

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 2020 ГОД

Москва, 2021 г.

УДК 551.5
ББК 26.2
Д 63

**Д 63 Доклад об особенностях климата на территории
Российской Федерации за 2020 год. – Москва, 2021. –
104 стр.**

ISBN 978-5-906099-58-7

В Докладе представлены результаты мониторинга климата Российской Федерации за 2020 г., выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе. Приводятся данные о наблюдавшихся в 2020 г. 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, 2021

RUSSIAN FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING
(ROSHYDROMET)

A REPORT
ON CLIMATE FEATURES
ON THE TERRITORY
OF THE RUSSIAN FEDERATION
IN 2020

Moscow, 2021

Настоящий ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

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

М.Ю. Бардин, В.И. Егоров,
С.А. Громов, Е.Н. Козлова,
Т.В. Платова, Э.Я. Ранькова,
О.Ф. Самохина

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

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

А.Д. Клещенко
А.А. Карачёнок, В.Н. Павлова

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

В.А. Задворных, В.М. Ивахов,
Н.Н. Парамонова, В.И. Привалов,
В.В. Стадник, Е.И. Хлебникова

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

Н.С. Иванова, Г.М. Крученицкий

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

Е.Л. Баранова,
В.Н. Вишератин

Т.Р. Жемчугова

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
TABLE OF CONTENTS	
ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....	6
OPENING ADDRESS	
ВВЕДЕНИЕ	8
INTRODUCTION	
1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА	10
SURFACE AIR TEMPERATURE	
2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ	18
PRECIPITATION	
3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2019/2020 гг.	27
SNOWCOVER IN WINTER 2019/20	
4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК	33
RIVER FREEZE-UP AND SPRING BREAK	
5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ	36
NORTH POLAR REGION	
6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА	44
PERMAFROST	
7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	46
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS	
8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	52
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS	
9. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ.....	55
SOLAR RADIATION	
10. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ.....	60
SUNSHINE DURATION	
11. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ.....	69
TEMPERATURE IN FREE ATMOSPHERE	
12. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА.....	75
WIND	
13. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ	79
WIND IN FREE ATMOSPHERE	
14. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ	83
GREENHOUSE GASES	
15. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ	88
SOIL TEMPERATURE	
16. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ	91
OZONE LAYER	
ВЫВОДЫ	97
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	104

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО



«Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации» является официальным ежегодным изданием Росгидромета. Это источник надежной информации о состоянии и тенденциях изменения климата на территории РФ, обобщающий результаты оперативного климатического мониторинга и климатических исследований, проводимых НИУ Росгидромета. Доклад является существенной частью научного обеспечения разработки и реализации политики в области климата, предусмотренной Климатической доктриной Российской Федерации. Материалы Доклада основаны на апробированных многолетних рядах данных государственной наблюдательной сети Росгидромета и утвержденных методиках обработки и анализа климатических данных.

В настоящем выпуске Доклада представлены данные о состоянии климата и важнейших климатических аномалиях на территории России в прошедшем 2020 г., а также обновленные оценки наблюдаемых тенденций изменения климата.

Прошедший год оказался экстремально теплым как в России, так и в целом по земному шару. Осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-90 гг.) составила $+3.22^{\circ}\text{C}$ – более чем на 1 градус выше предыдущего максимума 2007 г. В целом по России годовые суммы осадков несколько выше нормы (106%). Ледяной покров в акватории арктических морей, по которым проходит трасса Северного морского пути, в 2020 г. сократился к сентябрю до рекордно низкого уровня (26 тыс. кв. км).

В целом для суши земного шара (по данным ФГБУ «ИГКЭ» и CRU UEA –Группы исследований климата Университета Восточной Англии) год оказался самым теплым, а глобальная температура с учетом температуры у поверхности океана была второй в истории (данные Центра Хэдли) и первой в Северном полушарии.

Скорость глобального потепления в период с 1976 г. по 2020 г. составляет, по данным Центра Хэдли метеослужбы Соединенного Королевства, 0.18°C за десятилетие, и только за этот период глобальная температура выросла на 0.8°C .

По оценке Росгидромета, скорость потепления в среднем по России значительно превосходит среднюю по земному шару и составляет для того же периода 1976-2020 гг. 0.51°C за десятилетие.

