации были зафиксированы лишь на небольшой территории в южных и западных районах ЕЧР.

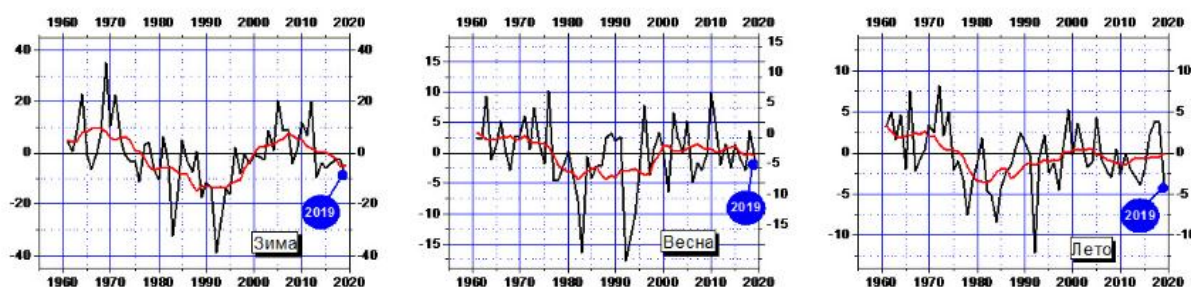


Рисунок 9.6 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, осредненные по территории РФ. 1961-2019гг.

В Красноярском крае отмечалось значительное снижение в поступлении прямой солнечной радиации - как в летний, так и в весенний сезоны. Важной особенностью 2019 г. является наличие в АЧР обширной области положительных аномалий в поле сезонных сумм рассеянной радиации, обусловленной длительным периодом лесных пожаров.

10. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

Приведенные в настоящем разделе доклада оценки получены по данным о продолжительности солнечного сияния (ПСС), поступившим в 2019 году от 309 метеорологических станций сети Росгидромета по каналам связи (сводки «КЛИМАТ»). При проведении расчетов используется информация из созданной во ВНИИГМИ-МЦД базы данных «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России» (meteo.ru), которая содержит месячные обобщения ежесуточных наблюдений за солнечным сиянием по гелиографу. Сезонные суммы ПСС на станции рассчитываются, если присутствуют данные за все три месяца календарного сезона (сезон «зима» включает декабрь предыдущего года), а годовые – при наличии данных для всех 12 месяцев года (январь-декабрь). Рассматривается как суммарная за месяц/сезон/год продолжительность солнечного сияния (SS , часы), так и ее относительная аномалия (RS , %) – отношение к норме (среднее многолетнее значение ПСС за период 1981-2010 гг.), выраженное в процентах. Расчет дополнительных характеристик аномалий (процентили, вероятности превышения, ранги) осуществляется по данным за период, который начинается 1961-м годом, когда с увеличением числа станций, представленных в информационной базе, существенно улучшилась территориальная освещенность данными, и заканчивается прошедшим годом.

Полученные по данным метеорологических станций оценки представлены в виде карт для территории России, а также в виде региональных средних: для территории РФ в целом, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти физико-географических районов (их расположение показано на рис. 3 Введения) и восьми федеральных округов РФ (рис. 10.2). Для получения региональных средних проводится арифметическое осреднение аномалий на метеостанциях по квадратам сетки ($5 \times 5^\circ$), а затем осреднение полученных средних с весовыми коэффициентами в зависимости от ширины квадрата.

Приводимые временные ряды аномалий ПСС дополняются скользящими 11-летними средними и линейным трендом, который выражен в процентах за десятилетие (%/10лет). На рисунках он представлен для периода с 1976 года, условно принятого за начало современного глобального потепления.

Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2019 году

На рис. 10.1 и 10.2 представлено распределение годовых и сезонных аномалий ПСС на территории России в 2019 г., а в табл. 10.1 – среднегодовые и средние сезонные аномалии ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. Региональные средние месячные аномалии приведены в табл. 10.2. Напомним, что относительные аномалии менее 100% соответствуют отрицательным аномалиям, более 100% – положительным.

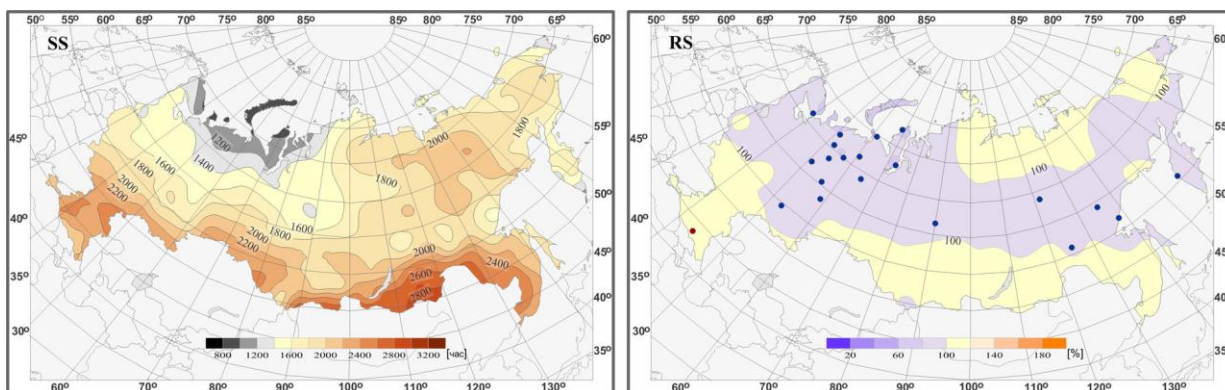


Рисунок 10.1 – Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (SS , часы) и ее относительных аномалий (RS , %) на территории РФ в 2019 г. (январь – декабрь). Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентилля, коричневого цвета – выше 95-го процентилля

Как видно на рис. 10.1, в 2019 г. на территории России более существенными были отрицательные аномалии ПСС. При этом средняя для РФ годовая ПСС была близка к норме ($RS=99\%$). Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался на северо-востоке ЕЧР, где целый ряд станций попал в 5%-е экстремумы. Средняя относительная аномалия годовой суммы ПСС для региона «Север ЕЧР и Западной Сибири» составила 86% и получила ранг 2 (здесь и далее в ранжированных по возрастанию рядах). В то же время ПСС южных регионов и ФО попала в пять максимальных.

Средние сезонные аномалии в целом для территории РФ были отрицательные зимой и летом, положительные – весной и осенью. Аналогичные аномалии наблюдались в среднем для ЕЧР. Особенность АЧР – положительная аномалия в зимний сезон, причем наибольшая из всех сезонов.

Зимой 2018/19 г. вся территория ЕЧР была занята отрицательными аномалиями ПСС. В некоторых областях на востоке ЕЧР были обновлены сезонные минимумы ПСС, а средняя для ЕЧР величина ПСС явилась рекордно низкой (ранг 1, $RS=71\%$). В АЧР наряду с отрицательными наблюдались существенные положительные аномалии ПСС (до 140% от нормы). На ряде южных станций были превышены наблюдавшиеся ранее сезонные максимумы. ПСС в регионе «Алтай и Саяны» попала в пять максимальных. В **декабре** 2018 г. в ЕЧР наблюдался существенный дефицит солнечного сияния, который для этого региона стал экстремальным с 1961 г. (ранг 1, $RS=56\%$). На ряде станций суммарная за месяц ПСС была меньше наблюдавшихся ранее минимумов.

Таблица 10.1 – Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (RS , %) в регионах России и вероятность ее неперевышения (P , %) в 2019 г. Желтым цветом выделены значения, попавшие в 5 максимальных, серым – в 5 минимальных.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	RS	P	RS	P	RS	P	RS	P	RS	P
РФ	99	33	98	33	102	67	96	3	105	76
ЕЧР	98	26	71	0	105	83	94	9	112	84
АЧР	100	43	106	81	100	52	97	19	102	55
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Западной Сибири	86	2	75	19	88	12	81	2	94	33
Север Восточной Сибири и Якутии	101	53	113	66	100	40	102	72	91	16
Чукотка и север Камчатки	100	62	71	12	90	21	111	86	115	84
Центр ЕЧР	97	26	67	3	105	81	93	16	105	62
Центр и юг Западной Сибири	97	29	111	66	96	33	96	29	104	55
Центр и юг Восточной Сибири	101	59	100	48	101	71	101	62	98	33
Дальний Восток	101	60	108	88	107	90	83	0	107	90
Алтай и Саяны	105	97	119	97	109	97	99	28	106	83
Юг ЕЧР	109	97	77	3	114	91	104	64	123	100
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	90	3	61	7	100	40	83	0	95	29
Центральный	101	53	64	7	106	74	99	40	113	76
Приволжский	94	21	62	2	103	69	90	10	106	67
Южный	108	97	78	3	113	88	102	60	124	100
Северо-Кавказский	112	98	78	3	113	93	108	83	126	100
Уральский	92	9	97	31	91	12	91	19	93	29
Сибирский	102	67	110	84	101	64	100	52	104	69
Дальневосточный	100	36	104	69	102	72	95	12	101	48

В то же время мощный очаг положительных аномалий сформировался в южной половине Западной Сибири. Здесь на некоторых станциях ПСС почти вдвое превысила норму и были обновлены исторические максимумы. Очаги положительных аномалий ПСС сформировались также на востоке Дальневосточного ФО. В **январе** 2019 г. дефицит солнечного сияния на территории ЕЧР уменьшился, но преобладающими по-прежнему оставались отрицательные аномалии. При этом на северо-востоке ЕЧР сформировался очаг значительных положительных аномалий. В АЧР преобладали положительные аномалии ПСС. Средняя аномалия для региона «Север Восточной Сибири и Якутии» составила 155%. В **феврале** на территории страны вновь усилилась роль отрицательных

аномалий ПСС. Ими была занята вся территория ЕЧР, здесь на многих станциях обновились наблюдавшиеся ранее минимумы. Средняя аномалия составила 71% и получила ранг 4. В АЧР очаги наиболее существенных отрицательных аномалий располагались на юге Якутии и в Чукотском а. о. Положительные аномалии ПСС отмечались на севере и востоке Якутии, а также в южных районах Сибирского ФО, где на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы.

В **весенний** сезон на территории РФ значительных аномалий ПСС не отмечалось. Тем не менее на ряде южных станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы, а ПСС в Северо-Кавказском ФО и регионе «Алтай и Саяны» попала в пять максимальных. Наиболее существенный дефицит солнечного сияния наблюдался в центральных районах Красноярского края (до 70%), в Ямало-Ненецком АО (менее 60%) и на Чукотке (менее 50%). В **марте** отрицательные аномалии были наиболее значительными по сравнению с другими весенними месяцами. Наиболее существенные из них наблюдались на севере Западной Сибири и на крайнем северо-востоке страны. Средняя месячная ПСС на Чукотке и в Уральском ФО попала в пять минимальных. Положительными аномалиями ПСС были заняты южные районы ЕЧР и Западной Сибири, а также Якутия и Дальний Восток. На ряде якутских станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. В **апреле** территория страны с отрицательными аномалиями ПСС сокращается, а их интенсивность уменьшается. В ЕЧР после четырех месяцев дефицита солнечного сияния сформировался очаг существенных положительных аномалий, на многих станциях были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. Средняя для ЕЧР аномалия ПСС составила 116% и попала в пять максимальных. Положительными аномалиями были заняты также южные районы АЧР, при этом на юго-востоке были обновлены месячные максимумы. В **мае** значительных положительных аномалий ПСС на территории РФ не наблюдалось. После солнечного апреля на северо-западе ЕЧР сформировался очаг с дефицитом солнечного сияния. Отрицательными аномалиями были заняты центральные районы Сибири и большая часть Дальнего Востока.

Таблица 10.2 – Относительные аномалии (%) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, в 2019 году. *Желтым цветом выделены месяцы с относительной аномалией более 120%, серым – менее 80%.*

Регион	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Российская Федерация	102	95	97	106	100	102	91	94	108	99	106	100
ЕЧР	86	71	92	116	103	108	84	89	110	104	135	99
АЧР	107	102	98	103	98	99	94	96	107	97	97	100
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	101	70	79	86	95	85	79	83	107	69	75	34
Север Вост. Сиб. и Якутии	155	107	108	98	96	118	81	109	103	79	67	206
Чукотка и север Камчатки	107	40	58	92	95	107	113	98	112	119	102	68
Центр ЕЧР	88	59	78	127	102	116	82	81	114	87	110	77
Центр и юг Зап. Сибири	103	100	86	100	99	86	98	107	102	105	107	86
Центр и юг Вост. Сибири	104	98	101	106	97	111	98	93	104	88	103	94
Дальний Восток	108	112	108	113	102	80	91	77	116	106	96	105
Алтай и Саяны	106	123	105	113	108	95	91	111	106	111	97	95
Юг ЕЧР	81	90	121	116	109	108	98	106	105	127	160	124
Федеральные округа РФ												
Северо-Западный	75	61	84	110	99	101	70	81	116	60	73	31
Центральный	104	53	77	132	103	119	85	91	116	102	132	59
Приволжский	84	48	74	121	106	113	83	69	113	88	115	84
Южный	80	93	120	117	106	110	93	105	106	123	168	120
Северо-Кавказский	90	85	109	108	118	112	99	114	108	143	138	128
Уральский	102	88	74	95	98	88	94	89	94	86	105	90
Сибирский	104	108	97	103	101	97	98	105	107	101	104	93
Дальневосточный	110	100	104	105	96	102	90	90	109	96	91	106

Лето в целом для территории РФ характеризуется дефицитом солнечного сияния (имеет ранг 3). Наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС наблюдались в северо-восточных районах ЕЧР, где на ряде станций были обновлены сезонные минимумы (Северо-западный ФО получил ранг 2), и в Дальневосточном регионе (ранг 1). Наиболее значительные положительные аномалии наблюдались в северных районах АЧР. В **июне** средняя для территории России ПСС была близка к норме ($RS=102\%$). В ЕЧР и Восточной Сибири преобладали положительные аномалии - ПСС трех регионов попала в пять максимальных. Вся Западная Сибирь была занята отрицательными аномалиями. Средняя аномалия для Уральского ФО составила 88%. Дефицит солнечного сияния наблюдался также на Тихоокеанском побережье страны, самый существенный на Камчатке, где относительные аномалии составляли менее 40%, а на отдельных станциях были обновлены месячные минимумы. ПСС в регионе «Дальний Восток» получила ранг 2. В **июле** на территории страны преобладали отрицательные аномалии ПСС. Средняя для территории РФ отрицательная аномалия стала рекордной с 1961 г., а аномалии для ЕЧР и АЧР попали в пять минимальных. Наиболее значительные аномалии располагались на северо-востоке ЕЧР, где на ряде станций были обновлены наблюдавшиеся ранее месячные минимумы, и вблизи арктического побережья Восточной Сибири. В **августе** дефицит солнечного сияния на территории РФ сохранился. Отрицательная аномалия для ЕЧР вновь попала в пять минимальных, а для Приволжского ФО стала рекордно низкой. Значительно возросло число станций, на которых были обновлены месячные минимумы. В АЧР территория, занятая отрицательными аномалиями ПСС, сократилась, а вблизи арктического побережья сформировались очаги значительных (более 250 % от нормы) положительных аномалий.

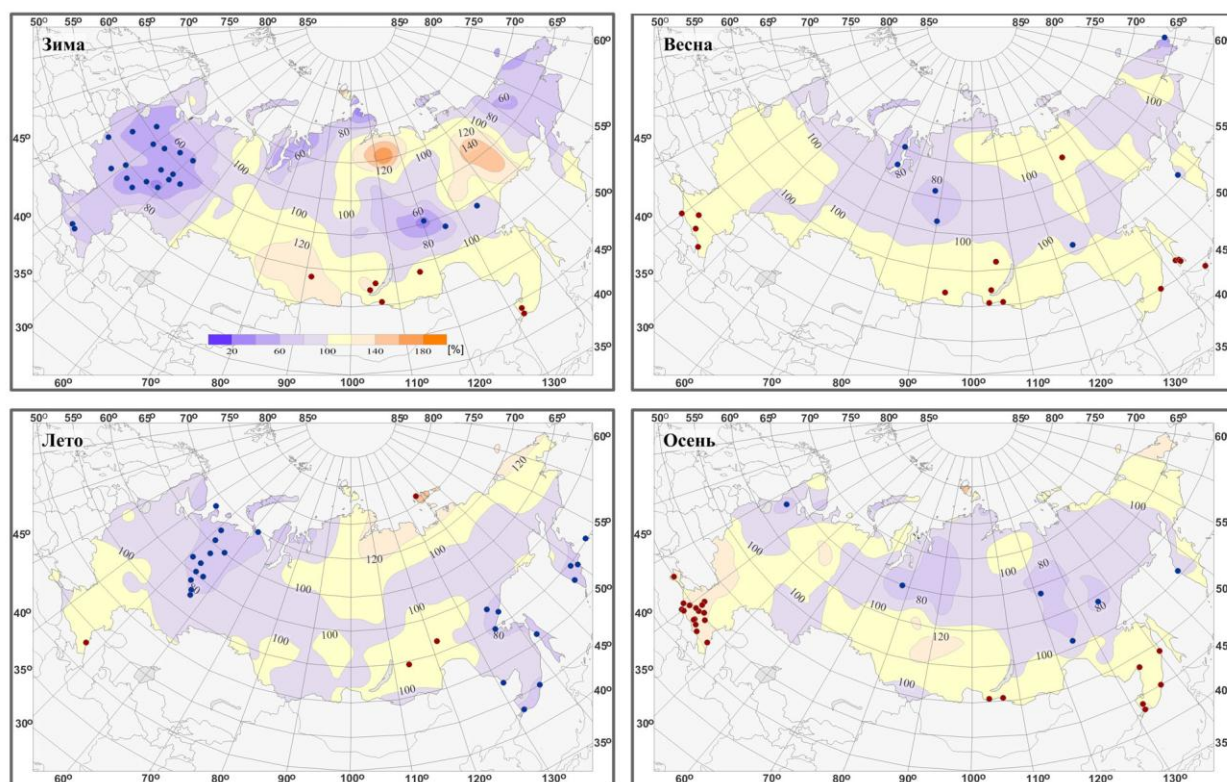


Рисунок 10.2 – Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния (RS , %) на территории РФ в 2019 г. Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля

Осень, по сравнению с летом, была более солнечной. В ЕЧР преобладали положительные аномалии ПСС, наиболее существенные на юге. Средние аномалии для Северо-Кавказского и Южного ФО стали рекордными. На многих станциях были

превышены наблюдавшиеся ранее сезонные максимумы. В АЧР очаги наиболее заметных положительных аномалий располагались на юге Средней Сибири и на Чукотке. Однако довольно существенная часть азиатской территории была занята отрицательными аномалиями. **Сентябрь** характеризуется преобладанием на территории страны положительных аномалий ПСС. Очаг наиболее значительных из них (до 172% от нормы) располагался на северо-востоке ЕЧР. Наиболее существенный дефицит солнечного сияния наблюдался в Сибири: в северной половине Красноярского края до 52%, в центральных районах Якутии до 68% от нормы. В **октябре** дефицит солнечного сияния стал преобладающим на территории всей страны. Мощные очаги отрицательных аномалий (менее 35% от нормы) сформировались как в ЕЧР, так и в АЧР. Средние аномалии для северных регионов попали в пять минимальных. Положительные аномалии ПСС отмечались в южных районах страны: на юге ЕЧР (для Северо-Кавказского ФО средняя аномалия попала в пять максимальных), в Западной Сибири, в Приморье, на Чукотке. В **ноябре** площадь, занятая отрицательными аномалиями, существенно сократилась. В южной половине ЕЧР сформировался мощный очаг положительных аномалий ПСС, на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. Средняя аномалия для Южного ФО (168%) стала рекордной, а средняя аномалия для ЕЧР получила ранг 2 среди максимумов. Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался на северо-западе ЕЧР, вблизи арктического побережья Сибири. Средние аномалии для региона «Север Восточной Сибири и Якутии» и Дальневосточного ФО попали в пять минимальных.