О потеплении свидетельствуют также изменения целого ряда других климатических переменных. Согласованные с потеплением у поверхности Земли

изменения происходят в температуре тропосферы; в нижней стратосфере наблюдается, в соответствии с теорией, похолодание. Отмечается стабильный тренд на уменьшение ледового покрова Арктики: с 1980-х годов в районе Северного морского пути это уменьшение составило 5-7 раз; в отдельные годы трасса к концу лета почти освобождается ото льда. Во многих регионах уменьшается продолжительность залегания снежного покрова. В последнее десятилетие преимущественно в значительно более ранние сроки наблюдается вскрытие большинства рек, в то время как ледообразование происходит позже обычного. Растет мощность сезонно-талого слоя вечной мерзлоты.

Хотя в целом по России наблюдается рост осадков, в южной половине Европейской части России, в летний период отмечается важная негативная тенденция: на фоне быстрого роста средних температур происходит уменьшение влагообеспеченности, что приводит к увеличению риска засухи.

По данным Росгидромета, в 2020 г. на территории Российской Федерации отмечалась 1000 опасных гидрометеорологических явлений, включая агрометеорологические и гидрологические. Это на 97 явлений больше, чем в 2019 г., когда их было 903. Мониторинг общего числа ОЯ ведется с 2008 г. Из всех 1000 ОЯ, наблюдавшихся в 2020 г., 372 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения (в 2019 г. было соответственно 903 и 346 ОЯ).

С продолжающимся потеплением связаны изменения состояния вечной мерзлоты, деградация которой может иметь многочисленные негативные эффекты для природных и техногенных систем. На всех площадках для измерения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты в ЕЧР и Западной Сибири наблюдалось существенное увеличение мощности СТС. В некоторых пунктах европейского севера мощность СТС достигла рекордных значений с начала наблюдений. В целом отмечается устойчивая тенденция увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в XXI веке. Минимальная за год температура почвы на глубинах до 320 см растет с преобладающими скоростями менее 0.4°C/10 лет; максимум роста наблюдается на севере Сибири.

Подробные данные об этих и других климатических аномалиях, обновленные оценки климатических трендов для территории Российской Федерации и ее регионов вы найдете в соответствующих разделах настоящего Доклада. Надеемся, что представленные в Докладе данные будут полезны широкому кругу пользователей, заинтересованных в актуальной климатической информации: федеральным и региональным органам власти, научным организациям, лицам, принимающим решения в секторах экономики, 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 2020 г. В частности, приводятся данные о климатических аномалиях температуры и осадков, об особенностях режима солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния, 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 двуокси углерода и метана. Рассмотрены особенности климатических условий в Северной полярной области и Северном Ледовитом океане. Добавлены сведения о наблюдавшихся в теплый период засухах. 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 2020 г. 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): рисунок 2 и квази-однородных климатических регионов: рисунок 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, процентилях) и порядковые статистики (ранги, т.е. порядковые номера в упорядоченном ряду значений); периоды для оценки этих статистик специально оговариваются в каждом случае.

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.

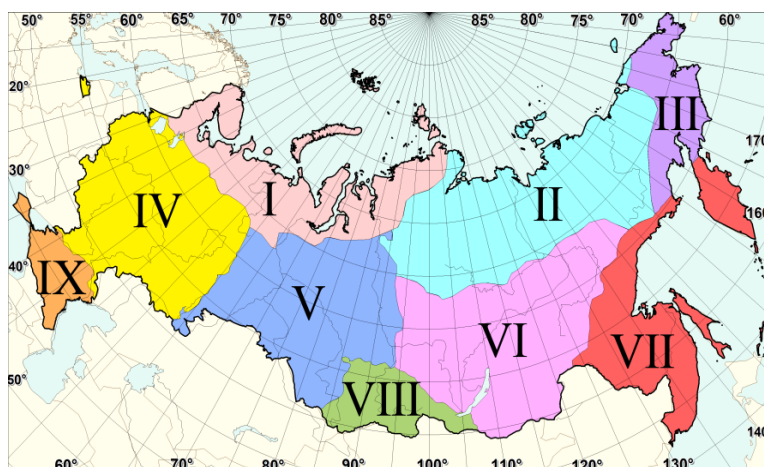


Рисунок 3 - Квази-однородные климатические регионы: **I** - Север ЕЧР и Западной Сибири, **II** - Северная часть Восточной Сибири и Якутии, **III** - Чукотка и север Камчатки, **IV** - Центр ЕЧР, **V** - Центр и юг Западной Сибири, **VI** - Центр и юг Восточной Сибири, **VII** - Дальний Восток, **VIII** - 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 1936-2019 гг. Ранги приведены для ряда 1936-2020 гг.

Особенности температурного режима в 2020 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 рисунке 1.1, а карты – на рисунке 1.2.

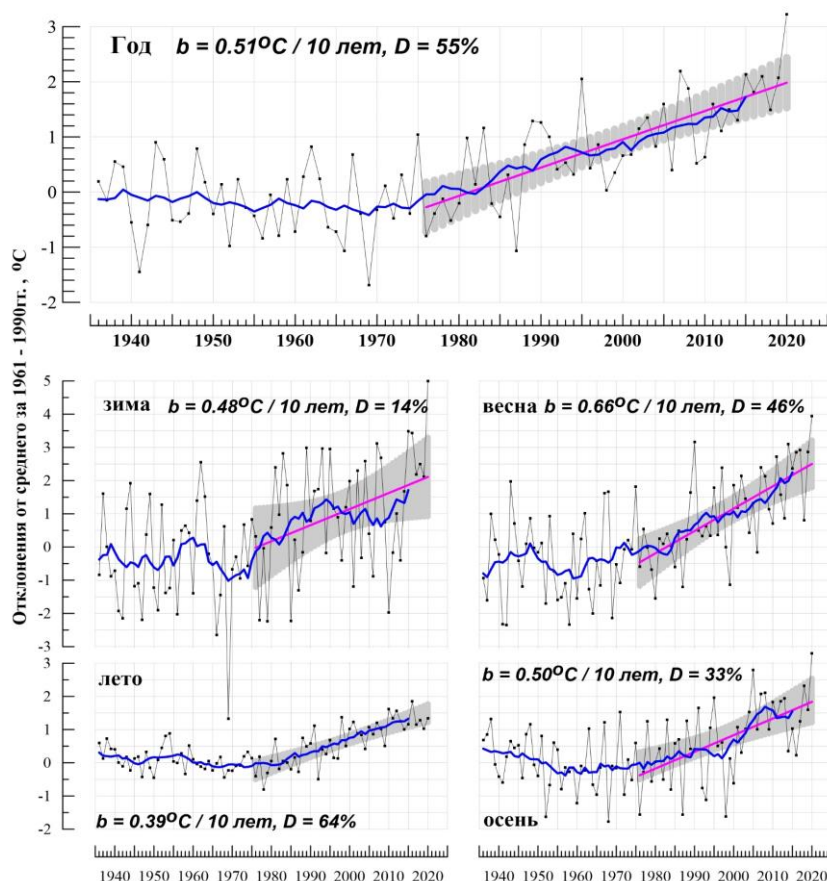


Рисунок 1.1 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха (°C), осредненные по территории России, 1936-2020 гг.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Показаны также 11-летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95%-й доверительной полосой; b - коэффициент тренда (°C/10 лет), D – вклад тренда в суммарную дисперсию.

2020 год в России был необычайно теплым: максимальные значения с 1936 г. отмечены не только для среднегодовой температуры, но и для всех сезонов, кроме лета. Осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-90 гг.) $+3.22^{\circ}\text{C}$ – это более чем на 1 градус выше предыдущего максимума 2007 г. Доля площади страны, занятая аномалиями выше двух стандартных отклонений ($>+2\sigma$), составила 72%. Осредненные по всем регионам и федеральным округам аномалии – максимальные величины в соответствующих рядах (кроме региона Приамурье и Приморье, ЮФО и СКФО – для всех ранг 2).

Осредненные по РФ аномалии температуры в

январе (рисунк 1.3), феврале, марте, апреле, мае, сентябре, ноябре (рисунк 1.4) были среди двух самых крупных (ранг 1 или 2).