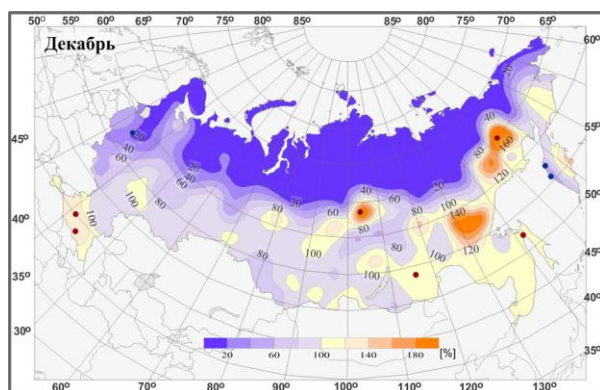


Рисунок 10.3 – Пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния (RS , %) на территории РФ в декабре 2019 года

наиболее солнечным по сравнению с нормой был сентябрь ($RS=108\%$). В ЕЧР наибольшие положительные аномалии наблюдались в ноябре ($RS=135\%$, ранг 1), а отрицательные – в феврале ($RS=135\%$, ранг 2). В АЧР наиболее существенными были отрицательные аномалии в июле ($RS=94\%$, ранг 3), а положительные – в январе и сентябре ($RS=107\%$).

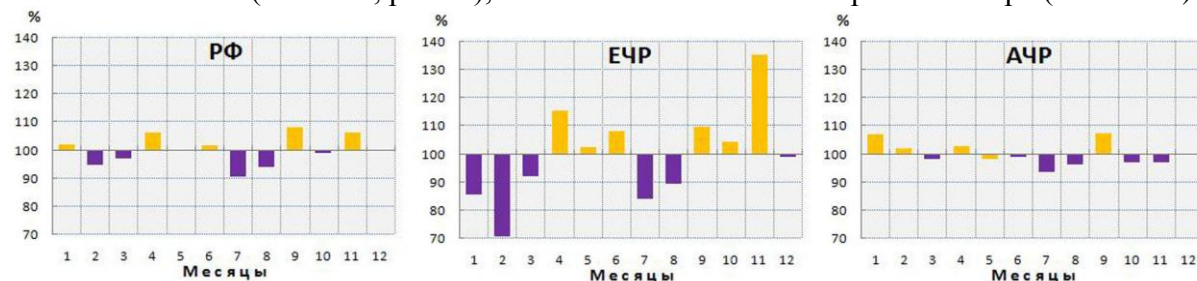


Рисунок 10.4 – Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей; 2019 г.

Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Изменения годовых сумм ПСС в период 1976-2019 гг. почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом (рис. 10.5).

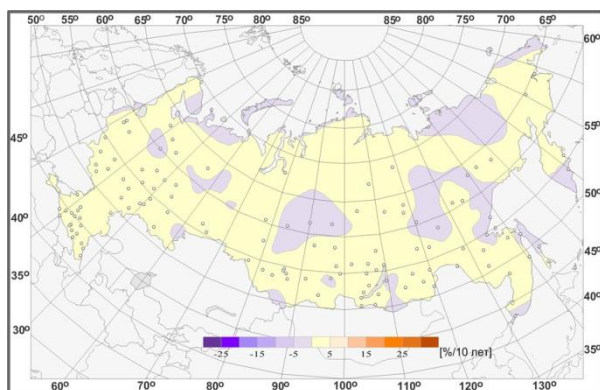


Рисунок 10.5 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий годовой продолжительности солнечного сияния на территории России по данным за 1976-2019 гг. (%/10 лет). Кругами выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-м уровне

$b_{АЧР}=0.8\%/10\text{лет}$). Основной вклад в тренд годовых сумм в ЕЧР вносит тренд летнего сезона, а в АЧР – зимнего. Наибольший тренд годовых сумм ПСС наблюдается на юге ЕЧР ($3.1\%/10\text{лет}$ в Южном ФО).

Таблица 10.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России; 1976-2019 гг., b – коэффициент линейного тренда (%/10 лет), D – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%). Тренд статистически значимый на 5%-м уровне показан жирным шрифтом.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	D	b	D	b	D	b	D	b	D
Российская Федерация	1.0	28	2.4	19	1.0	16	0.7	17	0.3	1
ЕЧР	1.8	30	-1.1	1	2.1	19	2.3	33	1.0	3
АЧР	0.8	18	3.5	35	0.6	7	0.1	0	0.1	0
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	0.2	0	-0.2	0	-0.1	0	0.2	0	-1.6	2
Север Вост. Сибири и Якутии	0.9	12	9.8	41	0.8	5	-0.1	0	-0.6	1
Чукотка и север Камчатки	0.8	2	4.3	5	-1.7	5	2.0	5	1.2	1
Центр ЕЧР	1.8	16	-1.3	1	2.2	13	2.6	23	1.0	1
Центр и юг Зап. Сибири	0.6	2	5.3	15	0.2	0	0.1	0	-0.4	0
Центр и юг Вост. Сибири	1.1	22	3.4	33	1.5	22	0.4	2	-0.2	0
Дальний Восток	0.3	3	1.7	13	0.5	1	-1.2	5	0.6	3
Алтай и Саяны	0.9	10	1.7	7	1.0	5	0.8	6	0.3	0
Юг ЕЧР	2.6	43	0.2	0	3.2	20	3.2	46	1.7	6
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	0.2	0	-5.8	9	1.1	3	0.5	1	-2.6	6
Центральный	2.4	17	-5.3	6	3.8	21	3.1	22	1.5	1
Приволжский	2.0	14	1.8	1	1.4	4	2.9	20	1.5	2
Южный	3.1	51	0.7	0	3.5	21	3.6	49	2.5	12
Северо-Кавказский	2.1	29	-0.6	0	2.5	13	3.1	37	1.5	4
Уральский	0.7	2	5.0	11	-0.3	0	1.0	2	-0.8	1
Сибирский	0.9	14	3.3	23	0.8	6	0.4	2	0.0	0
Дальневосточный	0.6	14	3.2	29	0.5	4	-0.4	2	0.2	0

Зимой (рис. 10.6) почти на всей территории РФ наблюдается рост продолжительности солнечного сияния, в среднем для России он составляет $2.4\%/10\text{лет}$. Ряды средних годовых и сезонных аномалий ПСС для территории РФ в целом и отдельно для ЕЧР и АЧР показаны на рис. 10.7. В зимний сезон наиболее значительное увеличение ПСС наблюдается в АЧР. В регионе «Север Восточной Сибири и Якутии» тренд достигает

9.8%/10лет, а вклад тренда в дисперсию ряда – 41%. В то же время на западе ЕЧР отмечается отрицательный тренд ПСС, в Центральном и Северо-западном ФО он составляет более -5%/10лет.

Весной на территории России преобладает рост ПСС. Для РФ в целом весенний тренд составляет 1.0%/10лет, что существенно меньше зимнего. При этом в ЕЧР тренд в 3.5 раза больше, чем в АЧР. Наибольший тренд наблюдается в Центральном и Южном ФО. В **летний** сезон в АЧР заметно увеличивается территория с отрицательным трендом, в результате средняя для территории РФ скорость роста ПСС уменьшается до 0.7%/10лет. Однако в целом для ЕЧР тренд, по сравнению с весной, несколько увеличивается, поскольку к значительному тренду в центре и на юге ЕЧР добавляется существенный (2.9%/10лет) тренд в Приволжском ФО. В целом для АЧР тренд летом практически отсутствует (вклад тренда в суммарную дисперсию ряда составляет 0%). При этом в Дальневосточном регионе наблюдается слабый, статистически незначимый отрицательный тренд. В **осенний** сезон отрицательным трендом занята существенная часть территории страны. Тем не менее для территории РФ в целом, а также для обеих ее частей тренд является положительным, но статистически не значимым. Статистически значимый положительный тренд сохраняется осенью только в Южном ФО.

Временные ряды аномалий годовых сумм ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ представлены на рис. 10.8.

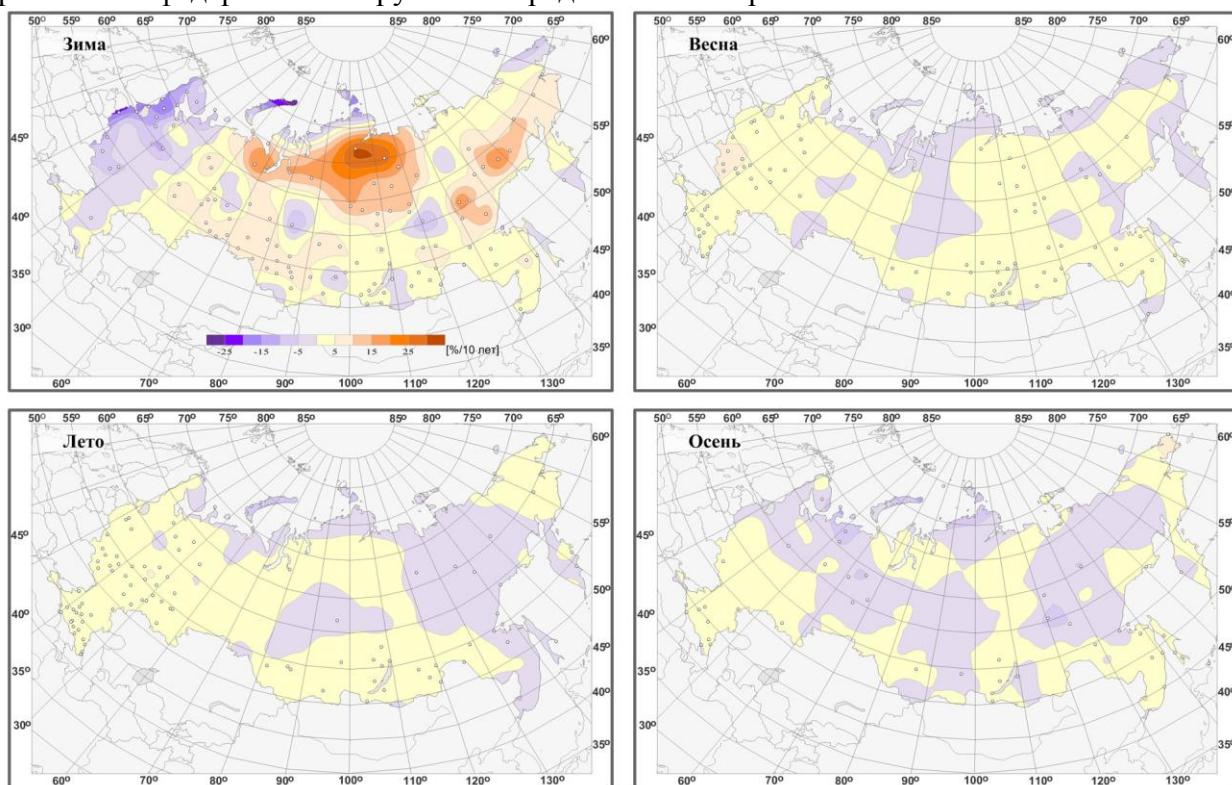


Рисунок 10.6 – См. рис. 10.5, но для коэффициентов линейного тренда относительных аномалий **сезонной** продолжительности солнечного сияния

Во всех регионах и федеральных округах РФ тренд годовых сумм ПСС в период 1976-2019 гг. был положительный, причем в большинстве из них статистически значимый (см. табл. 10.3). Сравнение с оценками для 2018 г. показало, что метеорологические условия 2019 г. способствовали некоторому ослаблению положительных тенденций в многолетних изменениях ПСС: в среднем для территории РФ и ее европейской части положительный тренд несколько замедлился. При этом если в регионе «Центр ЕЧР» тренд уменьшился от 2.1 до 1.8% за 10 лет, то в регионе «Юг ЕЧР» тренд несколько увеличился (от 2.5 до 2.6%/10лет). Наиболее заметно уменьшился тренд в Приволжском ФО (от 2.4 до 2.0%/10лет).

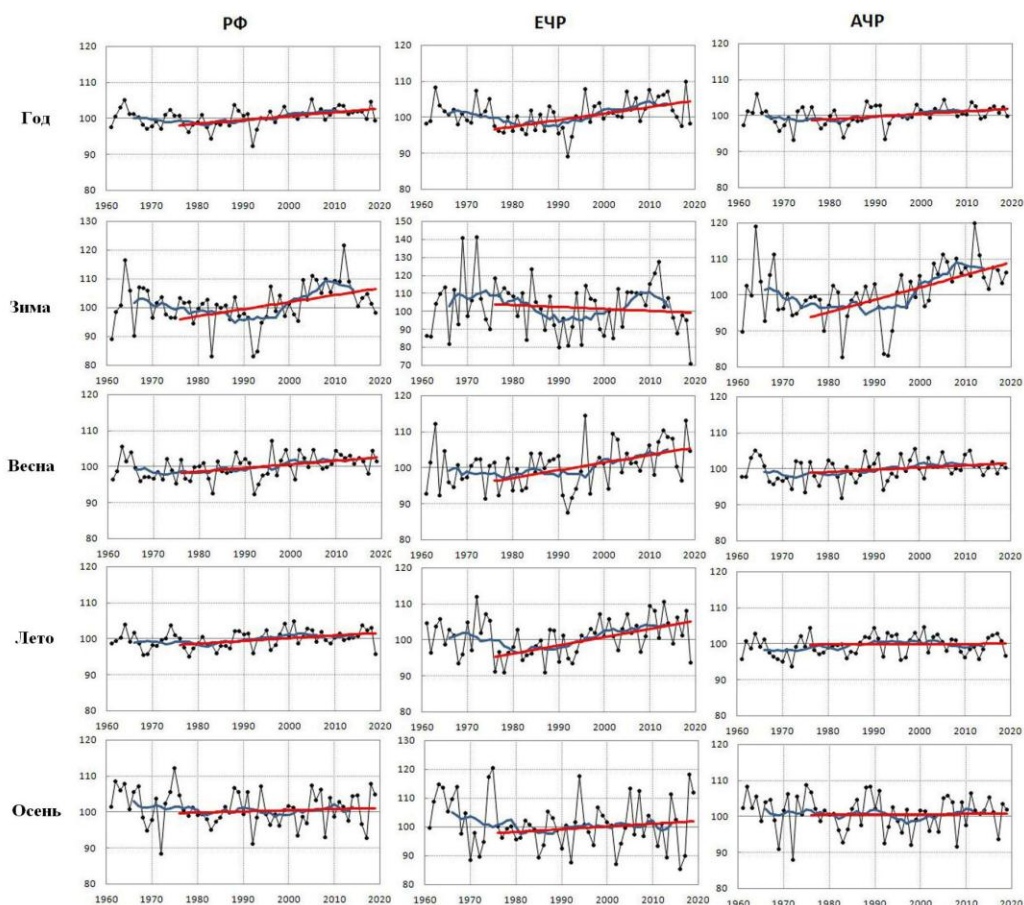


Рисунок 10.7 – Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) части

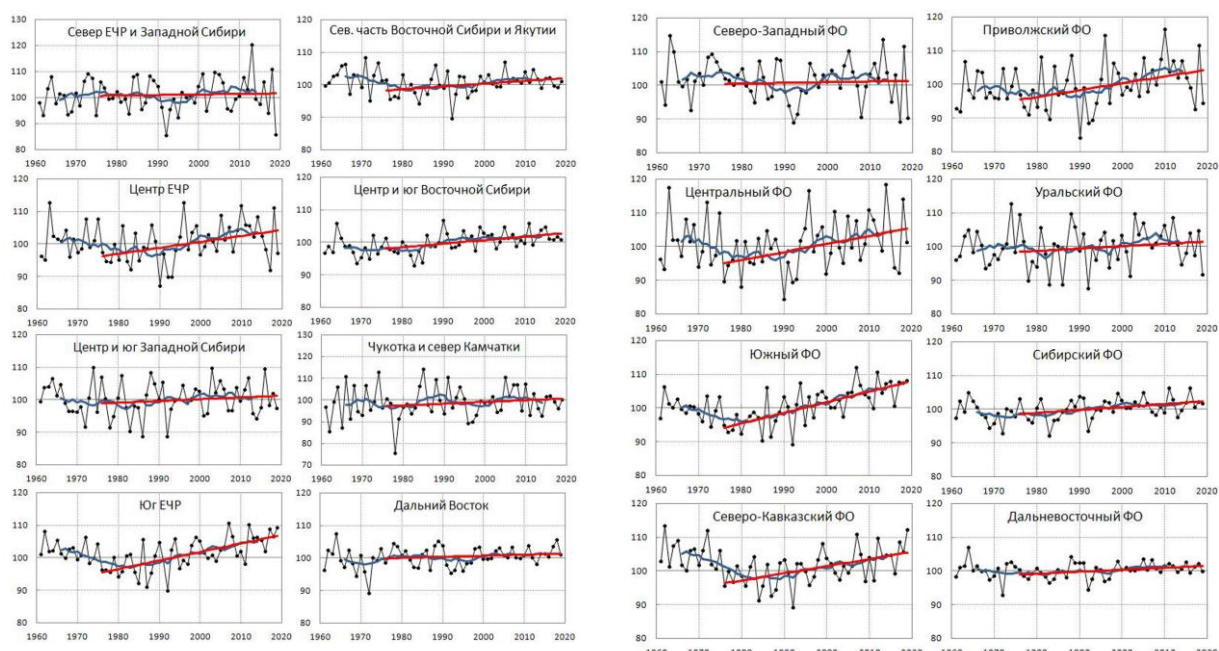


Рисунок 10.8 – Относительные аномалии (%) суммарной за год продолжительности солнечного сияния, осредненные по физико-географическим регионам и по федеральным округам РФ

11. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Температура воздуха в слое атмосферы высотой до 30 километров, наряду с приземной температурой и температурой поверхности океана, является важнейшей характеристикой состояния климатической системы и происходящих в ней изменений. Основной особенностью полей температуры в свободной атмосфере является их зональный характер, т.е. в значительной мере выраженная гладкость полей в направлениях вдоль кругов широты. Поэтому для оценки текущих изменений климата свободной атмосферы применяют зонально обобщенные вдоль широтных кругов характеристики, для которых важнейшими пространственными координатами остаются географическая широта и высота по вертикали (или давление, убывающее с высотой). В этом состоит существенное отличие результатов данного раздела от результатов других разделов, где географическая долгота при расчетах и обобщении оценок играет существенную роль.

Приводимые оценки получены по срочным данным радиозондовых наблюдений, собираемым с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с глобальной сети аэрологических станций. Общее число станций, по которым ведется сбор аэрологических данных, превышает 900 и варьирует от месяца к месяцу. В их число входят более ста функционировавших в 2019 г российских станций, включая антарктические и СП. Около 700 станций глобальной сети расположены в Северном полушарии. На основе собранных месячных порций радиозондовых данных срочных наблюдений рассчитывается массив статистических характеристик различных метеовеличин в свободной атмосфере, включая статистические характеристики температуры, на стандартных изобарических поверхностях для каждой из станций. На основе взвешенного вертикального обобщения рассчитываются также значения температуры в основных слоях атмосферы: 850-300 гПа (тропосфера), 100-50 гПа (нижняя стратосфера), 300-100 гПа (переходный слой, характеризующийся значительной нестабильностью). Следующим этапом расчетов является расчет месячных аномалий температуры. Аномалии температуры на основных изобарических поверхностях и в каждом из указанных слоев атмосферы для каждого месяца, - вычислялись для каждой станции. В качестве норм использовались соответствующие характеристики температуры для этой станции, осредненные за период 1981-2010 гг. Такой выбор периода вычисления норм объясняется, во-первых, целесообразностью проводить в дальнейшем сопоставления с рядами аномалий температуры в свободной атмосфере, полученными на основе спутниковых наблюдений, начало которым положено с 1979 года. Во-вторых, оценки норм за такой период вычисления наименее, по сравнению с другими вариантами выбора тридцатилетнего периода, подвержены влиянию возможных неоднородностей в рядах, возникающих из-за особенностей функционирования глобальной сети радиозондирования.

При осреднениях, как в пределах месяца, так и при дальнейших обобщениях, использовались веса, равные числу признанных при контроле корректными соответствующих срочных значений температуры.

Путем пространственного осреднения постанционных месячных аномалий рассчитывались аномалии по пятиградусным широтным поясам Северного полушария. Результаты этого осреднения использованы для расчетов и для графического отображения широтно-вертикальных сечений аномалий. Кроме этого, постанционные месячные аномалии взвешенно осреднялись по тридцатиградусным широтным поясам 0-30 с.ш., 30-60 с.ш. и 60-90 с.ш., а также по всему Северному полушарию. В таких осреднениях в качестве веса для учета месячной аномалии каждой станции был использован косинус географической широты этой станции.

Наконец, наряду с пространственным осреднением постанционных месячных аномалий по пятиградусным и тридцатиградусным широтным поясам Северного полушария и по Северному полушарию в целом, проводилось дополнительно осреднение

постанционных месячных аномалий по сезонам для каждого сезона 2019 года (зимний сезон включал декабрь 2018 г и январь-февраль 2019 г), а также для 2019 года в целом.

Особенности температурного режима в свободной атмосфере в 2019 г.

В табл. 11.1 приведены значения аномалий температуры за 2019 год для каждого из 12 месяцев, для двух широтных зон Северного полушария (30-60° с.ш. и 60-90° с.ш.) для отдельных изобарических поверхностей: 850 гПа, 500 гПа, 300 гПа и 100 гПа. Перечисленные изобарические поверхности в среднем для года отвечают примерно высотам 1.23 км, 4.95 км, 8.52 км и 16.21 км над уровнем моря соответственно.

В умеренных широтах в тропосфере преобладают положительные аномалии температуры. Наибольшие аномалии наблюдались в октябре и превышали 1.04°С во всем слое тропосферы. В сентябре также наблюдались большие положительные аномалии температуры, превышавшие 0.84°С во всем слое тропосферы. В феврале положительная аномалия температуры 1.28°С наблюдалась на высоте 500 гПа, а в декабре 1.75°С наблюдалось на высоте 850 гПа. Отрицательные аномалии в тропосфере наблюдались только в январе, марте и мае на высоте 300 гПа, причем в январе и мае они были близки к нулю, а в марте достигали -0.25°С. В мае в тропосфере наблюдались небольшие аномалии температуры, не превышавшие 0.18°С. В нижней стратосфере с марта по июнь наблюдались положительные аномалии температуры, изменявшиеся от 0.03°С в марте до 0.37°С в июне. В остальные месяцы наблюдались отрицательные аномалии температуры, причем в январе, феврале, сентябре и октябре они превышали -1.19°С по абсолютному значению. Наибольшее изменение аномалий температуры с высотой наблюдалось в декабре и составило 2.4°С. Наибольшая положительная аномалия в умеренных широтах наблюдалась в декабре на высоте 850 гПа (1.75°С), а наибольшая отрицательная – в феврале на высоте 100 гПа (-1.47°С).

Таблица 11.1 - Аномалии температуры за 2019 год для двух широтных зон Северного полушария (30-60 с.ш. и 60-90 с.ш.) на отдельных изобарических поверхностях. Цветной заливкой показаны отрицательные (голубой) и положительные (желтый) аномалии

МЕСЯЦ	30-60 С.Ш.				60-90 С.Ш.			
	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа
Январь	0.30	0.32	-0.02	-1.35	-0.31	-0.83	0.75	4.91
Февраль	0.53	1.28	0.49	-1.47	0.80	0.91	0.19	0.73
Март	0.83	0.13	-0.25	0.03	2.10	0.90	-0.62	-2.10
Апрель	0.60	0.57	0.20	0.21	1.29	0.00	-1.01	-1.10
Май	0.05	0.18	-0.04	0.27	1.19	0.54	-0.23	0.58
Июнь	0.72	0.50	0.24	0.37	1.18	0.74	-0.16	-0.04
Июль	0.42	0.36	0.26	0.16	0.39	0.27	-0.06	0.01
Август	0.57	0.71	0.81	-0.21	0.91	0.52	0.11	-0.16
Сентябрь	1.00	0.92	0.84	-1.22	1.06	0.30	0.25	-0.05
Октябрь	1.04	1.26	1.10	-1.19	1.22	0.55	0.13	-0.34
Ноябрь	0.43	0.95	0.54	-0.10	0.69	0.68	-0.19	-0.66
Декабрь	1.75	0.85	0.64	-0.65	1.06	0.41	0.29	-0.21

аномалии температуры превышали 1.06°С. Наибольшая положительная аномалия температуры наблюдалась в марте на высоте 850 гПа и составила 2.10°С. В нижней стратосфере отрицательные аномалии температуры наблюдались на протяжении всего года, за исключением января, февраля, мая и июля. В марте и апреле наблюдались наибольшие отрицательные аномалии температуры (-2.10 и -1.10°С соответственно). В январе в нижней стратосфере положительная аномалия температуры достигала 4.91°С.

Столь существенные различия в величинах аномалий температуры от месяца к месяцу и по вертикали на отдельно рассматриваемых изобарических поверхностях

В высоких широтах в тропосфере на высотах 850 и 500 гПа на протяжении всех месяцев, за исключением января, преобладали положительные аномалии температуры. На высоте 300 гПа отрицательные аномалии наблюдались с марта по июль, а также в ноябре. В апреле они достигали -1.01°С. На протяжении всех месяцев, за исключением января и февраля, аномалии температуры в тропосфере уменьшались с высотой. На высоте 850 гПа с марта по июль, а также в сентябре, октябре и ноябре

сказываются и на результатах временного обобщения по отдельным сезонам, и на результатах пространственного вертикального обобщения по наиболее часто рассматриваемым слоям свободной атмосферы.

В Табл. 11.2 приведены аномалии температуры, обобщенные для каждого из четырех сезонов 2019 года (зимний сезон включает период декабрь 2018-февраль 2019 г) и для года в целом осредненные по вертикали внутри слоев 850-300 гПа (тропосфера) и 100-50 гПа (нижняя стратосфера) для тридцатиградусных широтных зон Северного полушария и полушария в целом.

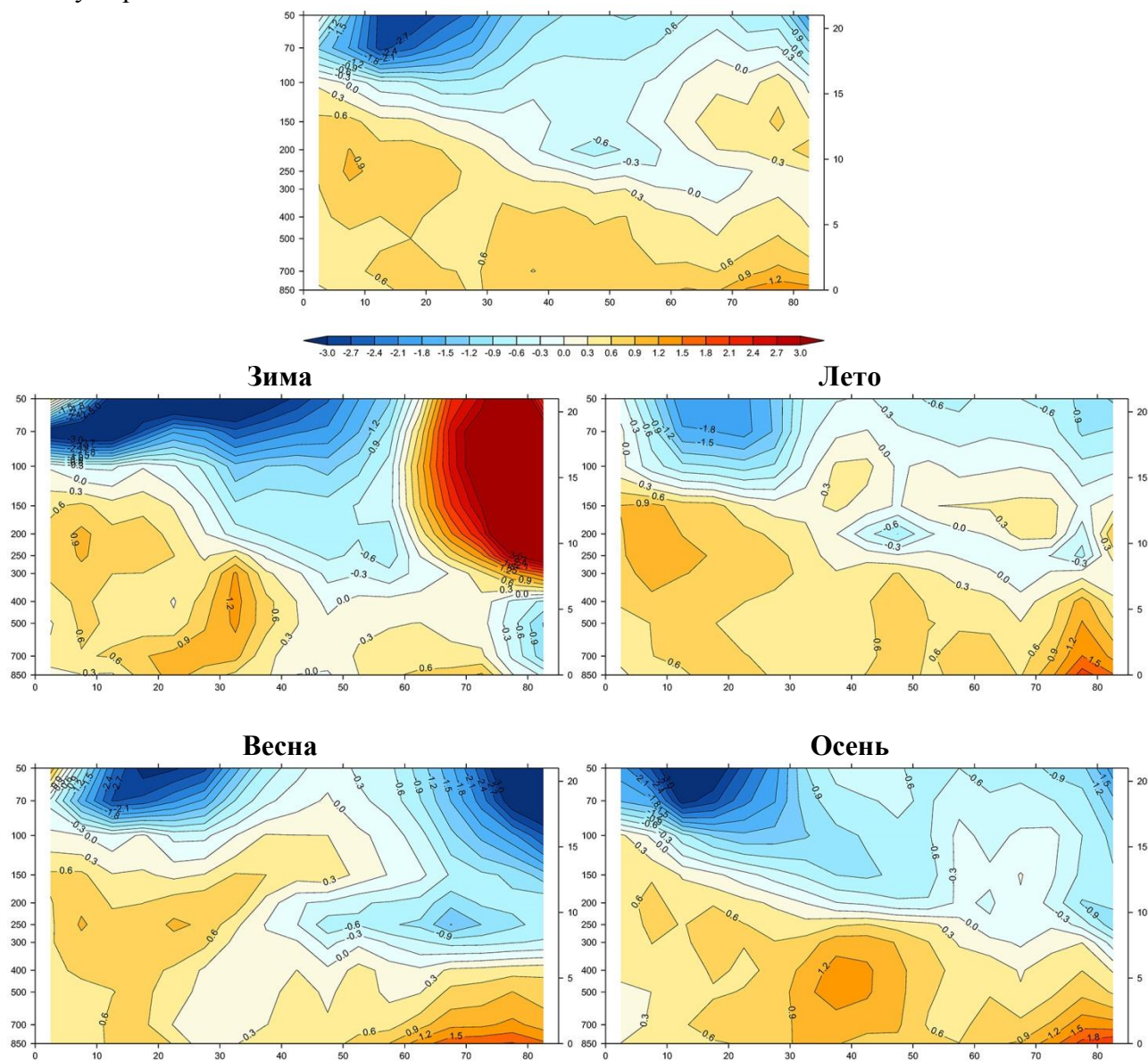


Рисунок 11.1 - Вертикально-широтная структура годовых аномалий температуры свободной атмосферы в 2019 году и в отдельные сезоны. Горизонтальная ось – широты, левая вертикальная ось – давление на стандартных изобарических поверхностях, правая вертикальная ось – высоты над уровнем моря в км.

В тропосфере лето 2019 года стало рекордно теплым с 1958 года в низких широтах, а аномалия температуры составила 0.58°C . В умеренных широтах рекордно теплой стала осень, а аномалия температуры составила 0.94°C . В низких широтах все сезоны вошли в шестерку самых теплых сезонов, а год в целом стал вторым рекордно теплым с 1958 года. Его аномалия температуры составила 0.55°C . В умеренных широтах год в целом стал третьим в ряду самых теплых лет с аномалией 0.64°C . В высоких широтах весна и осень заняли 7 и 9 ранги в рядах самых теплых сезонов соответственно. В целом по северному полушарию в 2019 году наблюдалась рекордно теплая осень с аномалией температуры

0.79°C, а год в целом стал 3 в ряду самых теплых лет. Зима и лето 2019 также вошли в пятерку самых теплых сезонов по северному полушарию с аномалиями температуры 0.51 и 0.55°C соответственно.

В нижней стратосфере отрицательные аномалии температуры наблюдались на протяжении всех сезонов во всех широтных зонах, за исключением зимы в высоких широтах. Зима 2019 года стала рекордно холодной в умеренных широтах и в целом по Северному полушарию со значениями аномалий температуры -1.93 и -1.77°C соответственно.

В низких широтах лето 2019 года стало третьим самым холодным летом с 1958 года, а все остальные сезоны и год в целом – вторыми. При этом аномалии температуры во все сезоны превышали -1.32°C по абсолютному значению. В умеренных широтах 2019 год стал пятым в ряду самых холодных лет, а аномалия температуры составила -0.74°C.

В высоких широтах зимой наблюдалась положительная аномалия температуры, достигавшая 1.74°C, а весна и осень стали 6 и 3 в ряду самых холодных сезонов с аномалиями температуры -1.21 и -0.53°C соответственно.

В среднем по Северному полушарию осень и 2019 год в целом стали третьими в соответствующих рядах с аномалиями температуры -1.14 и -1.01°C.

Таблица 11.2 – Аномалии температуры в тропосфере и нижней стратосфере от норм 1981-2010 гг., ΔT_{2019} - величина аномалии в градусах Цельсия, R (-R) – ранг (обратный ранг) в рядах, упорядоченных по возрастанию значений соответствующих аномалий за период 1958-2019 гг.

Сезон	0-30 С.Ш.		30-60 С.Ш.		60-90 С.Ш.		Северное полушарие	
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
	ΔT_{2019}	-R	ΔT_{2019}	-R	ΔT_{2019}	-R	ΔT_{2019}	-R
Зима	0.65	3	0.45	10	0.30	16	0.51	5
Весна	0.43	6	0.30	14	0.63	7	0.37	10
Лето	0.58	1	0.54	7	0.55	14	0.55	4
Осень	0.57	5	0.94	1	0.62	9	0.79	1
Год	0.55	2	0.64	3	0.52	7	0.60	3
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100–50 гПа								
	ΔT_{2019}	R	ΔT_{2019}	R	ΔT_{2019}	R	ΔT_{2019}	R
Зима	-2.16	2	-1.93	1	1.74	45	-1.77	1
Весна	-1.58	2	-0.29	20	-1.21	6	-0.76	7
Лето	-1.32	3	-0.20	20	-0.34	14	-0.56	11
Осень	-1.97	2	-0.75	6	-0.53	3	-1,14	3
Год	-1.69	2	-0.74	5	-0.18	15	-1.01	3

Более детально вертикально-широтная структура для годовых и сезонных аномалий температуры в 2019 г показана на рис. 11.1. На рис. 11.2 представлены посезонно ранги 10 самых теплых в тропосфере и 10 самых холодных в нижней стратосфере лет, причем отдельно выделено положение 2019 г.

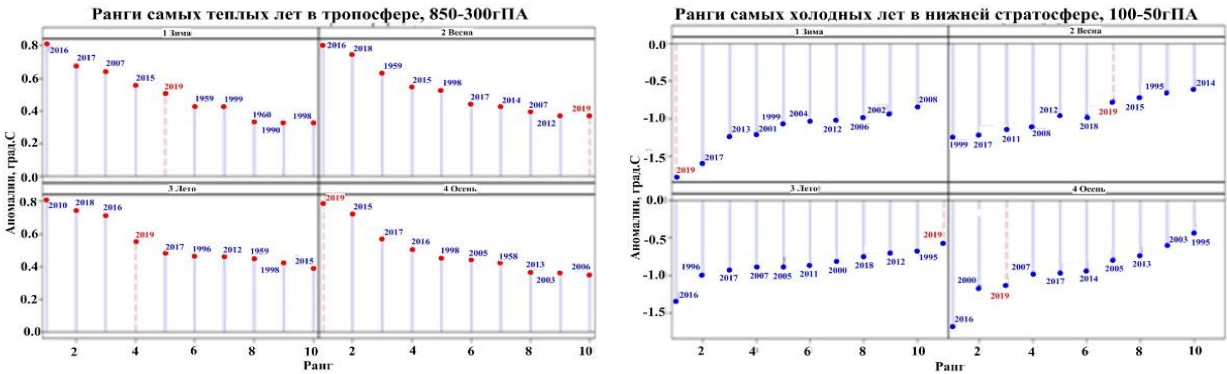


Рисунок 11.2 - Ранги самых значительных сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1958-2019 г. Левая панель – положительные аномалии, тропосфера (850-300 гПа), правая панель – отрицательные аномалии, нижняя стратосфера (100-50 гПа). Обозначения сезонов по аналогии с рис. 10.2, 2019 год выделен красным пунктиром.

Тенденции современных изменений температуры воздуха в свободной атмосфере

Современные тенденции изменения температуры в свободной атмосфере, суть которых сводится к потеплению в тропосфере и похолоданию в нижней стратосфере, проиллюстрированы для сезонов Северного полушария на рис. 11.3, где, наряду с рядами сезонных аномалий, представлены линии трендов.

Табл. 11.3 содержат значения линейных трендов, вычисленных за период 1981-2019 на основе рядов сезонных и годовых аномалий отдельных широтных зон и Северного полушария в целом для тропосферы и нижней стратосферы соответственно.

Как следует из табл. 11.3, статистически для тропосферы значимая тенденция потепления не наблюдается для зимнего сезона в зоне умеренных широт. Тенденция потепления в низких широтах для весны и лета стала статистически значимой по сравнению с 2018 годом. В низких широтах тенденции к потеплению во всех сезонах увеличились по сравнению с 2018 годом. В умеренных широтах увеличились осенний и годовой тренды, а весенний и летний уменьшились.

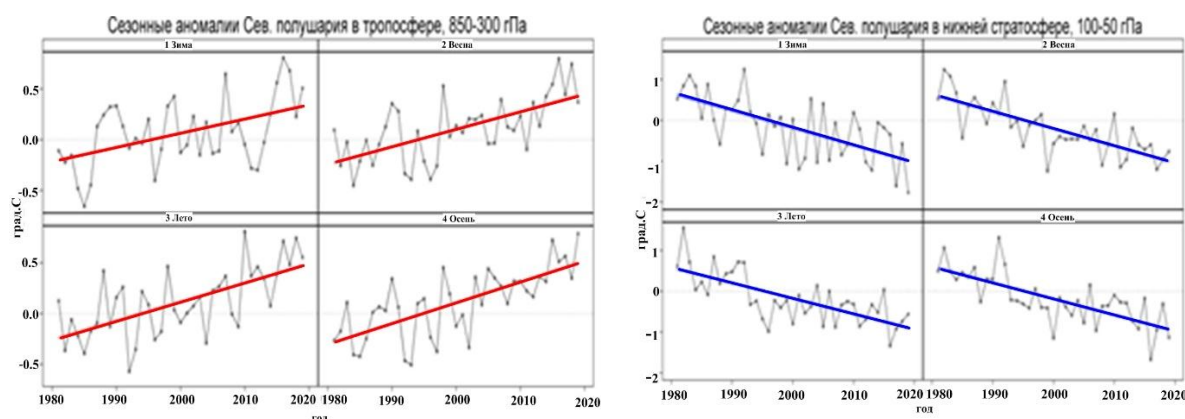


Рисунок 11.3 - Ряды сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1981-2019 г. Левая панель – тропосфера (850-300 гПа), правая панель – нижняя стратосфера (100-50 гПа). Линии трендов построены методом наименьших квадратов для тропосферы (красный цвет) и нижней стратосферы (синий цвет). Обозначения сезонов по аналогии с рис. 10.2.

В высоких широтах увеличился только весенний тренд. В целом по Северному полушарию увеличились все тренды за исключением весеннего.

В целом по Северному полушарию наблюдались статистически значимые положительные тренды изменения температуры: от $0.14^{\circ}\text{C}/10$ лет зимой до $0.21^{\circ}\text{C}/10$ лет осенью. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере увеличился по сравнению с прошлым годом и составил $0.18^{\circ}\text{C}/10$.

Таблица 11.3 – Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2019 гг.), b – значения сезонного или годового тренда, ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), D – объясненная линейным трендом доля общей дисперсии ряда в %. Жирным курсивом выделены значения трендов, значимо отличные от нуля с вероятностью не менее 0.95

СЕЗОН	0-30 С.Ш.		30-60 С.Ш.		60-90 С.Ш.		Северное полушарие	
	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
Зима	0.19	34	0.11	8	0.17	25	0.14	23
Весна	0.10	13	0.21	39	0.15	15	0.17	41
Лето	0.08	14	0.23	42	0.24	35	0.19	41
Осень	0.14	22	0.23	44	0.25	35	0.21	50
Год	0.13	29	0.20	51	0.20	43	0.18	51
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа								
Зима	-0.68	50	-0.36	23	-0.01	0	-0.43	42
Весна	-0.56	57	-0.36	38	-0.35	13	-0.42	58
Лето	-0.50	50	-0.34	41	-0.23	34	-0.38	50
Осень	-0.60	46	-0.33	45	-0.20	32	-0.40	53
Год	-0.58	67	-0.34	58	-0.21	16	-0.40	67

Для нижней стратосферы очевидное статистически значимое похолодание имеет место для всех осуществленных вариантов оценки тренда, за исключением зимнего сезона

в высоких широтах. В низких широтах все тренды за исключением летнего увеличились по сравнению с 2018 годом по абсолютному значению. В умеренных широтах зимний тренд увеличился с $-0.31^{\circ}\text{C}/10$ в 2018 году до $-0.36^{\circ}\text{C}/10$ в 2019 году. Все остальные тренды уменьшились. В высоких широтах уменьшились все тренды за исключением летнего и осеннего. В целом по Северному полушарию уменьшились абсолютные значения весеннего и летнего трендов, а абсолютные значения зимнего и осеннего трендов увеличились. В Северном полушарии скорость стратосферного похолодания составляла от $-0.43^{\circ}\text{C}/10$ лет зимой до $-0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет летом. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере не изменилось по сравнению с предыдущим годом и составило $-0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Выводы

В тропосфере Северного полушария 2019 год стал третьим самым теплым годом с 1958 года. Среднегодовая аномалия температуры составила 0.60°C . Таким образом, 2015-2019 гг. являются пятью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария. При этом весна и лето 2019 года в Северном полушарии вошли в пятерку самых теплых сезонов, а осень стала рекордно теплой с аномалией температуры 0.79°C . Также рекордно теплые лето и осень наблюдались в низких и умеренных широтах соответственно, а их аномалии температуры составили 0.58 и 0.94°C .