Зимой 2019/20 гг. средняя по России аномалия составила $+5.00^{\circ}\text{C}$. Это сразу на 1.5°C выше предыдущего максимума 2015 г. Зима была самой теплой с 1936 г. во всех федеральных округах, кроме СКФО (4-я) и ДФО (3-я). В ЕЧР, в Западной и Средней Сибири отмечены экстремальные условия: на большинстве станций 95%-е экстремумы – аномалии температуры до $+8.5^{\circ}\text{C}$; максимальные в рядах средние по регионам температуры. Особенно тепло было в ЕЧР: средняя аномалия 6.82°C – почти на 2.5°C больше предыдущего максимума 2016 г. В АЧР аномалия $+4.30^{\circ}\text{C}$ – также максимум (в Западной Сибири экстремально тепло, аномалия $+7.04^{\circ}\text{C}$, ранг 1). Лишь на небольших территориях севера ДФО наблюдались температуры немного ниже климатической нормы.

Декабрь 2019 г. Средняя по РФ аномалия температуры составила

$+2.64^{\circ}\text{C}$ (ранг 13), а осредненная по ЕЧР: $+5.25^{\circ}\text{C}$ – ранг 2. Повсеместно в центре и на западе ЕЧР отмечались 95%-е экстремумы, аномалии на станциях до $+8.3^{\circ}\text{C}$. Температуры

ниже климатической нормы в декабре наблюдались на Среднесибирском плоскогорье (аномалии до -4.5°C), в Забайкалье, в Приамурье.

В **январе** средняя по России аномалия температуры составила $+6.22^{\circ}\text{C}$ – ранг 2, средняя по ЕЧР: $+7.89^{\circ}\text{C}$ – максимум в ряду, средняя по АЧР: $+5.58^{\circ}\text{C}$ – ранг 2. Аномально высокие температуры (95%-е экстремумы, аномалии температуры $+4^{\circ}\text{C}$ - $+13^{\circ}\text{C}$) наблюдались почти всюду (кроме востока Якутии и Чукотки). На востоке Якутии температуры были близки к климатической норме, на Чукотке – незначительно ниже климатической нормы (аномалии до -1.5°C). На ЕЧР мощный очаг тепла сформировался в ЦФО, ПФО и на юго-западе СЗФО. Здесь максимальная

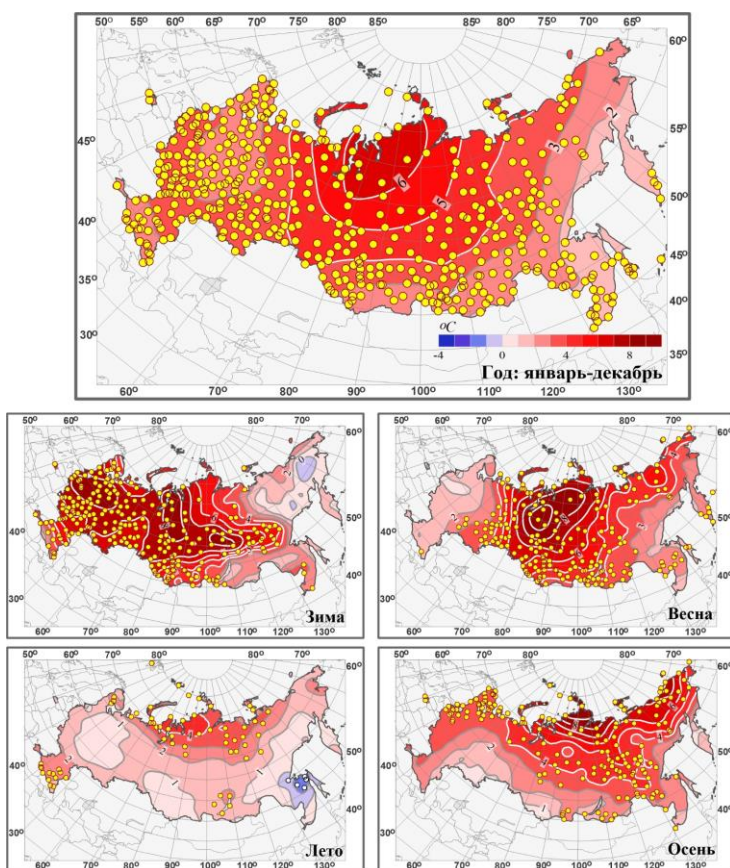


Рисунок 1.2 – Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2020 г. (отклонения от средних за 1961-1990 гг.) с указанием локализации 95%-х экстремумов (желтые кружки).