В нижней стратосфере 2019 год стал третьим в ряду самых холодных лет по всему Северному полушарию со среднегодовой аномалией -1.01°C , уступая только 2016 и 2017 годам. В умеренных широтах наблюдалась рекордно холодная зима с аномалией температуры -1.93°C , а в низких широтах все сезоны заняли второе место в ряду самых холодных сезонов, и только лето – третье. В высоких широтах зимой наблюдалась положительная аномалия температуры, достигавшая 1.74°C .

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2019 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере. Добавление оценок аномалий за 2019 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2018 года включительно, привело к увеличению абсолютных значений зимнего, летнего и осеннего трендов в тропосфере, а также зимнего и осеннего трендов в нижней стратосфере. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере увеличился на $0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет и составил $0.18^{\circ}\text{C}/10$ лет. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере не изменилось по сравнению с предыдущим годом и составило $-0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет.

12. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА

Для мониторинга режима приземного ветра используются срочные данные с метеорологических станций (≈ 1500) Российской Федерации. Использованы данные из архивов Госфонда и данные оперативного потока, собираемые с каналов связи ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Для оценки аномальности текущего режима ветра использовались средние многолетние значения характеристик ветра за период **1981 - 2010** годы (нормативные характеристики). Анализ многолетних изменений характеристик режима ветра проводился по рядам средних для 9 квазиоднородных климатических регионов характеристик. Регионы обозначены на рис. 3 (Введения).

На рис. 12.1.а представлено пространственное распределение максимальной за 2019 год скорости ветра, полученной из средних за 10-минутный интервал времени.

Средняя скорость ветра 15 м/с и более наблюдалась в 2019 году повсеместно, но повторяемость сильного ветра значительно выше в прибрежных зонах Северно-Ледовитого океана, на Чукотке и Камчатке. (рис. 12.1.в). Максимальное количество дней с сильным ветром (более 152) на территории РФ в 2019 году, отмечалось на крайней южной точке полуострова Камчатка (метеостанция мыс Лопатка). На метеостанции Малые Кармакулы (о. Новая Земля) наблюдалось 90 дней с сильным ветром. Помимо прибрежных районов значительное число дней с ветром более 15 м/с отмечалось на Алтае (метеостанция Кара-Тюрек) и составило 44 дня. Аномалии числа дней со скоростью ветра более 15 м/с представлены на рис. 12.1.

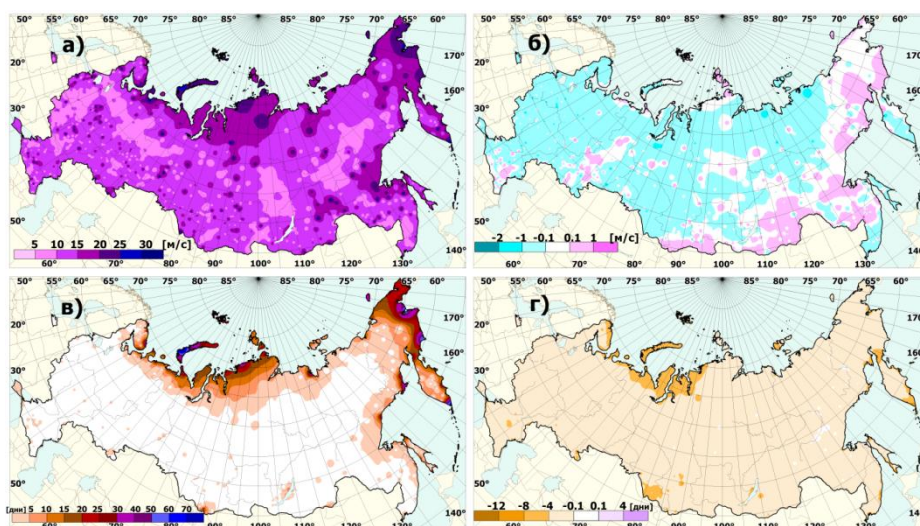


Рисунок 12.1 - а) Максимальная скорость ветра за 2019 год (без учета порывов); б) аномалии среднегодовой скорости ветра в 2019 году; в) число дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2019 году; г) аномалии (отклонение от средних многолетних значений) числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2019 году

Максимальное отрицательное значение наблюдалось на метеостанции Териберка Мурманской области (-12.15 дней). Так же значительные отрицательные аномалии числа дней с сильным ветром отмечены во Владивостоке. Положительные аномалии этой характеристики не превышают 0.2 дня, наблюдались они преимущественно на территории Дальневосточного ФО. Аномалии скорости ветра, представленные на рис. 12.1.б, на большей части РФ в 2019 году отрицательны. Максимальные по абсолютной величине отрицательные значения (более 2 м/с) отмечаются на метеостанциях Невельск (Сахалинская область) и Курган (-2.04 м/с и -2.01 м/с соответственно). Положительные аномалии скорости ветра за год не превышают 1.7 м/с, наибольшие положительные значения получены для метеостанции Хабаровска и Мугур-Аксы (республика Тыва).

Распределение аномалий скорости ветра по сезонам в 2019 году представлены на рис. 12.2. Отклонения от нормы редко превышают 2 м/с. Значительные отрицательные аномалии (-4.01 м/с) отмечаются на м/с Мыс Микулин Ненецкого автономного округа весной (-4.01 м/с) и на м/с о.Вилькицкого Ямало-Ненецкого АО летом (-3.32 м/с). Зимой максимальное отклонение от нормы составляет -2.66 м/с и отмечается на метеостанции Чокурдах (Якутия), осенью -2.9 м/с – на метеостанции Невельск (Сахалин). Положительные аномалии более 2 м/с встречаются зимой и осенью на метеостанции Хабаровск. Летом наибольшие положительные аномалии (1.69 м/с) отмечаются в Южно-Сухокумске (Дагестан), весной – 1.18 м/с в Мугур-Аксы (Республика Тыва).

Количество дней с экстремальным ветром (скорость ветра выше значения, соответствующего 95-ому процентилу в 2019 году на территории РФ отмечено цифрами на рис. 12.2. Наибольшее количество таких дней наблюдались на метеостанции Чокурдах (Якутия): осенью – 9, зимой и летом по 6 дней. Весной количество дней с экстремальным

ветром не превышало 3 дня за сезон. Такие случаи наблюдались преимущественно в Хабаровском крае.

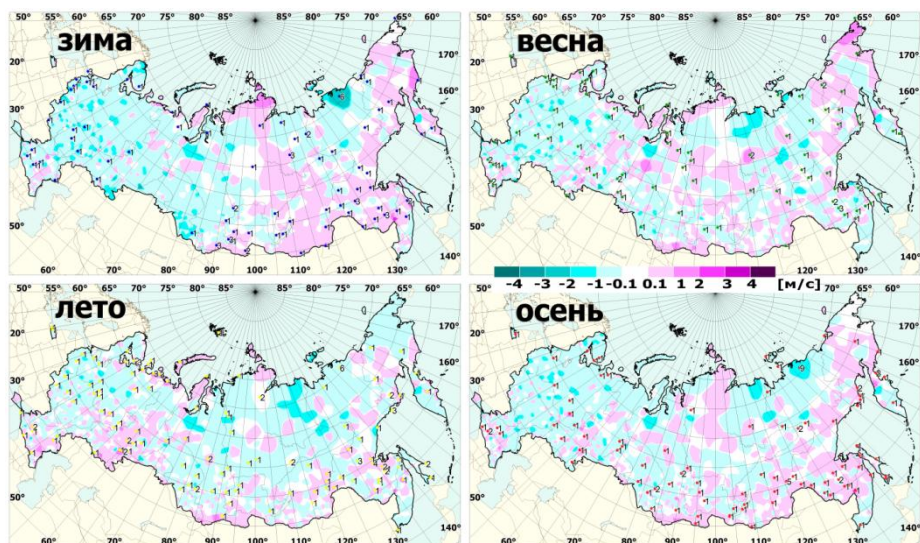


Рисунок 12.2 - Аномалии средней скорости ветра. Цветными точками и цифрами обозначены станции, на которых скорость ветра превышала 95-й процентиль и число дней с экстремальной скоростью ветра.

Многолетние изменения характеристик ветра

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений средней по сезонам скорости ветра и числа дней с большими скоростями на интервале 1976 – 2019 гг., которые рассчитаны по данным станционных наблюдений, показано на рис. 12.3 и 12.4. Тренд выражен в м/с за 10 лет и в днях за 10 лет соответственно. Оценке региональных изменений представлены в табл. 12.1.

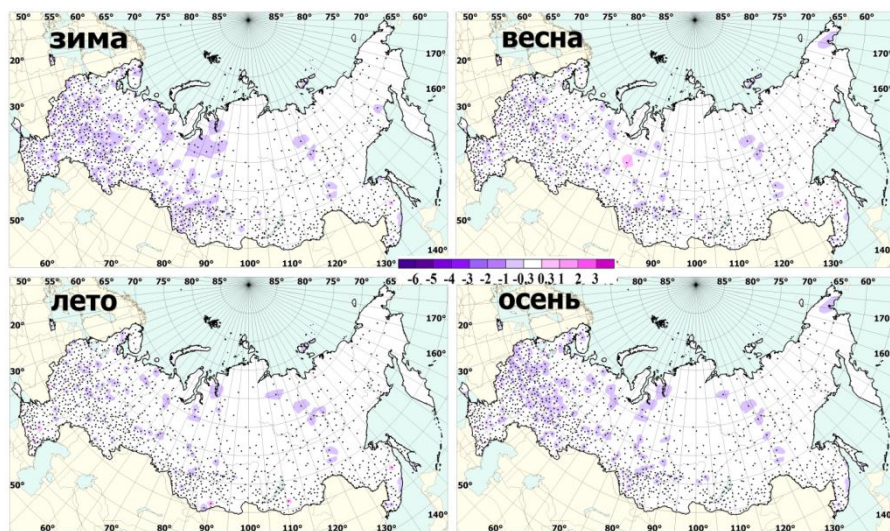


Рисунок 12.3 – Коэффициенты линейного тренда ((м/с)/10лет) в рядах средней скорости ветра (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2019гг.

Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Дагестан (о. Тюлений) во все сезоны года. Рост не превышает 0.6 м/с за 10 лет. Наибольшая тенденция уменьшения скорости ветра отмечается в Невельске (Сахалинская обл.). Это единственный пункт, где скорость ветра во все сезоны уменьшалась больше, чем на 1 м/с за 10 лет. На мс Серафимович коэффициент линейного тренда также меньше -1 м/с за 10 лет, но только зимой.

В изменении числа дней с сильным ветром (более 15 м/с) также выявлена тенденция уменьшения на большей части РФ. Только в 13 пунктах наблюдений для всех сезонов был получен положительный коэффициент линейного тренда.

Таблица 12.1 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-уровне значимости) регионально осредненных характеристик ветра для регионов России за 1976-2019 гг.: bV , (м/с)/10 лет – средней сезонной скорости ветра; bNd , дни/10лет – числа дней со скоростью ветра больше 15 м/с

Регион	bV				bNd			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Россия	-0.14	-0.10	-0.10	-0.14		-0.27		
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0.22	-0.15	-0.15	-0.19	-0.61			-0.57
Север Восточной Сибири и Якутии	-0.06	-0.10	-0.10	-0.06				
Чукотка и север Камчатки								
Центр ЕЧР	-0.24	-0.15	-0.15	-0.24	-0.75	-0.40	-0.16	-0.32
Центр и юг Западной Сибири	-0.24	-0.12	-0.12	-0.18	-1.08	-0.81	-0.33	-1.00
Центр и юг Восточной Сибири		-0.06	-0.06	-0.05		-0.41		
Дальний Восток	-0.05	-0.08	-0.08	-0.09			-0.42	-0.60
Алтай и Саяны	-0.09			-0.07				
Юг ЕЧР	-0.17	-0.08	-0.08	-0.13	-1.57	-0.90		-0.46

Наибольшие значения получены за зимний период для метеостанций Малокуринское (Сахалинская область) и Улья (Хабаровский край), весной – для мс о. Тюлений (Дагестан). Во всех перечисленных пунктах скорость изменения числа дней с сильным ветром превышает 2 дня/10 лет. Максимальный по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда (-6.3 дней/10 лет) получен зимой на мс Ненастная (Республика Хакасия), весной, летом и осенью – на мс Невельск. В целом осенью, зимой и весной отрицательные тенденции более выражены, чем летом. В эти же сезоны заметное уменьшение числа дней с сильным ветром отмечено на мс Усть-Чарышская пристань (Алтайский край).

При оценке региональных изменений получено, что во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается (табл. 12.1). Скорости уменьшаются и в большинстве квазиоднородных регионов. Число дней с ветром более 15 м/с зимой и осенью также уменьшается в большинстве регионов.

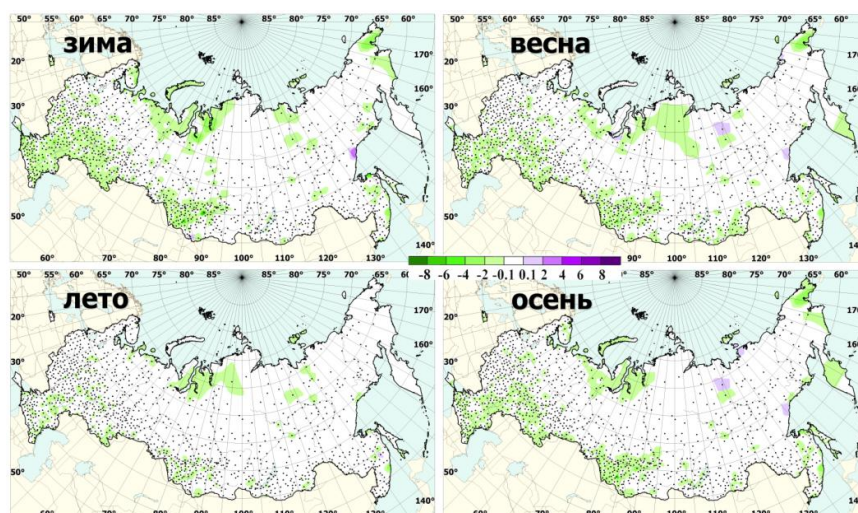


Рисунок 12.4 – Коэффициенты линейного тренда (день/10лет) в рядах числа дней со скоростью больше 15 м/с (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2019

13. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Для анализа используются срочные данные радиозондовых наблюдений около 115 аэрологических станций Российской Федерации, собираемые с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». На основе собранных срочных наблюдений рассчитывается массив статистических характеристик различных метеовеличин в свободной атмосфере, включая статистические характеристики скорости и направления ветра на стандартных изобарических поверхностях для каждой из станций. С использованием взвешенного вертикального обобщения рассчитываются также значения скорости и направления в следующих слоях атмосферы: 850-300 гПа (тропосфера), 100-50 гПа (нижняя стратосфера). Следующим этапом расчетов является расчет месячных аномалий скорости ветра. Аномалии скорости ветра на основных изобарических поверхностях и в каждом из указанных слоев атмосферы для каждого месяца вычислялись для каждой станции. В качестве норм использовались соответствующие характеристики скорости ветра для этой станции, осредненные за период 1985-2014 гг. Наконец, проводилось осреднение постанционных месячных аномалий по сезонам (зимний сезон 2019 г включал декабрь 2018 г. и январь-февраль 2019 г. и для 2019 года в целом. Для анализа конкретного временного интервала: месяца или сезона – использовались только станции, число наблюдений на которых за соответствующий период составляет не менее 50% от максимального числа наблюдений за этот период на соответствующей изобарической поверхности или слое.

На рис. 13.1 изображены годовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в тропосфере.

В целом за год в 2019 году над всей территорией России в тропосфере аномалии скорости ветра были в пределах от -1 до 1 м/с. Положительные аномалии наблюдались над большей частью европейской части России, над южной частью Сибири и на юге Дальнего Востока. Отрицательные – на северо-востоке Сибири и Дальнего Востока, а также на Юге России. Аномалии скорости ветра достигающие -2 м/с наблюдались только над Азовским морем и на востоке моря Лаптевых. Над большей частью территории России аномалий направления ветра не наблюдалось.

Зимой 2019 года в тропосфере над европейской частью России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра, достигающие -2 м/с. Положительные аномалии в европейской части России наблюдались только на севере Уральских гор. Направление ветра при этом соответствовало климатическому. Отрицательные аномалии (до -2 м/с) наблюдались также на юге Сибири и северо-востоке Дальнего Востока. Положительные аномалии скорости ветра наблюдались над большей частью Сибири и на юге Дальнего Востока. Аномалии скорости ветра при этом достигали 2 м/с. Над азиатской частью России значительных аномалий скорости ветра также не наблюдалось.

Весной 2019 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались на севере европейской части России, на юго-западе Сибири и на юге Дальнего востока. Над остальной территорией России имели место отрицательные аномалии скорости ветра. В районах Карского моря и моря Лаптевых они достигали -2 м/с. Направление ветра над всей территорией России соответствовало климатическому.

Летом 2019 года практически над всей территорией европейской части России наблюдались положительные аномалии в тропосфере. Над Самарской областью они достигали 4 м/с. Отрицательные аномалии скорости ветра над европейской частью России наблюдались только в районе Азовского моря, а также практически над всей территорией азиатской части России. Положительные аномалии имели место только на юго-западе Сибири, на Чукотке и над Северной Землей. На западе европейской части России из-за отрицательных аномалий меридионального ветра наблюдалось северо-западное направление ветра. На северо-востоке европейской части России и на севере Сибири направление ветра было юго-западным из-за положительных аномалий меридионального ветра. На востоке Сибири направление ветра снова сменилось на северо-западное.

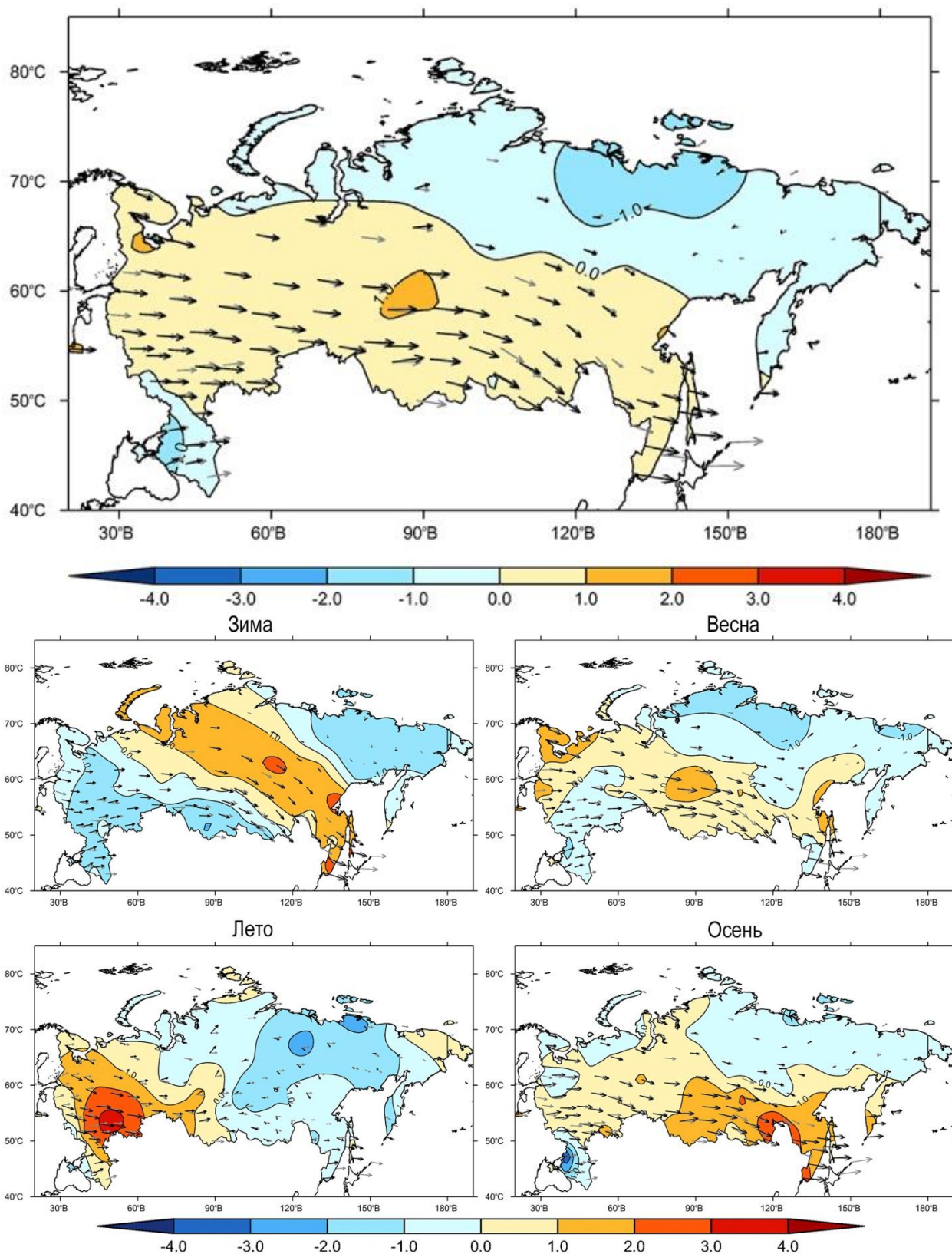


Рисунок 13.1 - Аномалии скорости ветра за год и для сезонов (зима 2018/19, весна, лето и осень 2019 г.) в тропосфере. Черные стрелки - среднее направление ветра в 2019 г., серые – за период 1985-2014 гг.

Осенью 2019 года положительные аномалии скорости ветра наблюдались южнее 60 с.ш. за исключением Юга России. На юге Дальнего Востока положительные аномалии достигали 3 м/с. Севернее 60 с.ш. преобладали небольшие отрицательные аномалии скорости ветра. Положительные аномалии наблюдались только в районе Уральских гор,

Карского и Белого морей. Направление ветра над всей территорией России в целом соответствовало климатическому.

На рисунке 13.2 показаны среднегодовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в нижней стратосфере.

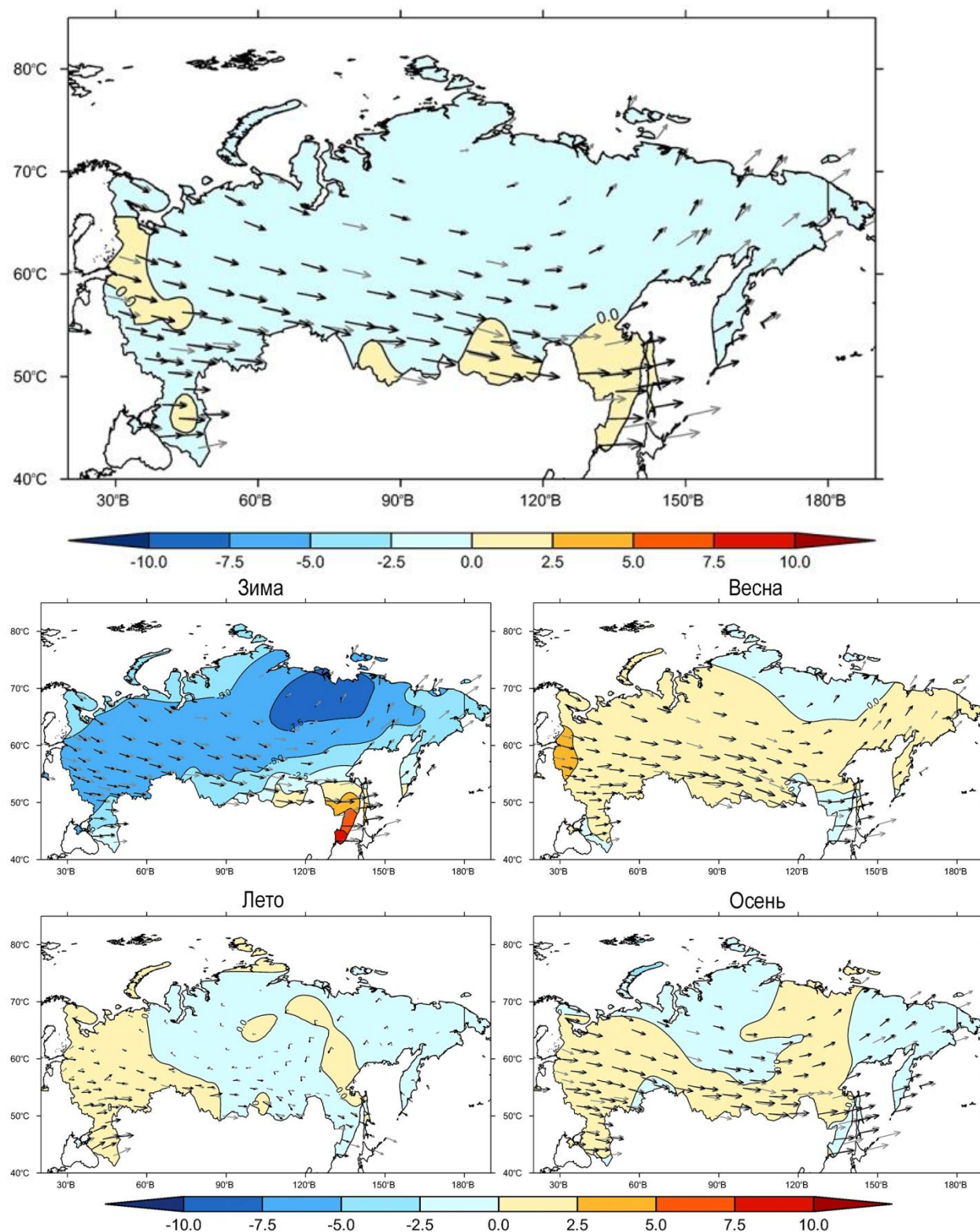


Рисунок 13.2 - Аномалии скорости ветра за год и для сезонов (зима 2018/19, весна, лето и осень 2019 г.) в нижней стратосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2019 г., серые – за период 1985-2014 гг.

В целом за год в 2019 практически над всей территорией России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. Положительные аномалии наблюдались только

на северо-западе европейской части России и на юге Дальнего Востока. Значения всех аномалий были в пределах от -2.5 м/с до 2.5 м/с. Значительных аномалий направления в целом за год не наблюдалось.

Зимой 2019 года в нижней стратосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались только на юге Дальнего Востока. Над остальной территорией России отрицательные аномалии достигали -7.5 м/с, а на северо-востоке Сибири – 10 м/с. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но на северо-востоке Дальнего Востока наблюдалось южное направление ветра из-за отрицательных аномалий зонального ветра.

Весной 2019 года над большей частью России преобладали положительные аномалии скорости ветра, достигающие 2.5 м/с, а над Ленинградской областью 5 м/с. отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались только на юге Дальнего Востока и на северо-востоке Сибири. Направление ветра соответствовало климатическому.

Летом 2019 года в нижней стратосфере над европейской частью России преобладали положительные аномалии скорости ветра, не превышавшие 2.5 м/с, а над азиатской – отрицательные аномалии скорости ветра, не превышавшие -2.5 м/с. На востоке Сибири из-за отрицательных аномалий зонального и меридионального ветра наблюдалось северное направление ветра, а на северо-востоке Дальнего Востока – северо-восточное направление ветра.

Осенью 2019 года в нижней стратосфере на северо-западе Сибири и на Дальнем Востоке наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, а над остальной территорией России – положительные. Величины аномалий скорости ветра не превышали 2.5 м/с по модулю. Направление ветра в целом соответствовало климатическому.

Таким образом, в 2019 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не было. Наибольшие отрицательные среднегодовые аномалии (до -2 м/с) наблюдались в районе Чукотского моря. Наибольшие положительные месячные аномалии скорости ветра (более 4 м/с) наблюдались летом над Самарской областью, а наибольшие отрицательные (до -4 м/с) – осенью в районе Азовского моря. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому, но летом имели место значительные отклонения направления ветра от климатических норм вследствие аномалий меридионального ветра.

В нижней стратосфере в среднем за год также не наблюдалось больших аномалий скорости ветра, при этом практически над всей территорией России преобладали отрицательные аномалии. Весной, летом и осенью аномалии скорости ветра не превышали 2.5 м/с по модулю. Только зимой практически над всей территорией России наблюдались аномалии, достигающие -7.5 м/с. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но зимой и летом имело место значительное отклонение направления ветра от климатических норм. Зимой из-за значительных отрицательных аномалий зонального ветра на северо-востоке Дальнего Востока наблюдалось южное направление ветра, а летом северное и северо-восточное направление ветра наблюдалось на востоке Сибири и северо-востоке Дальнего Востока соответственно.

14. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Анализ изменчивости концентрации парниковых газов (ПГ) выполнен на основе результатов измерений в приземном слое атмосферы на пяти станциях. Три станции (Териберка, Тикси, Новый порт) расположены в Арктической зоне РФ и 2 станции (Обнинск и Приокско-Тerrasный биосферный заповедник - ПТБЗ) в центральном районе ЕЧР. Характеристики станций приведены в табл. 14.1.

Станция Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря) и станция Тикси (арктическое побережье, море Лаптевых, залив Сого) расположены в условиях близких к фоновым, входят в систему станций Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, результаты их измерений поступают в Мировой

Таблица 14.1 - Станции мониторинга концентрации парниковых газов в приземном слое и общего содержания (ОС) во всей толще атмосферы

Станция	Широта	Долгота	Высота над у. м.	Период наблюдений	Программа наблюдений
Териберка	69.20° с. ш.	35.10° в. д.	40	с 1988	CO ₂
				с 1996	CH ₄
Новый Порт	67.68° с. ш.	72.88° в. д.	11	с 2002	CO ₂ , CH ₄
Тикси	71.58° с. ш.	128.92° в. д.	30	с 2011	CO ₂ , CH ₄
ПТБЗ	54.92° с. ш.	37.57° в. д.		с 2006	CO ₂ , CH ₄
Обнинск	55.10° с. ш.	36.90° в. д.	186	с 1998	CO ₂ , CH ₄
				с 2015	ОС CO ₂ и CH ₄

центр данных по парниковым газам (WDCGG). Станция Новый Порт (полуостров Ямал, берег Обской губы) находится в районе влияния антропогенных (газовые месторождения Западной Сибири) и природных (увлажненные территории, естественные арктические резервуары метана) источников парниковых газов. Станции Обнинск (ФГБУ «НПО «Тайфун») и ПТБЗ (ФГБУ «ИГКЭ») расположены в окрестностях мегаполиса на расстоянии примерно 110 км от Москвы.

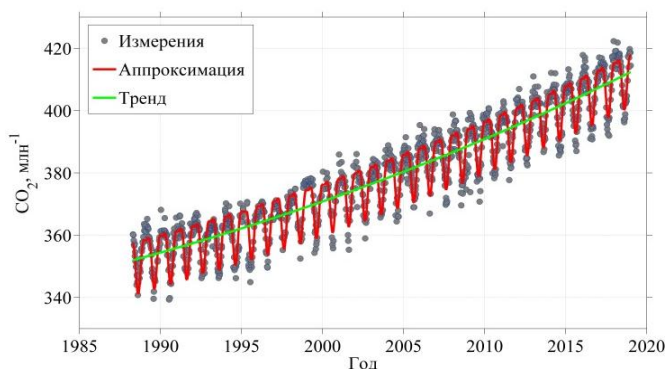


Рисунок 14.1 – Временной ход CO₂ на станции Териберка

результатами официальных сравнений (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/wmorr/>).

Яркой демонстрацией роста концентрации основного парникового газа в атмосфере Земли за последние 30 лет являются данные станции Териберка (рис.14.1).

14.1 Содержание и изменчивость метана и диоксида углерода в северных широтах России

Изменение среднемесячных значений концентрации CO₂ и CH₄ на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу для последних трех лет наблюдений показано на рис. 14.2.а и 14.3.а. Изменение среднегодовых значений от года к году демонстрируют рис. 14.2.б и 14.3.б.

Для сравнения полученных результатов привлечены данные станции Национальной Администрации США по вопросам Океана и Атмосферы (НОАА) Барроу, расположенной в Арктической зоне (71.32° с. ш., 156.6° з. д.).

Программа мониторинга парниковых газов, выполняемая ФГБУ «ТГО» на станциях Териберка, Новый Порт, Тикси, соответствует требованиям ВМО для станций ГСА. Качество данных и их сопоставимость в рамках сети ГСА подтверждена ВМО по парниковым газам

Уровень концентрации CO_2 в атмосфере северных широт достиг в 2019 г. очередного максимума. Среднегодовое значение концентрации CO_2 на станциях, расположенных в фоновых условиях, приблизились к 414 млн^{-1} , а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили значение 420 млн^{-1} . Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу.

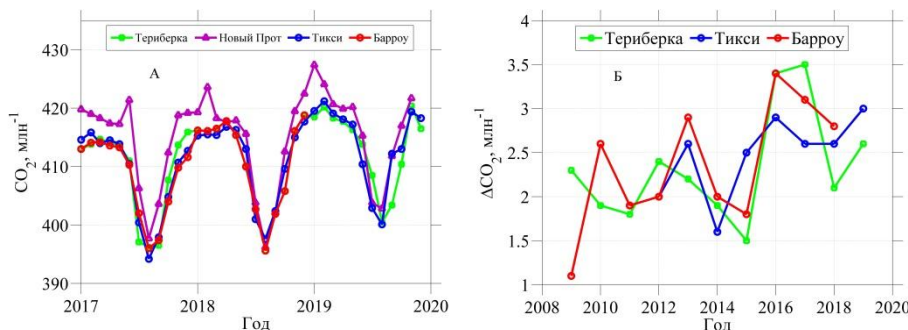


Рисунок 14.2 - Временной ход концентрации CO_2 в 2017-2019 гг. (а) и межгодовые изменения на российских арктических станциях (б) в сравнении с данными станции Барроу (НОАА, США)

Рост концентрации CO_2 за 2019 г. превысил наблюдавшийся в 2018 г. и значение средней глобальной скорости роста за предшествующий десятилетний период составившей $2.26 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ (Бюллетень ВМО по парниковым газам №15 от 25 ноября 2019 г.). Увеличение концентрации CO_2 в 2019 г. составило 3.0 млн^{-1} и 2.6 млн^{-1} для станций Тикси и Териберка соответственно.

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. 2019 г. характеризуется значительным возрастанием CH_4 на станции Териберка (11.2 млрд^{-1}) и особенно высокими значениями межгодового роста на станции Тикси (23.3 млрд^{-1}), что обусловлено повышенными значениями концентрации метана в Тикси в период максимальной активности природной эмиссии метана (август, сентябрь). Оба эти значения выше средней глобальной скорости роста за предшествующий десятилетний период, составившей $10 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ (Бюллетень ВМО по парниковым газам №15 от 25 ноября 2019 г.).

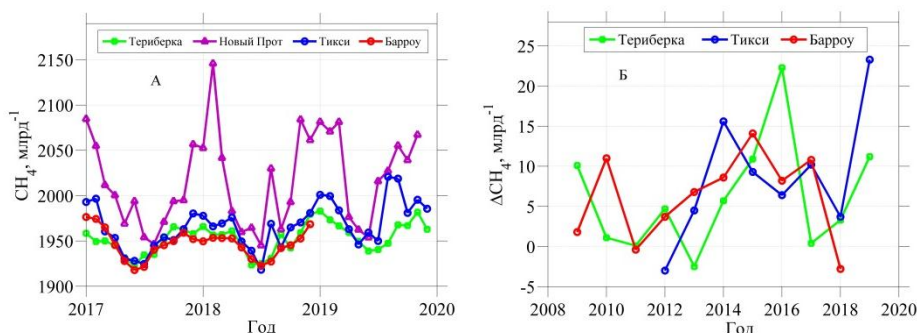


Рисунок 14.3 - Временной ход концентрации CH_4 в 2017-2019 гг. (а) и межгодовые изменения (б) на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу

Особенности сезонного хода концентрации CO_2 и CH_4 на станции Новый Порт связаны с влиянием региональных, как естественных, так и антропогенных источников, включая нефтяные и газовые месторождения Западной Сибири. Превышение над фоновым уровнем для этой станции составляет 1.5% для концентрации CO_2 и около 5% для концентрации метана.

14.2 Динамика содержания парниковых газов над центром Европейской территории России

Для анализа уровня содержания и изменчивости диоксида углерода и метана в атмосфере в центральном районе Европейской территории России использовались данные систематических измерений CO_2 и CH_4 , выполняемых на станции Обнинск.

Результаты измерений парниковых газов в приземном слое атмосферы представлены в виде сезонных изменений средних месячных концентраций (с оценкой среднеквадратичных отклонений результатов измерений) в 2019 г. и динамики многолетней изменчивости средних годовых значений для CO_2 (рис. 14.4) и CH_4 (рис. 14.5).

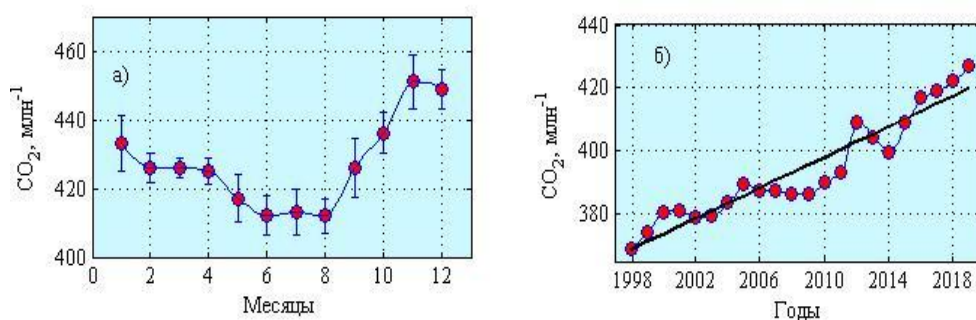


Рисунок 14.4 – Сезонный ход концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы в 2019 году (а) и изменения среднегодовых концентраций CO_2 в 1998-2019 гг. (б) на ст. Обнинск. Прямая линия – линейный тренд

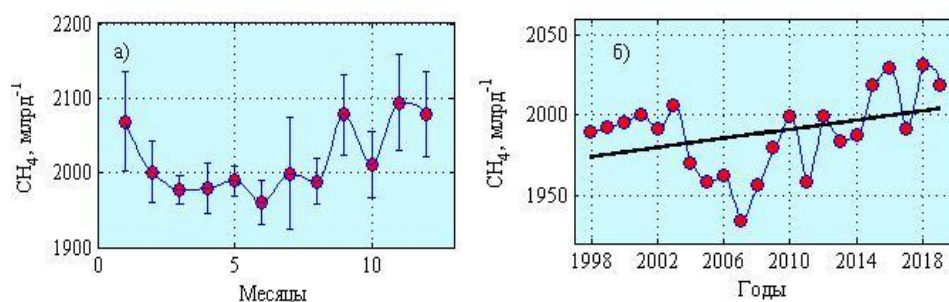


Рисунок 14.5 – Сезонный ход концентрации метана в приземном воздухе в 2019 году (а) и изменения среднегодовых концентраций метана в 1998-2019 гг. (б) на ст. Обнинск. Прямая линия – линейный тренд

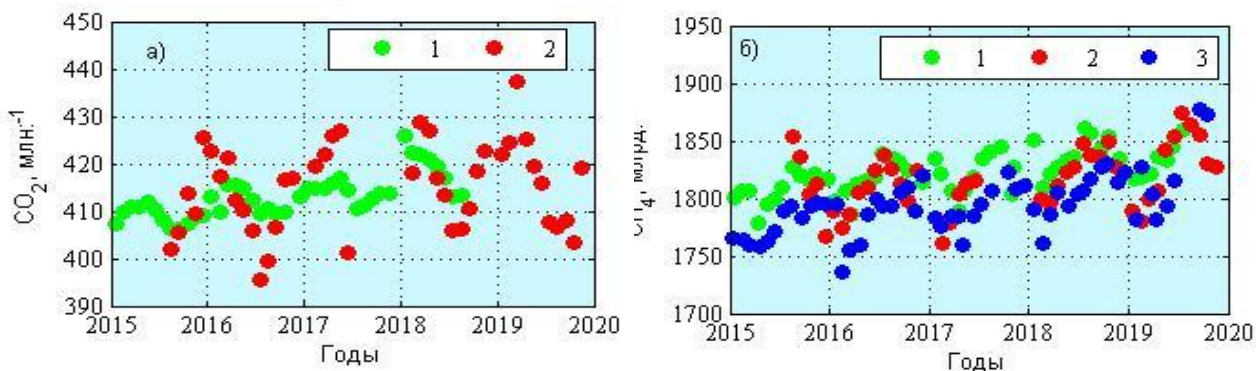


Рисунок 14.6 - Среднемесячные значения средней по высоте объемной концентрации углекислого газа (а) и метана (б) на ст. Санкт-Петербург (1), ст. Обнинск (2) и на ст. Юнгфрауйох (3)

Тенденция углекислого газа к росту сохранилась. Среднегодовая концентрация CO_2 в приземном воздухе на ст. Обнинск в 2019 г. увеличилась по сравнению с 2018 г. на 4.7 млн^{-1} . Величина тренда среднегодовых концентраций CO_2 за время наблюдений с 1998 по

2019 г. составила 2.4 ± 0.6 млн⁻¹ в год, что соответствует в пределах погрешности результатам расчетов скорости роста CO₂ по глобально-усредненным данным за период 01.1998–09.2019 гг. (2.08 ± 0.13 млн⁻¹ в год). Расчеты выполнены по данным (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_data.html).