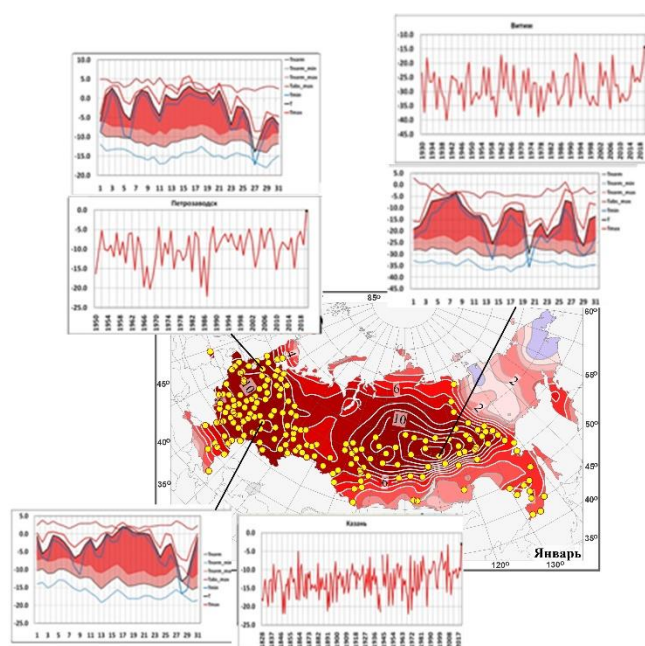


Рисунок 1.3 – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в январе

положительная аномалия среднемесячной температуры воздуха составила 8-12°C. Над европейской территорией преобладал западно-восточный перенос, который обеспечивал поступление теплых воздушных масс с Атлантики. Повсюду на территории региона регистрировались новые рекорды максимальной температуры воздуха, иногда они удерживались несколько дней подряд. Так, 15 января теплый фронт очередного атлантического циклона, добавил тепла на северо-западе ЕЧР. Это привело к обновлению рекордов максимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге, где воздух прогрелся до 7.6°C (предыдущий рекорд этого дня 5.5°C отмечался в 1975 г.), а также в Новгороде, Петрозаводске (см. врезку рис. 1.3), Твери и Смоленске. 17 января максимальная температура в Москве перекрыла прежний рекорд 1925 г. и составила 4.3°C. А в Казани, где наиболее теплой выдалась вторая декада, 17 января даже средняя суточная температура превысила абсолютный максимум (см. врезку рисунка 1.3). Еще один температурный рекорд в Москве был обновлен 22 января, причем рекордное значение 4.3°C было зафиксировано ночью.

Таблица 1.1 – Средние годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2020 г. νT – отклонения от средних за 1961-1990 гг.; s – среднее квадратическое отклонение за 1961-1990 гг. Красной заливкой выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранг 1, 2 или 3), розовой – 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	3.22	0.76	5.00	1.81	3.94	1.20	1.34	0.34	3.29	0.90
Физико-географические регионы										
ЕЧР	2.86	0.96	6.82	2.35	2.20	1.45	1.35	1.01	2.64	1.04
АЧР	3.35	0.80	4.30	1.86	4.61	1.86	1.34	0.34	3.53	1.09
Западная Сибирь	3.99	1.09	7.04	2.92	6.54	1.65	1.40	0.80	2.73	1.53
Средняя Сибирь	4.48	1.14	6.01	2.81	5.43	1.69	1.96	0.65	4.39	1.82
Прибайкалье и Забайкалье	2.89	0.76	3.37	1.80	4.02	1.36	1.25	0.54	2.52	1.20
Приамурье и Приморье	1.92	0.81	2.33	1.51	2.27	1.17	0.02	0.72	2.68	0.89
Восточная Сибирь	2.58	0.62	1.50	1.37	3.49	1.24	1.43	0.53	4.33	0.94
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	3.37	1.19	7.34	2.82	2.65	1.62	1.42	1.22	3.37	1.28
Центральный	2.96	1.05	7.94	2.72	1.45	1.69	1.29	1.21	3.21	1.13
Приволжский	2.50	1.02	7.79	2.58	2.62	1.68	0.86	1.18	1.47	1.27
Южный	2.39	0.88	5.09	2.08	1.49	1.48	2.31	1.03	2.51	1.04
Северо-Кавказский	2.03	0.69	2.97	1.63	1.31	0.99	2.10	0.78	2.45	0.89
Уральский	4.36	1.16	7.64	3.09	6.69	1.79	1.74	1.02	3.20	1.65
Сибирский	3.65	1.04	6.02	2.53	5.56	1.54	1.40	0.52	2.93	1.61
Дальневосточный	2.85	0.71	2.79	1.43	3.33	1.22	1.16	0.44	4.06	0.98

В **феврале** средняя по России аномалия температуры составила 6.20°C – вторая величина в ряду. Аномально высокие температуры (95%-е экстремумы) отмечены от западных границ до Якутии. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в Магаданской области, на Чукотке (аномалии до -7.3°C), на Камчатке.