Средняя годовая концентрация CH₄ в приземном слое атмосферы на станции Обнинск в 2019 г. (рис. 12.5а) сохранилась на уровне 2018 г.: 2019 ± 47 млрд⁻¹. Для периода 1998–2019 гг. линейный тренд метана на ст. Обнинск составил 1.4 ± 0.8 млрд⁻¹ в год, тогда как значение линейного тренда для глобально-усредненных концентраций CH₄ за 01.1998–09.2019 гг. составило 4.6 ± 0.3 млрд⁻¹ в год.

Результаты измерений общего содержания парниковых газов во всей толще атмосферы, выполняемые на станции Обнинск, также демонстрируют рост концентрации CO₂ и CH₄.

Сравнение со станциями сети NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change): Санкт-Петербург и Юнгфрауйох (Швейцария) показывает согласованность данных. В 2019 г. среднегодовые значения концентрации CO₂ и CH₄ на станции Обнинск составили 417 ± 10 млн⁻¹ и 1829 ± 32 млрд⁻¹ соответственно.

На станции ПТБЗ среднегодовая концентрация углекислого газа за 2019 г. снизилась почти до минимального значения за 2011 г. (413 млн⁻¹) и составила 417 млн⁻¹. Среднегодовая концентрация метана в 2019 г. составила 2085 млрд⁻¹.

14.3 Влияние региональных источников

Для получения представления о мощности региональных источников ПГ, действующих в районах расположения станций, на рис. 14.7 показано среднее за 5 лет превышение (2013–2017 гг.) концентрации парниковых газов над фоновым уровнем для представленных в данном разделе станций. В качестве фонового уровня использовались данные станции Териберка. Видно, что в окрестностях станции ПТБЗ действуют мощные источники CO₂, что приводит к увеличению как самих значений концентрации, так и амплитуды сезонного хода. Возможные источники CO₂ обсуждались в Докладе об особенностях климата за 2017г. Как видно из рисунка, станции Новый Порт и Обнинск также подвержены влиянию региональных источников CO₂.

Превышения концентрации метана над фоновым уровнем для трех станций, расположенных в районах источников, не отличаются заметно по величине, хотя наиболее существенные особенности сезонного хода также наблюдаются для станции ПТБЗ.

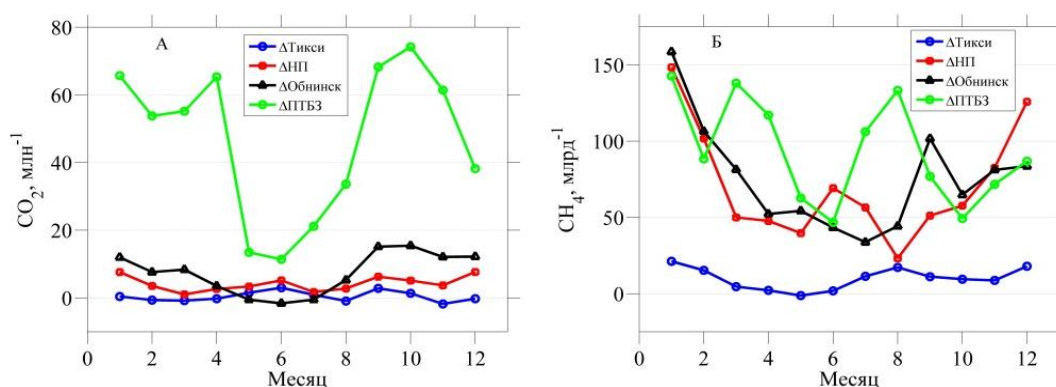


Рисунок 14.7 - Сезонный ход превышения концентрации парниковых газов над фоновым уровнем.

Данные о концентрациях парниковых газов, полученные в районах расположения источников, при соответствующем моделировании и совместном использовании с данными фоновых станций дают возможность выполнить количественную оценку эмиссии парниковых газов. Примеры такого использования результатов измерений представлены в Бюллетене ВМО по парниковым газам №14 от 22 ноября 2018 г.

Выводы:

Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2019г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ, расположенных в фоновых условиях, приблизилось к 414 млн^{-1} , а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили значение 420 млн^{-1} . Рост концентрации CO_2 за 2019 г. превысил наблюдавшийся в 2018 г. и значение средней глобальной скорости роста за предшествующий десятилетний период ($2.26 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$). Увеличение концентрации CO_2 в 2019 г. составило 3.0 млн^{-1} и 2.6 млн^{-1} для станций Тикси и Териберка и 4.7 млн^{-1} для станции Обнинск.

На станциях, подверженных влиянию региональных источников, значения концентрации CO_2 превышают фоновый уровень, величина максимального за год превышения в среднем за период наблюдений достигает 8 млн^{-1} для станции Новый Порт, $12\text{-}15 \text{ млн}^{-1}$ для станции Обнинск и $60\text{-}70 \text{ млн}^{-1}$ для ПТБЗ. При этом скорость изменения CO_2 в течение длительного периода оказывается близкой к средней глобальной скорости роста. Так для станции Обнинск величина тренда среднегодовых концентраций с 1998 по 2019 гг. составила $2.4 \pm 0.6 \text{ млн}^{-1}$ в год, что соответствует результатам расчетов по глобально-усредненным данным за период 01.1998–09.2019 гг. ($2.08 \pm 0.13 \text{ млн}^{-1}$ в год).

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. В 2019 г. значительно возросло содержание CH_4 на станциях Териберка (11.2 млрд^{-1}) и Тикси (23.3 млрд^{-1}). Наблюдаемое в 2019г. возрастание CH_4 выше средней глобальной скорости роста за предшествующий десятилетний период ($10 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$).

Превышение концентрации метана над фоновым уровнем сравнимо по величине для станций Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ. Максимальное значение достигается в январе месяце и составляет около 150 млрд^{-1} для всех станций. Межгодовая изменчивость метана претерпевает значительные изменения, особенно в районах расположения источников, что приводит к заметному отличию скорости роста от глобальных значений. Так линейный тренд метана на ст. Обнинск для периода 1998-2019 гг. составил $1.4 \pm 0.8 \text{ млрд}^{-1}$ в год, тогда как значение линейного тренда для глобально-усредненных концентраций CH_4 за 01.1998–09.2019 гг. составило $4.6 \pm 0.3 \text{ млрд}^{-1}$ в год.

13. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ

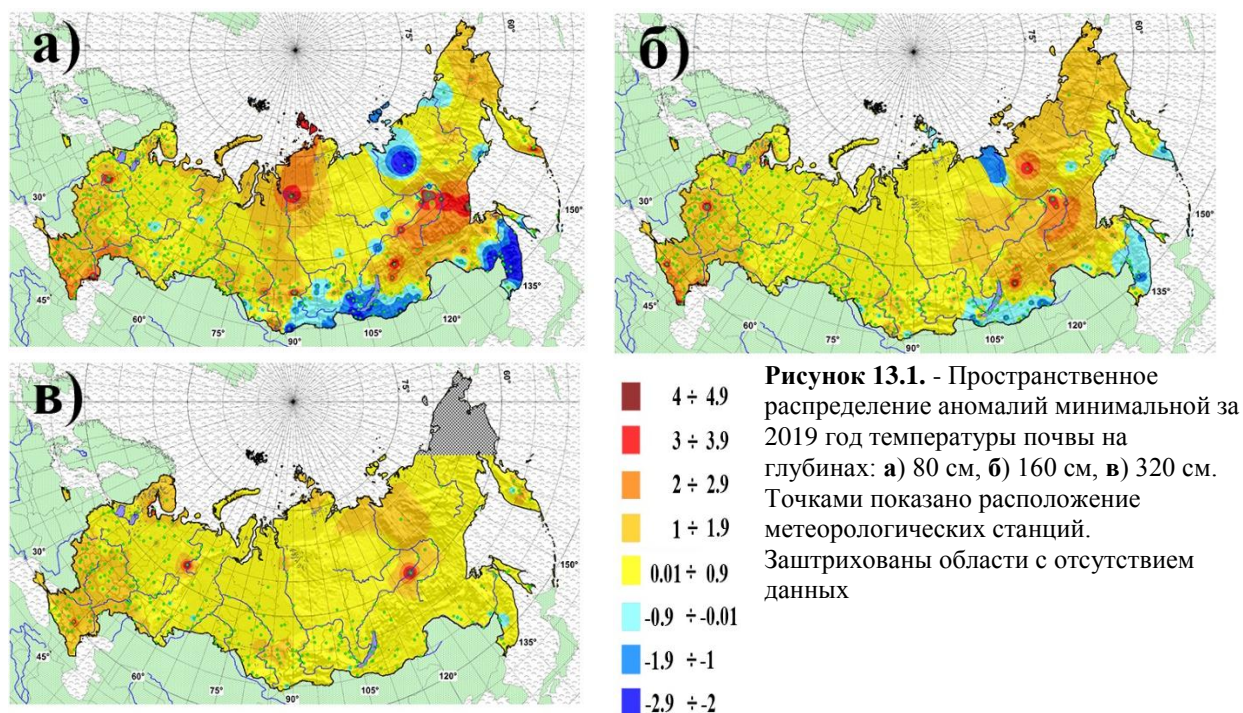
Данные о температуре почвы на глубинах используются при решении многих прикладных задач в строительстве зданий и технических сооружений, при эксплуатации дорог и подземных коммуникаций и. т. д. При этом важнейшей характеристикой является минимальная за год температура. Сведения о минимальной температуре почвы необходимы для определения глубины сезонного промерзания почвы. Мощность мерзлого слоя учитывается при закладывании дренажной системы в мелиорируемых районах. Минимальная температура почвы на глубинах зависит от минералогического состава и влажности почвы, мощности снежного покрова и других факторов. Наблюдения за температурой почвы на сети метеорологических станций Росгидромета имеют более широкое пространственное покрытие территории России, в сравнении с данными о температуре почвы на глубинах из других источников.

Данные. Используются данные о суточной температуре почвы на глубинах до 320 см по 467 метеорологическим станциям России. Для анализа выбраны наблюдения по вытяжным термометрам на глубинах 80 см, 160 см, 320 см. Используются нормы (средне многолетние значения) минимальной температуры почвы на глубинах за период 1971-2000 гг.

Приводятся оценки аномалий и показатели тенденций (тренды) изменений минимальной за год температуры почвы в точках расположения станций, а также региональные обобщения для России и её регионов.

Особенности температурного режима почвы в 2019 г.

Пространственное распределение аномалий минимальной температуры почвы за 2019 год (от нормы за период 1971-2000 гг.) на глубинах 80, 160, 320 см представлено на рис.13.1.



На глубине 80 см (рис. 13.1.а) на преобладающей части территории России аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют менее 1°C. В некоторых районах средней Сибири аномалии достигают 2 – 3°C. Более высокие значения аномалий 3 – 5°C наблюдаются на юге Северо-Восточной Сибири. Но на юге Средней Сибири, а также на юге Дальнего Востока (Амуро-Сахалинская часть) аномалии отрицательные в пределах -2 – -3°C.

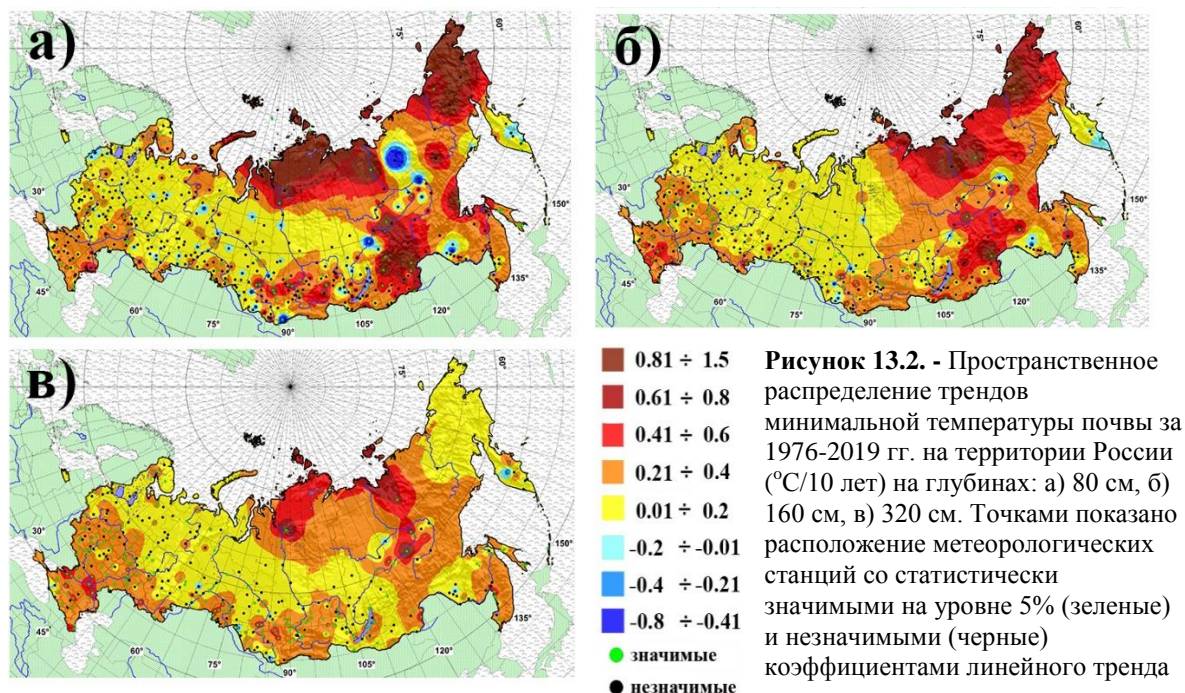
На глубине 160 см (рис. 13.1.б) пространственное распределение аномалий во многом повторяет особенности распределения в вышележащем слое. Аномалии минимальной за год температуры почвы на глубине 160 см преимущественно положительные на территории России и составляют менее 1°C. Более высокие положительные аномалии 2 – 3°C наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, а также в центре Средней Сибири и в Северо-Восточной Сибири. Отрицательные аномалии наблюдаются на юге Средней Сибири, а также на юге Дальнего Востока и составляют преимущественно менее -1°C.

На глубине 320 см (рис. 13.1.в) отток тепла в холодный сезон, также как приток тепла в теплый сезон, и межгодовые изменения температуры почвы ослаблены. На этой глубине преобладают слабые положительные аномалии минимальной за год температуры почвы.

Из сопоставления трех карт (рис.13) можно сделать вывод, что с увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвы. На большей части территории России во всем слое до 320 см преобладают положительные аномалии менее 1°C. Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Северо-Восточной Сибири.

Тенденции изменений температуры почвы

Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвы на глубинах до 320 см показано на рис. 13.2.



На глубине 80 см (рис. 13.2.а) тренды минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные на большей части территории России. Повышенные значения трендов $0.4 - 0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет наблюдаются в зоне многолетней мерзлоты. Статистически достоверные (с вероятностью 95%) положительные тренды охватывают южную половину Средней Сибири, а также север Восточной Сибири и Дальнего Востока. В этих районах преобладают тренды $0.2 - 0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет. Исключением являются долины рек Яна и Алдан с отрицательными трендами около $0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет. В ЕЧР и в Западной Сибири преобладают слабые положительные тренды.

На глубине 160 см (рис. 13.2.б) по всей России преобладают положительные тренды, но область повышенных значений ($>0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет) меньше чем на глубине 80 см и смещена к Востоку. Статистически достоверное потепление ($>0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) также наблюдается в Средней Сибири. Отрицательные тренды не наблюдаются. В ЕЧР и в Западной Сибири слабые положительные тренды.

На глубине 320 см (рис. 13.2.в), тренды положительные на всей территории России, повышенные значения ($>0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет) местами встречаются на северной половине Средней и Восточной Сибири. Статистически достоверные тренды $>0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет наблюдаются в южных частях ЕЧР, Западной и Средней Сибири, а также в Прибайкалье и Забайкалье.

Из сопоставления трех карт (рис. 13.2) можно сделать вывод, что в 1976-2019 гг. тенденция повышения минимальной температуры почвы ослабевала с глубиной. На большей части территории России преобладают тренды $<0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет на всех глубинах до 320 см. Наибольшее и статистически достоверное повышение минимальной температуры почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири на полуострове Таймыр, в устьях рек Енисей и Лена, а также в долине реки Яна.

14. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ

Обзор составлен по результатам эксплуатации системы мониторинга общего содержания озона (ОСО) над Россией и прилегающими территориями, действующей в оперативном режиме в Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) и последним результатам плановых научных исследований, выполненных в отделе озонного мониторинга (ныне лаборатория атмосферного мониторинга) ФГБУ ЦАО. Система мониторинга использует данные отечественной сети фильтровых озонметров М-124, работающей под методическим руководством Главной геофизической обсерватории. Качество работы всей системы оперативно контролируется по наблюдениям с помощью спутниковой аппаратуры ОМІ (НАСА, США). Обобщены основные данные наблюдений ОСО за 2019 год в время представительных наблюдений в целом.

Поле отклонений среднегодовых значений ОСО от нормы в 2019 г. (рис. 14.1) достаточно ровное.

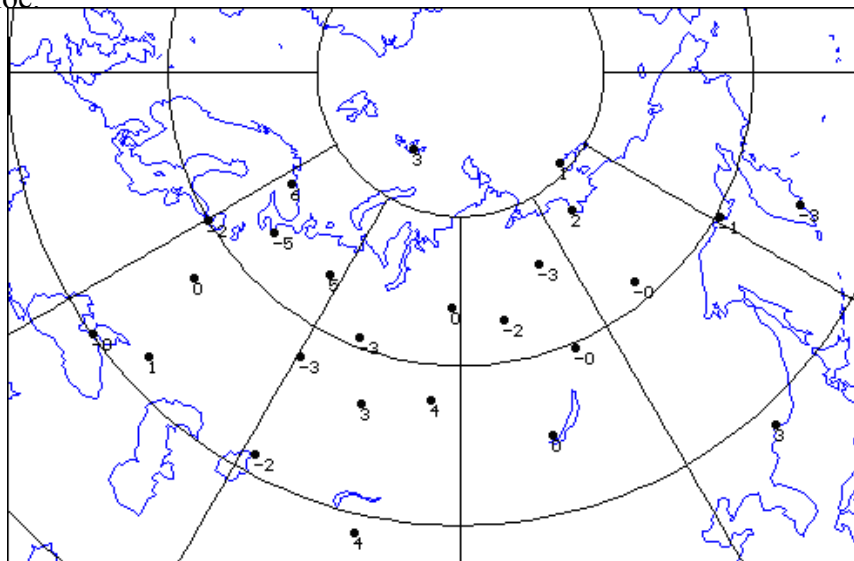


Рисунок 14.1 - Поле отклонений (%) ОСО от многолетнего среднего в январе-декабре 2019 г.

Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы для всех анализируемых станций лежат в интервале от -5 до 6 %. Наибольший дефицит среднегодового значения ОСО (-5 %) зарегистрирован в Архангельске. Максимальное превышение среднегодового значения ОСО над нормой (6 %) зарегистрировано в Мурманске.