Весной средняя по РФ аномалия составила +3.94°C (рекорд); рекордная температура также отмечена в АЧР (аномалия +4.61°C), а в ЕЧР аномалия +2.20°C: ранг 9. На всей территории страны температуры были выше климатической нормы. На западе страны температуры близки к норме. Аномально высокие температуры (95%-е экстремумы) наблюдались от востока ЕЧР до Хабаровского края и Корякского АО. Средняя аномалия по УФО: +6.69°C (ранг 1), по СФО: +5.48°C (ранг 1), по ДФО: +3.38°C (ранг 3), по ПФО: +2.67°C (ранг 5). Наиболее высокие температуры наблюдались в Западной Сибири (аномалии в северной части превышали +9°C; в среднем по региону +6.54°C). В **марте** средняя по России аномалия температуры +5.47°C – третья величина в ряду. Температуры выше климатической нормы более чем на 3°C наблюдались на всей

территории страны. Осредненная аномалия по ЕЧР: $+5.88^{\circ}\text{C}$ – рекордное значение в ряду, по АЧР: $+5.31^{\circ}\text{C}$ – третья величина в ряду. Повсеместно в ЕЧР, в Западной Сибири, в районе Байкала, в Приморье, на Камчатке фиксировались 95%-е экстремумы температуры. **В апреле** осредненная по РФ аномалия температуры $+3.62^{\circ}\text{C}$ – вторая величина в ряду. Температуры выше климатической нормы наблюдались на востоке ЕЧР и далее на всей АЧР ($+4.95^{\circ}\text{C}$ – ранг 2). Экстремальные условия отмечены в Западной Сибири ($+6.72^{\circ}\text{C}$: ранг 2), в Средней Сибири ($+7.04^{\circ}\text{C}$: ранг 2), в Прибайкалье и Забайкалье ($+4.86^{\circ}\text{C}$: ранг 3). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в ЦФО (-0.61°C), в ЮФО (-1.03°C) и в СКФО (-1.21°C).

В мае осредненная по РФ аномалия температуры составила $+2.73^{\circ}\text{C}$ – максимальная величина с 1936 года. Температуры выше климатической нормы наблюдались на востоке ЕЧР и далее на всей АЧР ($+3.59^{\circ}\text{C}$: ранг 1). Экстремально тепло (на большинстве станций фиксировались 95%-е экстремумы) от Урала до течения Лены и на побережье Восточно-Сибирского моря (в междуречье Оби и Енисея аномалии более $+9^{\circ}\text{C}$). Средняя аномалия по УФО: $+6.64^{\circ}\text{C}$ (ранг 1), по СФО: $+4.28^{\circ}\text{C}$ (ранг 1), по ДФО: $+2.19^{\circ}\text{C}$ (ранг 5). На западе и в центре ЕЧР температуры были ниже климатической нормы, осредненная по ЦФО аномалия составила -1.48°C (с 2001 г. это вторая среди самых низких майских температур), по ЮФО -0.66°C .

Летом средняя по РФ аномалия температуры составила $+1.34^{\circ}\text{C}$ (ранг 5); при такой же аномалии температуры в АЧР и практически идентичной ($+1.35^{\circ}\text{C}$) в ЕЧР, они ранжировались по-разному: АЧР – 7-8-я, а ЕЧР лишь 13-я. Почти на всей территории страны температуры были выше климатической нормы. Тепло на юге ЕЧР (в СКФО аномалия $+2.10^{\circ}\text{C}$, ранг 5), на севере Западной и Средней Сибири: в Средней Сибири тепло также и на юге, а в целом по региону аномалия температуры составила $+1.96^{\circ}\text{C}$ (ранг 3). Температуры ниже климатической нормы (до -1.9°C) наблюдались в нижнем течении Амура и на севере Сахалина. **Июнь** был очень теплым на севере и в центре АЧР: осредненная по Восточной Сибири аномалия температуры $+3.35^{\circ}\text{C}$ (рекордная величина в ряду), а по Средней Сибири 3.14°C – ранг 5. Также на западе и юге ЕЧР (осредненная аномалия по СКФО 2.86°C – ранг 4). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в Приамурье и Приморье (осредненная по региону аномалия -0.89°C – наименьшее значение в XXI веке) на юго-востоке ЕЧР и на юге Западной Сибири. **В июле** осредненная по РФ аномалия температуры составила 1.46°C – пятая величина в ряду. Температуры, превышающие нормы более чем на 3°C , наблюдались на юге ЕЧР (в ЮФО аномалия $+2.99^{\circ}\text{C}$: ранг 5), в СКФО ($+2.73^{\circ}\text{C}$: ранг 4), в ПФО и на Южном Урале; а также вдоль побережья Северного Ледовитого океана и на юге ДФО. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на западе ЕЧР (аномалии не ниже -0.5°C); в центре АЧР (аномалии до -1.5°C). **В августе** осредненная по РФ аномалия температуры $+0.98^{\circ}\text{C}$. Температуры, превышающие нормы более чем на 2°C , наблюдались на Урале, в Западной Сибири ($+2.86^{\circ}\text{C}$: ранг 4) и на западе Средней Сибири ($+1.90^{\circ}\text{C}$: ранг 3). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на большей части ДФО (аномалии до -2.4°C) и в центральных районах ЕЧР (аномалии до -0.5°C).

Осенью осредненная по России аномалия температуры составила $+3.29^{\circ}\text{C}$, а по АЧР $+3.53^{\circ}\text{C}$ – максимальные величины в рядах. Экстремальные условия (аномалии выше 3°C , на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы) наблюдались в АЧР почти всюду, кроме юга Западной Сибири, а также в СЗФО. Аномально тепло на севере Средней Сибири (на Таймыре аномалии $+8-9^{\circ}\text{C}$). Осредненные по всем регионам и федеральным округам (кроме ПФО) аномалии температуры – среди трех наибольших в соответствующих рядах. **В сентябре** (средняя по РФ аномалия $+2.49^{\circ}\text{C}$ – рекордная величина в ряду) температуры выше климатической нормы наблюдались практически всюду (кроме южных районов ПФО и южных районов Алтая), экстремально тепло (95%-е экстремумы) на западе ЕЧР, на большей части АЧР (кроме юга Западной и Средней Сибири, Чукотки и Камчатки). **Октябрь** – также очень теплый месяц, осредненная по РФ

аномалия температуры $+2.89^{\circ}\text{C}$ – пятая величина в ряду, экстремальные условия наблюдались в ЕЧР ($+3.41^{\circ}\text{C}$ – ранг 1), в Восточной Сибири ($+4.68^{\circ}\text{C}$ – ранг 1), на остальной территории страны аномалии температуры также были положительными, но не превышали $+3^{\circ}\text{C}$.

Ноябрь. Осредненная по РФ ноябрьская аномалия температуры $+4.60^{\circ}\text{C}$ – вторая величина в ряду (после рекордного ноября 2013 года с аномалией $+5.14^{\circ}\text{C}$). Экстремально тепло в АЧР ($+5.44^{\circ}\text{C}$ – ранг 1), также очень тепло на севере ЕЧР (в СЗФО аномалия температуры составила $+4.66^{\circ}\text{C}$ – ранг 5).

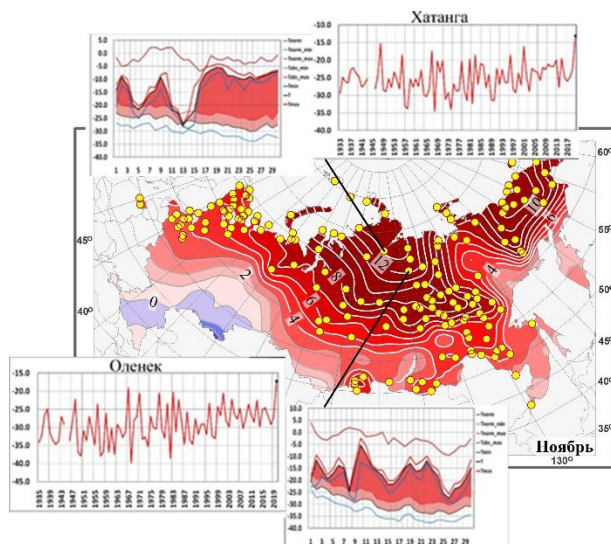


Рисунок 1.4 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в ноябре. На врезках ряды среднемесячной температуры воздуха и среднесуточной температуры в очагах максимальных температурных аномалий: Хатанга и Оленек.