В течение 2019 года отдельные существенные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в январе, мае, июле и сентябре:

- 23 и 24 января повышенные на 33-42 % среднесуточные значения ОСО над северными районами Европейской части территории России (461-496 ед. Д.);
- с 1 и 2 мая повышенные на 31-34 % среднесуточные значения ОСО над югом Западной Сибири и северо-востоком Казахстана (498-528 ед.Д.);
- 13, 14 и 16 июля повышенные на 18-23 % среднесуточные значения ОСО над югом Европейской части территории России (381-392 ед. Д.);
- с 24 по 26 июля повышенные на 22-26 % среднесуточные значения ОСО над Центральной Сибирью (381-395 ед. Д.);
- 4 и 5 сентября повышенные на 21-23 % значения ОСО над югом Западной Сибири и севером Казахстана (365-382 ед. Д.);
- с 21 по 28 сентября повышенные на 21-37 % значения ОСО над центром и югом Европейской части территории России с последующим смещением аномалии на Урал и юг Западной Сибири (357-411 ед. Д.).

Вариации среднегодовых значений ОСО с 1997 г. на трёх станциях российской озонметрической сети и в двух широтных поясах, в которых располагается территория Российской Федерации, проиллюстрированы на рис. 2.

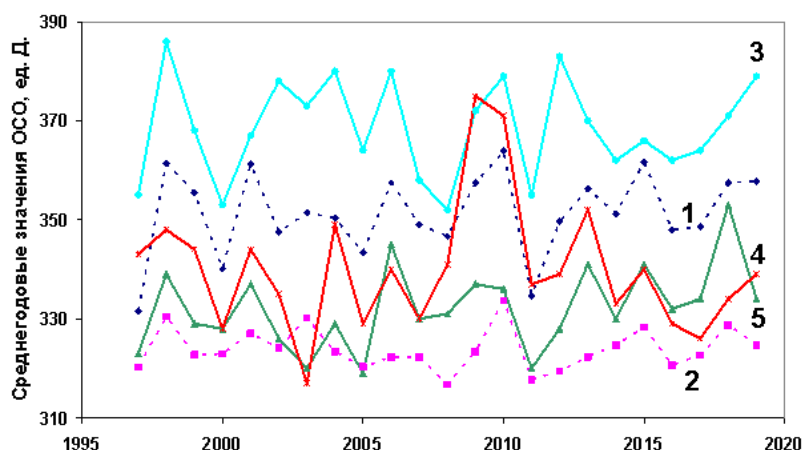


Рисунок 14.2 -Межгодовая изменчивость среднегодовых значений ОСО в интервалах широт 60° - 90° с.ш. (1), 30° - 60° с.ш. (2) и на станциях Якутск (3, 62° с.ш., 130° в.д.), Екатеринбург (4, 57° с.ш., 61° в.д.) и С.-Петербург (5, 60° с.ш., 30° в.д.).

Среднегодовые значения ОСО для широтных поясов рассчитаны по спутниковым данным (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>), для станций — по оперативным данным фильтровых озонметров М-124. С начала 1980-х гг. и до середины 1990-х гг. наблюдалось заметное уменьшение озонового слоя. С конца 1990-х гг., как видно из рис. 14.2, наблюдается его относительная стабилизация. На фоне

сильной межгодовой изменчивости трудно однозначно утверждать о значимых трендах в поведении ОСО в умеренных и высоких широтах на территории РФ, хотя в высоких широтах Северного полушария просматривается слабый рост ОСО [2]. По данным, приведённым на рис. 14.2, тренд среднегодовых значений ОСО в широтном поясе 60° - 90° с. ш. положительный и составляет 2.87 ед. Д. за декаду. Он превышает величину тренда, рассчитанного по данным 1997-2018 гг. Тренд среднегодовых значений ОСО в широтном поясе 30° - 60° с. ш. продолжает оставаться отрицательным и составляет -0.13 ед. Д. за декаду. Но он уменьшился по абсолютной величине по сравнению с трендом, рассчитанным по данным 1997-2018 гг. О тенденции к повышению общего содержания озона над северными и умеренными широтами Северного полушария говорит и тот факт, что в 2019 г. все аномалии ОСО, зарегистрированные на территории России и прилегающих территориях, были положительными. Перечень аномалий 2019 г. приведен выше. Как и в предыдущие годы, в 2019 г. продолжают наблюдаться за развитием весенней Антарктической озоновой аномалией (ВАОА). Основной объем данных о характеристиках ВАОА (максимальная площадь, минимальное значение ОСО в ней и общий дефицит озона за время существования ВАОА) получают из спутниковых наблюдений приборами производства США и западноевропейских стран. Площадью, занятой ВАОА, считают площадь территории, на которой ОСО меньше 220 ед. Д. Количественные показатели ВАОА и рис. 14.3 и 14.4, приведённые ниже, заимствованы с сайта NASA, США (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>).

В 2019 г. ВАОА появилась в начале августа (как и в 2017-2018 гг.) и закончилась в первой декаде ноября (рис. 14.3), что почти на месяц раньше среднего срока исчезновения аномалии. Подробное описание развития ВАОА в августе-сентябре 2019 г. приведено в [1]. В период с 1 по 17 октября площадь аномалии варьировалась в диапазоне 8.6-9.6 млн. кв. км (при средних значениях для этих дней 18-21 млн. кв. км), а затем постепенно уменьшалась. 9 ноября аномалия уже не наблюдалась.

Полярный антарктический озон (среднее значение ОСО в поясе южнее 63° ю.ш.) в первых числах октября сначала продолжил рост, который наблюдался в конце сентября, но затем стал снижаться, достигнув 12 октября 289 ед. Д. (среднее значение полярного озона для этого дня 229 ед. Д.). После этого рост полярного озона возобновился и к 12 ноября он достиг своего максимума 352 ед. Д. при среднем значении для этого дня 279 ед. Д. Затем значения полярного озона стали уменьшаться, приближаясь постепенно к

средним многолетним значениям. Начиная с последних чисел августа и до декабря значения полярного антарктического озона в 2019 г. существенно превышали свои средние многолетние значения.

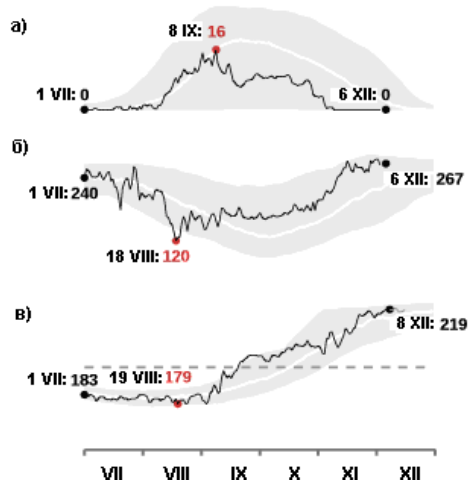


Рисунок 14.3 - Основные характеристики весенней Антарктической озоновой аномалии 2019 г.: площадь, с ОСО меньше 220 ед. Д. (млн. км², а), минимальное ОСО (ед. Д., б) и минимальная температура в стратосфере (К, в). Серым цветом отмечены области между минимальными и максимальными величинами, наблюдаемыми в 1979-2018 гг.; светлые линии внутри этих областей – средние за этот период.

к концу первой декады декабря со средними многолетними значениями. На уровне 460 К стратосферные ледяные и NAT облака (облака, сформированные из nitric acid trihydrate) в четвертом квартале 2019 г. не наблюдались (они исчезли в сентябре).

Зональный ветер на 60° ю. ш. на уровне 70 гПа в первую половину октября варьировался в диапазоне 29-32 м/с, а потом постепенно ослабевая к началу декабря стих до 2-4 м/с при средних значениях для этого времени 14-17 м/с. Резкое повышение температуры в стратосфере над Антарктидой с конца августа до второй половины сентября привело к раннему исчезновению стратосферных облаков. В это же время стал ослабевать зональный ветер, и резко уменьшилась площадь полярного антарктического вихря. В результате вместо разрушения озона в сентябре наблюдался его быстрый рост. К 20 сентября значение полярного озона достигло 326 ед. Д., что почти на 60 % больше среднего многолетнего значения для этого дня и более чем на 10 % превышает ранее зафиксированный максимум для этого дня. Значение площади озоновой аномалии над Антарктидой, усредненное за период с 7 сентября по 13 октября 2019 г., составило 9 млн. кв. км (рис. 14.4).

Минимальное значение общего содержания озона южнее 40° ю. ш. в октябре и первой половине ноября постепенно увеличивалось, достигнув 16 ноября 273 ед. Д. (его абсолютный максимум для этого дня составлял 269 ед. Д.). Далее он варьировался в диапазоне 250-276 ед. Д., оставаясь все время выше средних многолетних значений. Максимальный дефицит массы озона в 2019 г. был почти в 3 раза меньше своего среднего многолетнего максимума. Максимум дефицита массы озона в 2019 г. зарегистрирован 3 сентября и составляет 8.95 млн. т., в то время как среднее многолетнее значение максимума приходится на 30 сентября и составляет 26.47 млн. т.

Средняя зональная температура в полосе широт 60°-90° ю. ш. на уровне 70 гПа в октябре варьировалась в диапазоне 216-219 К. В последних числах октября начался ее рост, который продолжился в ноябре. К концу второй декады ноября она достигла 231 К, а затем начала медленно снижаться, сравнившись к

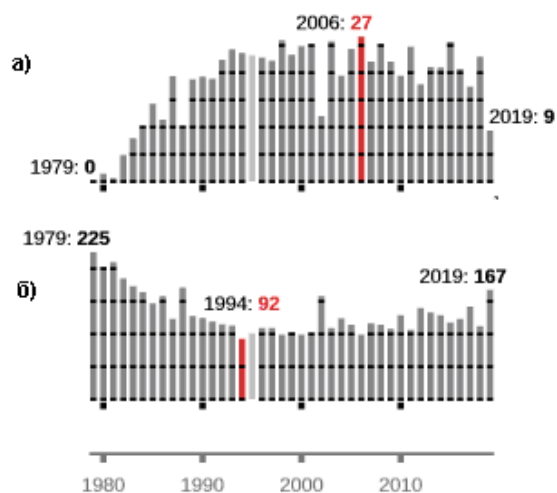


Рисунок 14.4 - Средняя площадь весенней антарктической озоновой аномалии в период 7 сентября – 13 октября (млн. км², а) и среднее значение минимального ОСО в ней в период 21 сентября – 16 октября (ед. Д., б) по данным спутниковых наблюдений NASA, США за 1979-2019 гг.

Отдельно отмечены экстремальные значения этих величин, достигнутые в предшествующие годы (данные за 1995 г. отсутствуют). С 1984 г. таких маленьких значений площади аномалии не регистрировалось. Такое необычное поведение полярного озона требует дальнейшего углубленного анализа его причин.



Описанная выше ситуация с субглобальными и глобальными полями ОСО и их долговременной эволюцией настолько не соответствует традиционной (фреоновой) версии об антропогенных причинах этой эволюции, что целесообразно вернуться к обсуждению обоснованности этой версии на основе результатов, полученных в работах [3-5].

Доказательства антропогенной природы наблюдаемых долговременных изменений разбиваются на два большие класса: динамико - химкинетическое моделирование и статистическое моделирование. Работа [3] посвящена анализу обоснованности результатов статистического моделирования, результаты которого на сегодняшний

день сводятся к указанию статистической обоснованности отрицательных линейных трендов ОСО, как глобальных, так и региональных. Поэтому применительно к динамико - химкинетическому моделированию укажем лишь на два обстоятельства, сильно подрывающих уверенность в их обоснованности. Это значительные неопределённости в значениях констант реакций (особенно тройных) [6] в химкинетическом блоке, подробнее см. [7] и отсутствие единственности решений и большая скорость нарастания погрешностей [8] в динамическом блоке.

Для анализа обоснованности результатов статистического моделирования были использованы данные спутникового зондирования [9], как обеспечивающие наибольшую степень глобальности обзора, а также обладающие наибольшей однородностью по сравнению со всеми наземными средствами измерения ОСО и наибольшей длиной рядов среди спутниковых средств измерения.

Эти данные анализировались методами регрессионного моделирования по гармоникам годового хода, а также гармоникам и унтертонам (необходимым ввиду параметрического резонанса [10]) самого медленного из приливных колебаний (период 18.6 года [11]).

Результаты, полученные в работе [3] сводятся к следующему:

- Противоположность сезонных ходов в приполярных широтах обоих полушарий в основном, и обуславливает эффект т.н. «весенней антарктической озоновой дыры» (рис. 14.6).
- Влияние учета долговременной приливо обусловленной изменчивости на величину трендов ОСО, видно из рис. 14.7: эффективность приливо колебательных моделей (ПКМ) свыше 65% (в т.ч. для широтного пояса, ограничивающего положение южного циркумполярного вихря более 90%), а трендов (антропогенная версия) не превышает 9%.
- После исключения из них колебательных эффектов тренды для всех широтных зон уменьшились на 2-3 порядка и полностью утратили статистическую значимость.
- Анализируя сходство остатков моделирования с белым шумом (общепринятый критерий полноты модели) отметим, что значения статистики Дарбина - Уотсона для всех широт принадлежат интервалу (1.96, 2.04) – для белого шума 2.0, а коэффициент регрессии интегрированной периодограммы остатков на прямую, проходящую через начало координат (табл. 14.1) ни для одной широты не хуже 97% (для белого шума 100%). Это обстоятельство свидетельствует о том, что практически никакой иной информации о природе зональной и глобальной изменчивости ОСО кроме сезонных и долгопериодных приливных колебаний анализируемые ряды не содержат.

Таблица 14.1 - Коэффициенты детерминации интегрированной периодограммы остатков на прямую, проходящую через начало координат

Регион	Земля		СП		ШПР		Россия	
Знак аномалии	-	+	-	+	-	+	-	+
Коэффициент детерминации, %	99.2	99.2	99.7	99.7	99.1	99.5	99.8	99.2

Совершенно прозрачным представляется и физический механизм резонансного отклика озоносферы на медленные приливные колебания.

Анализ вертикального распределения озона и температуры по данным баллонного зондирования на станции Южный полюс, выполненный в работе [5], показал, что версия фреоновая версия существенно уступает по надежности ПКМ.

Например, для остатков сезонного хода парциального давления озона на высоте 20.5 км, где влияние весенней озоновой антарктической аномалии проявляется наиболее сильно, ПКМ имеет коэффициент детерминации 10.6%, а линейный тренд 5.2%.

Таким образом, как результаты наблюдений ОСО над Россией в текущем году, так и глобальные данные всех видов озоновых наблюдений за всю их историю убедительно свидетельствуют, что меры принятые для стабилизации состояния озоносферы в результате вступления в силу Монреальского протокола и развивающих его соглашений абсолютно не эффективны с

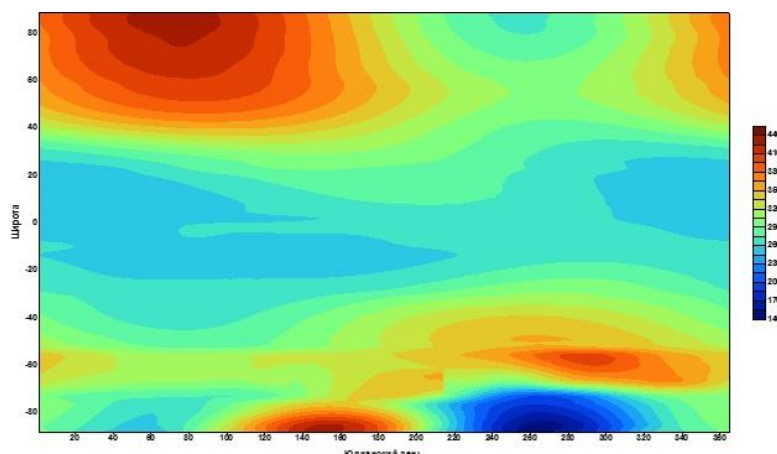


Рисунок 14.6 - Широтно-временной разрез сезонного хода ОСО

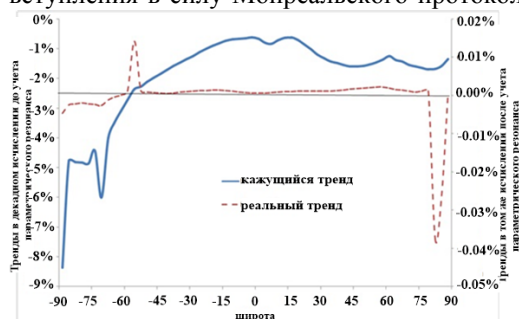


Рисунок 14.7 - Влияние ПКМ величины зональных трендов: кажущийся тренд – тренд, вычисленный по остаткам сезонного хода до учёта ПКМ, реальный тренд – после её учёта)

ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 14

1. Weber M., Coldewey-Egber M., Fioletov V.E., Frith S.M., Wild J.D., Burrows J.P., Long C.S., Loyola D. Total ozone trends from 1979 to 2016 derived from five merged observational datasets - the emergence into ozone recovery. // Atmospheric Chemistry and Physics Discussions (ACPD), 2017, pp. 1-37, <https://doi.org/10.5194/acp-2017-853>.
2. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А., Широтов В.В. Содержание озона над территорией Российской Федерации в третьем квартале 2019 г. // Метеорология и гидрология, 2019, № 12, с. 130-134.
3. Крученицкий Г.М., Статников К.А., Оптика атмосферы и океана, 33, №1 (2020), стр 56-60, “Сезонная и долговременная изменчивость зонально осреднённых полей ОСО”.
4. Дворецкая И.В., Крученицкий Г.М., Статников К.А. Анализ распределения аномалий и долговременной изменчивости ОСО по спутниковым данным. // Метеорология и гидрология, 2020, № 7, в печати.
5. Крученицкий Г.М., Статников К.А., Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского/Выпуск 662/2018г., стр. 157-161 “Эволюция вертикального распределения озона и температуры над Южным полюсом”.
6. Jet Propulsion Laboratory. Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Stratospheric Modeling // Evaluation 9, JPL Publication 90-1.
7. Звягинцев А.М., Зуев В.В., Крученицкий Г.М., Скоробогатый Т.В. О вкладе гетерофазных процессов в формирование весенней озоновой аномалии в Антарктиде.//Исследование Земли из космоса, 2002, №3, с.1-6.
8. В.И. Арнольд. Математические методы классической механики. М., «Наука», 1979, с. 307-308.
9. <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/omi/data/ozone/>
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.// «Механика», М., Физматгиз, 1958, с. 103-109.
11. Марчук Г.И., Каган Б.А. «Динамика океанских приливов», Л., Гидрометеиздат, 1982, 359 с.
12. Хргиан А.Х. «Физика атмосферного озона». //Л., Гидрометеиздат, 1973, с. 236-1238

ВЫВОДЫ

- 2019 год в России был очень теплым: 4-й в ряду с 1936 г., средняя по РФ аномалия температуры (отклонение от среднего за базовый период 1961-90 гг.) $+2.07^{\circ}\text{C}$. В ЦФО, ЮФО, СКФО и ДФО 2019 год был среди трех самых теплых. Здесь и в Сибирском ФО на многих станциях годовые температуры входили в 5% самых высоких.

Зима была умеренно теплой ($+2.12^{\circ}\text{C}$: лишь 15-я в ряду) и ниже нормы на юге Западной Сибири. **Весной** средняя по РФ аномалия составила $+2.86^{\circ}\text{C}$ (ранг 4). Из весенних месяцев выделяется март: средняя аномалия по РФ ($+4.30^{\circ}\text{C}$) и по АЧР ($+4.72^{\circ}\text{C}$) – обе четвертые в рядах. **Лето** в среднем – умеренно теплое ($+0.98^{\circ}\text{C}$, ранг 17); очень тепло в Средней Сибири ($+2.34^{\circ}\text{C}$ – ранг 2). Следует отметить рекордно теплый июнь в ЮФО и СФО ($+4.29^{\circ}\text{C}$ и $+4.26^{\circ}\text{C}$) и в ДФО ($+2.09^{\circ}\text{C}$). **Осень** также умеренно теплая ($+1.60^{\circ}\text{C}$ – ранг 10). Очень теплым был декабрь 2019 г. в ЕЧР ($+5.25^{\circ}\text{C}$ – второй в ряду), особенно в ЦФО.

В 2019 году средние годовые и средние сезонные аномалии для всех высотных зон Северного Кавказа положительны (кроме высокогорной станции Терскол осенью). За год в целом и зимой 2018/19 гг. 95%-е экстремумы температуры зафиксированы летом - на станциях Ахты, Нальчик и Прохладная; весной - на станции Прохладная. Зимой 95%-е экстремумы зафиксированы в индексах минимальных температур в Теберде, Нальчике и Прохладной.

- Потепление продолжается на всей территории России в целом за год и во все сезоны. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры составила $0.47^{\circ}\text{C}/10$ лет (вклад в общую изменчивость 52%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной ($0.63^{\circ}\text{C}/10$ лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет: описывает 63% суммарной дисперсии). Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой по-прежнему наблюдается область убывания температуры, хотя и на существенно меньшей территории и значительно более слабого, чем в период 1976-2014 гг., а летом и осенью рост здесь очень слаб.

На всех станциях Кавказского региона наблюдался положительный тренд средних годовых и сезонных температур; годовые тренды значимы на 1%-ном уровне, сезонные – на 5%-ном уровне (кроме зимнего тренда в Теберде).

- В Арктике 2019 год был очень теплым: среднегодовая температура на 2.8°C выше нормы; это второй самый теплый год с 1936 г. Крупные положительные аномалии температуры в основном располагались в восточной части евразийского и в западной - североамериканского сектора. Тенденция к потеплению в высоких широтах сохраняется. В последние тридцать лет температура росла во всех регионах СПО. В целом для СПО линейный тренд среднегодовой температуры составил $+0.81^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наиболее высокие темпы роста в районе Карского моря: около $+1.58^{\circ}\text{C}/10$ лет.

- В районе Северного морского пути температуры быстро росли с конца 1990-х годов; за этот период зимние температуры выросли примерно на 5°C , а летние на 1.5°C . Средняя за год ПТВ в этом районе Арктики в 2019 году равна -8.4°C (6-е значение), при этом зимняя ПТВ равнялась -19.4°C (3-е значение в ряду «теплых» зим), а летняя 5°C – второе значение после лета 2016 года ($+5.1^{\circ}\text{C}$).

- Средняя площадь, занятая морским льдом в сентябре 2019 года (4.32 млн. кв. км) оказалась второй в ряду минимальных значений после 2012 года (3.58 млн. кв. км). Морской ледяной покров в районе Северного морского пути быстро сокращался с 2001 года, уменьшившись к 2005 году до 300 тыс. км² в конце лета. В последние 15 лет его площадь в сентябре колеблется около этого уровня, что в 4-5 раз меньше, чем в 1980-х гг.

- Осадки в 2019 г. в целом по России составили 108% нормы: шестая сумма в ряду. Значительный избыток осадков отмечен на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 131% нормы – максимальная величина в ряду; здесь значительный избыток осадков наблюдался во все сезоны); а сильный дефицит осадков в СКФО (84% – среди четырех «самых сухих».

Весной была умеренно влажной: 112% нормы, ранг 18; в ЮФО выпало 138% нормы – ранг 5. В ЕЧР наблюдался резкий контраст между экстремально влажным мартом (161%, 2-й в ряду) и сухим апрелем (66%, шестой из самых сухих). **Летом** выпало 103% нормы осадков. В Восточной Сибири выпало 9% нормы (ранг 4). В июне сильный дефицит осадков в ЮФО (46%) при экстремальных температурах привел к сильной засухе. **Осень** была влажной в АЧР (114%, ранг 5).

На Северном Кавказе в 2019 г. дефицит осадков, превышающий стандартное отклонение, за год в целом наблюдался на станции Теберда, в зимний период - на станциях Нальчик, Прохладная, летом - в Ахты.

На территории России преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд составляет 2.2% /10 лет, вклад в дисперсию 35%. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается весной (5.7%/10 лет, вклад в дисперсию 36%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают, особенно в ЮФО: -4.8% в десятилетие.

Тренд годовых осадков за период 1976-2018 гг. на всех станциях статистически незначим, но весной на горных станциях Теберда и Терскол наблюдался статистически значимый рост сумм осадков.

- В целом для СПО в 2019 г. годовая сумма осадков была около нормы. Меньше всего осадков за год выпало в Атлантическом секторе (на 11.5 % ниже нормы), а больше всего – в Западносибирском (на 20.3 % выше нормы). В целом в СПО за период 1936-2019 гг. наблюдается статистически значимое увеличение осадков: около 3 мм/10 лет, но в районах арктических морей азиатского сектора СПО в течение всего года обнаруживается тенденция к убыванию осадков.

- Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2018-2019гг. была на 12.7 дня короче нормы - рекордной короткой за период с 1967 г. На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха как в начале холодного периода, так и в его конце.

Максимальная высота снежного покрова в среднем по России значительно превысила климатическую норму (аномалия +4.39 мм), при этом на севере ЕЧР и Западной Сибири (I квази-однородный район), в северной части Восточной Сибири и в Якутии (II) максимальная высота снежного покрова рекордная за период 1967-2019 (аномалии +17.78 мм и +22.52 мм соответственно).

Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался выше нормы в поле, и меньше нормы – в лесу.

На севере ЕЧР и Западной Сибири (I район) величина максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте стала рекордной, а в центре ЕЧР (IV) и в центре и юг Западной Сибири (V) – попала в десятку наибольших значений.

В лесу рекордно низкий запас воды в снеге (аномалия -37.91 мм) наблюдался на Дальнем Востоке (VII); низкий запас воды в снеге на Алтае и в Саянах (VIII) (аномалия -35.75 мм – среди шести наименьших).

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова. Максимальная за зиму высота снежного покрова растет на большей части страны. Несколько замедлился рост максимальной высоты снежного покрова в юго-восточных районах Якутии.

Сохраняется тенденция увеличения максимального запаса воды в снеге по данным маршрутных наблюдений в поле на большей части РФ (кроме севера ЕЧР, Полярного Урала и прибрежных районов Магаданской области, где сохраняется тенденция уменьшения). По данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

На м/станциях Кавказского региона: Теберда (горная зона) и Нальчик (предгорная зона) за период 1961-2018 гг. наблюдалось увеличение высоты снежного покрова, в Терсколе (высокогорная зона) – уменьшение, в Прохладной тренд изменения высоты снежного покрова отсутствует; все тренды статистически незначимы.

- Вскрытие и очищение рек РФ проходило преимущественно раньше нормы (из-за теплого февраля на ЕЧР, аномально высоких температур марта всюду по стране и апреля в АЧР). Вскрытие рек ЕЧР проходило, начиная со второй декады февраля – начала марта (реки Калининградской области, верхних течений рек Псковской области) - до конца апреля – начала мая (ледоход на реках Мурманской области). Вскрытие и очищение рек АЧР проходило с первой декады апреля (Свердловская и Омская области) по третью декаду мая (Лена, Индигирка, Колыма, Енисей, реки Республики Саха).

Осенью на реках ЕЧР ледообразование было затяжным (на 6-12 дней позже обычного) и из-за аномально теплой погоды в октябре проходило прерывисто, начиная с первой декады ноября (Северная Двина, Сухона, Вычегда) до второй декады декабря (ледостав на Саратовском и Волгоградском водохранилищах).

- В 2019 году на территории России для измерения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты (СТС) была задействована 41 площадка CALM. Более чем на половине площадок (63%) значения СТС в 2019 г. превышают средние многолетние.

Несмотря на некоторое снижение темпов роста мощности СТС, тренды практически на всех площадках сохраняют положительные значения, что свидетельствует о сохранении тенденции увеличения глубины протаивания вечной мерзлоты в 21 веке.

- На большей части территории России в 2019 г. условия теплообеспеченности были выше, чем в среднем за последние двадцать лет. Возобновление вегетации (переход через 5°C весной) наблюдалось раньше на 1-8 дней, кроме УФО и СФО (на 4 дня позже). Продолжительность периода вегетации ($T > 5^{\circ}\text{C}$) превысила среднюю на всей рассматриваемой территории (в среднем по сельскохозяйственной зоне длиннее на 6 дней). Показатели увлажнённости по большей части хуже средних (кроме СЗФО, УФО и ДФО), в особенности в СКФО, ЮФО, ДФО.

Оценки ожидаемой урожайности целом для рассматриваемых субъектов РФ в 2019 г. ниже среднемноголетних значений на 15–20 %. Снижение урожайности озимой пшеницы в 2019 г. связано с недостаточной влагообеспеченностью посевов. Для озимых культур урожая 2020 года на территории ЮФО, чернозёмных областей ЦФО и южных областей ПФО также наблюдалась недостаточная влагообеспеченность

В среднем для территории сельскохозяйственной зоны России все показатели теплообеспеченности растут в период 1976–2019 гг., в особенности в ЕЧР. Скорость роста сумм активных температур ($T > 10^{\circ}\text{C}$) составила 84 $^{\circ}\text{C}/10$ лет (максимум в ЮФО: 157.5 $^{\circ}\text{C}$, минимум в УФО: 44.1 $^{\circ}\text{C}$). Тренд за период 2000-2019 гг. увеличивается в ЦФО, ПФО и ЮФО, и значительно уменьшается в УФО, ДФО и особенно СФО (-54.3 $^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Изменения условий увлажнения неоднозначны. Весенние суммы осадков растут в период 1976–2019 гг. везде, а летние осадки в ЕЧР убывают (кроме СЗФО). В период 2000-2019 гг. рост весенних осадков в целом уменьшается и сменяется убыванием в СЗФО, УФО, ДФО; летние осадки в центре и на юге ЕЧР продолжают убывать, и отрицательным становится тренд в СФО. Индекс сухости за оба периода везде растёт, либо не изменяется.

- В 2019 году в целом на территории РФ отмечалось 903 опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ), включая агрометеорологические и гидрологические (на 137 явлений меньше, чем в 2018 году). Из всех ОЯ, наблюдавшихся в 2019 г. 346 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. По-прежнему наибольший ущерб нанесли сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в том числе шквал), град, а также метели и аномально холодная погода в зимний период, чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев. В 2019 году на территории России

было зарегистрировано 542 случая (ранг 7 из 22 лет). возникновения метеорологических ОЯ и КМЯ..

- В целом 2019 г. характеризуется преобладанием пониженного прихода солнечной радиации. Осредненные сезонные аномалии прямой радиации по территории России отрицательны для всех рассматриваемых сезонов. Особенно ярко это проявилось в летний сезон. В весенний период сформировалась и сохранялась на протяжении всех трех месяцев интенсивная и устойчивая отрицательная аномалия прямой радиации, охватывающая северные территории Западной и Средней Сибири, а также северо-восток ЕЧР. Важной особенностью 2019 г. является наличие в АЧР обширной области положительных аномалий сезонных сумм рассеянной радиации, обусловленной длительным периодом лесных пожаров.

В многолетнем режиме солнечной радиации на территории ЕЧР сохраняется положительная тенденция, наиболее выраженная в южных районах. Тенденция к увеличению наблюдается и на Северо-Востоке - но там оценки недостаточно точные из-за низкой плотности сети. В Приамурье и Приморье и в Средней Сибири в последнее десятилетие отмечается тенденция к снижению прямой радиации..

- Средняя для РФ годовая продолжительность солнечного сияния (ПСС) была близка к норме (относительная аномалия $RS=99\%$). Для севера ЕЧР и Западной Сибири ($RS=86\%$) – значение ПСС среди двух наименьших значений с 1981 года, а ПСС южных регионов и ФО попала в пять максимальных. Из сезонов выделяется **лето** - в целом для территории РФ характеризуется дефицитом солнечного сияния ($RS=96\%$) – среди трех наименьших; наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС летом наблюдались в СЗФО ($RS=86\%$) и в Дальневосточном регионе ($RS=86\%$). Наибольший дефицит солнечного сияния в 2019 г. в целом по РФ наблюдался в июле ($RS=91\%$ - минимальная величина в ряду). Кроме того, выделяется **зима** в ЕЧР с рекордно низкой ($RS=71\%$) величиной ПСС. Средняя скорость роста ПСС для территории России в целом составляет 1.0% за 10 лет (значим на уровне 1%). Тренд положительный почти на всей территории РФ. Скорость роста годовых сумм ПСС в ЕЧР более чем в 2 раза выше, чем в АЧР (1.8%/10лет и 0.8%/10лет).

- В тропосфере Северного полушария 2019 год стал третьим самым теплым годом с 1958 года (аномалия $+0.60^{\circ}\text{C}$). Таким образом, 2015-2019 гг. являются пятью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария (весна и лето 2019 года вошли в пятерку самых теплых сезонов, а осень стала рекордно теплой с аномалией температуры $+0.79^{\circ}\text{C}$).

Рекордно теплыми были лето ($+0.58^{\circ}\text{C}$) и осень ($+0.94^{\circ}\text{C}$) в низких и умеренных широтах. В нижней стратосфере 2019 год стал третьим в ряду самых холодных лет по всему Северному полушарию (аномалия -1.01°C), уступая только 2016 и 2017 годам. В умеренных широтах зима была рекордно холодная (-1.93°C), а в низких широтах все сезоны заняли второе место в ряду самых холодных сезонов, а лето – третье. В высоких широтах зимой наблюдалась положительная аномалия температуры ($+1.74^{\circ}\text{C}$).

Структура климатических трендов температуры, за период с 1981 года по 2019 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере ($+0.18^{\circ}\text{C}/10$ лет) и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере ($-0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет).

- Средняя скорость ветра 15 м/с и более наблюдалась в 2019 году повсеместно, но повторяемость сильного ветра (15 м/с и более) значительно выше в прибрежных зонах Северно-Ледовитого океана, на Чукотке и Камчатке. Максимальное количество дней с сильным ветром наблюдалось в прибрежных районах и на Алтае. Аномалии скорости сильного ветра (более 15м/с) на большей части РФ в 2019 году отрицательны.

Во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается. В изменении числа дней с сильным ветром (более 15 м/с) выявлена тенденция уменьшения зимой и осенью в большинстве регионов.

- В 2019 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не было. Наибольшие отрицательные среднегодовые аномалии (до -2 м/с) наблюдались в районе Чукотского моря. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому, но летом имели место значительные отклонения направления ветра от климатических норм (аномалии меридионального ветра).

В нижней стратосфере в среднем за год не наблюдалось больших аномалий скорости ветра, при этом практически над всей территорией России преобладали отрицательные аномалии. Весной, летом и осенью аномалии скорости ветра не превышали 2,5 м/с по модулю, зимой практически над всей территорией России наблюдались аномалии, достигающие -7,5 м/с.

Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но зимой из-за значительных отрицательных аномалий зонального ветра на северо-востоке Дальнего Востока наблюдалось южное направление ветра, а летом северное и северо-восточное направление ветра наблюдалось на востоке Сибири и северо-востоке Дальнего Востока.

- По данным мониторинга парниковых газов в атмосфере уровень концентрации CO_2 в северных широтах на российских фоновых станциях постоянно растет (в среднем $2.26 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$) и в 2019 г. достиг очередного максимума: среднегодовое значение приблизилось к 414 млн^{-1} .

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. 2019 г. характеризуется значительным возрастанием CH_4 на станциях Териберка (11.2 млрд^{-1}) и Тикси (23.3 млрд^{-1}). Наблюдаемое в 2019г. возрастание CH_4 выше средней глобальной скорости роста за предшествующий десятилетний период ($10 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$).

Межгодовая изменчивость метана претерпевает значительные изменения, особенно в районах расположения источников, что приводит к заметному отличию скорости роста от глобальных значений. Так линейный тренд метана на ст. Обнинск для периода 1998-2019 гг. составил $1.4 \pm 0.8 \text{ млрд}^{-1}$ в год, тогда как значение линейного тренда для глобально-усредненных концентраций CH_4 за 01.1998–09.2019 гг. составило $4.6 \pm 0.3 \text{ млрд}^{-1}$ в год.

- На большей части РФ в 2019 г. во всем слое до 320 см преобладают положительные аномалии минимальной за год температуры почвы менее 1°C . Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Северо-Восточной Сибири.

Тенденция повышения минимальной температуры почвы за период 1976-2019 гг. ослабевала с глубиной. На большей части территории России преобладают тренды $<0.4^\circ\text{C}/10$ лет на всех глубинах до 320 см. Наибольшее и статистически достоверное повышение минимальной температуры почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири на полуострове Таймыр, в устьях рек Енисей и Лена, а также в долине реки Яна.

- Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы для всех анализируемых станций РФ лежат в интервале от -5 до 6 %. Наибольший дефицит среднегодового значения ОСО (-5%) зарегистрирован в Архангельске. Максимальное превышение среднегодового значения ОСО над нормой (6 %) зарегистрировано в Мурманске.

С начала 1980-х гг. и до середины 1990-х гг. наблюдалось заметное уменьшение озонового слоя. С конца 1990-х гг., наблюдается его относительная стабилизация. Тренд среднегодовых значений ОСО по данным 1997-2019 гг. в широтном поясе 60-90 с. ш. положительный и составляет 2.87 ед. Д. за десятилетие. Тренд ОСО в широтном поясе 300-600 с. ш. остается отрицательным и составляет -0.13 ед. Д. за десятилетие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В опубликованном ВМО пресс-релизе 01/15/2020 2019 год в целом для Земного шара характеризуется как исключительно теплый: второй в историческом ряду данных, полученных за весь период инструментальных наблюдений; глобальная температура по данным пяти ведущих зарубежных климатических центров превысила доиндустриальную (1850 - 1900 гг.) на величину от 1.05 до 1.20°C. В контексте современного глобального потепления год не был настолько экстремально теплым. Отклонение среднегодовой глобальной температуры от ожидаемого при среднегодовом росте температуры за 1976-2019 гг. 0.18°C за 10 лет (линейного тренда) составляет менее +0.05°C и не входит даже в пять максимальных за последние 20 лет (для сравнения: такое же отклонение в 2016 г. было около +0.25°C – в пять раз больше; оценки получены по данным климатического Центра Хэдли метеослужбы Соединенного Королевства и Группы исследований климата Университета Восточной Англии - HadCRUT4). Тем не менее, он успешно вписывается в тенденцию глобального потепления, наблюдающуюся с середины 1970-гг. По данным CRUTEM4 и T3288 (ФГБУ «ИГКЭ»: <http://climatechange.igce.ru>) он также был вторым самым теплым для суши Земного шара, третьим – для суши Северного полушария, и самым теплым – для суши Южного полушария.

Для территории России 2019 год также вписывается в общую тенденцию потепления: аномалия среднегодовой температуры (отклонение от средней за 1961-1990 гг.) составила +2.07°C (четвертая величина в ряду) и расположена выше по линии тренда примерно на четверть градуса. Почти во всех регионах РФ среднегодовая температура оказалась среди пяти наибольших. Отрицательные аномалии наблюдались только летом в СЗФО и ПФО. Основным драйвером современного потепления признан рост концентраций парниковых газов (ПГ), в первую очередь, двуокиси углерода и метана; несмотря на усилия, принимаемые мировым сообществом для ограничения выбросов ПГ в атмосферу, их концентрации продолжают расти. Уровень концентрации CO₂ в фоновых условиях в атмосфере северных широт достиг в 2019 г. очередного максимума.

Потепление сопровождается уменьшением продолжительности снежного покрова, более ранним вскрытием рек и поздним ледоставом. Результаты физико-математического моделирования климата показывают, что потепление будет сопровождаться ростом осадков во всех регионах РФ, кроме юга ЕЧР, где ожидается убывание осадков летнего сезона. Этот вывод подтверждается данными наблюдений: на большей части РФ осадки растут во все сезоны; летние осадки убывают в важнейших зернопроизводящих районах: ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО.

Влияние потепления на климатические условия жизни и деятельности населения России нельзя оценить однозначно. Изменения в криосфере включают, с одной стороны, существенное улучшение условий навигации вдоль трассы Севморпути, но с другой – деградация мерзлоты может приводить к разрушению фундаментов и инфраструктуры. Рост продолжительности вегетационного периода при потеплении – очевидный бонус для земледелия - сопровождается увеличением риска засухи в основных зернопроизводящих районах ЕЧР из-за дефицита осадков при повышенных температурах. Количество подобных примеров можно множить. Подробные и надежные данные о наблюдаемых тенденциях изменения климатических условий, полученные в результате регулярного климатического мониторинга, совместно с климатическими проекциями, полученными по результатам физико-математического моделирования, являются таким образом необходимой основой для выработки мер по адаптации отраслей народного хозяйства, систем жизнеобеспечения к условиям изменяющегося климата.