В первой половине ноября из-за интенсивного западного переноса атлантические циклоны определяли погоду практически на всей территории Сибири. Однако затем, с усилением мощности Сибирского антициклона, атлантические циклоны продолжали активно влиять только на арктическое побережье, что привело к формированию над Таймыром и северо-западными районами Якутии мощного очага тепла, в центре которого аномалии среднемесячной температуры достигали $10-12^{\circ}\text{C}$. В Хатанге (рисунок 1.4, врезка) всю вторую половину месяца максимальная температура приближалась к абсолютным значениям, наблюдалась очень незначительная разница между максимальной и среднесуточной температурой воздуха. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в ЮФО и ПФО с аномалиями до -2°C (на

границе с Казахстаном).

Декабрь 2020 г. (рис. 1.5). Осредненная по территории РФ аномалия температуры $+0.51^{\circ}\text{C}$. Температуры выше климатической нормы наблюдались в северных районах страны, на западе Якутии, в Забайкалье и в Приамурье. Крупные области температур ниже климатической нормы сформировались на юге ЕЧР (аномалии до -5.8°C), кроме СКФО, на востоке Западной и западе Средней Сибири (аномалии до -3°C), на востоке Якутии и в Хабаровском крае (аномалии до -3.2°C).

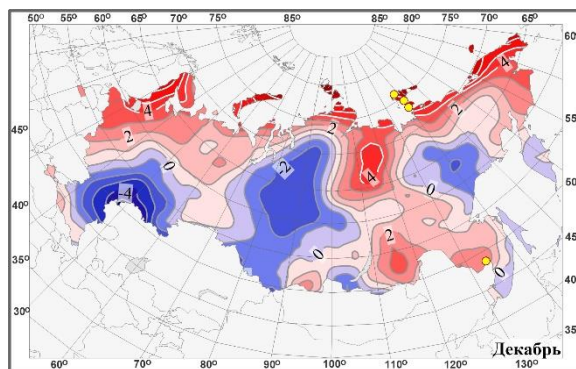


Рисунок 1.5 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2020 г.

Тенденции изменений температуры воздуха

Региональные оценки трендов, полученные по временным рядам пространственно осредненных аномалий температуры за 1976-2020 гг., приведены в табл. 1.2 для всех рассматриваемых регионов: территория России, физико-географические регионы, федеральные округа.

На рисунке 1.6 представлено географическое распределение локальных оценок тренда 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 наблюдается на всей территории России во все сезоны (рисунок 1.6). Крупные сезонные аномалии температуры в 2020 г. привели к значительному росту оценок тренда зимней и осенней температуры по сравнению с предыдущим годом. Зимой тренд за 1976-2020 $0.48^{\circ}\text{C}/10$ лет объясняет 14% дисперсии ряда (таблица 1.2) против $0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет (6% объясненной дисперсии); таким образом, тренд за предыдущий период, незначимый даже на уровне 5%, становится значимым на 1%-м уровне при добавлении на конце ряда единственного выделяющегося значения (оценка с использованием Т-статистики).

Это заставляет с осторожностью относиться к заключению о значимости, тем более, что 95%-я доверительная область Уоркинга-Хотелинга (рис. 1.1) включает линии тренда с отрицательными коэффициентами (до $-0.08^{\circ}\text{C}/10$ лет) — становясь, таким

образом, значительно более консервативной оценкой значимости.

Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила $+0.51^{\circ}\text{C}/10$ лет (вклад в общую изменчивость 55%). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур ($0.66^{\circ}\text{C}/10$ лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет: описывает 64% суммарной дисперсии). Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: ($0.72^{\circ}\text{C}/10$ лет для ЮФО). Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой все еще наблюдается область убывания температуры, хотя и на существенно меньшей территории и значительно более слабого, чем в период 1976-2014 гг. Потепление зим

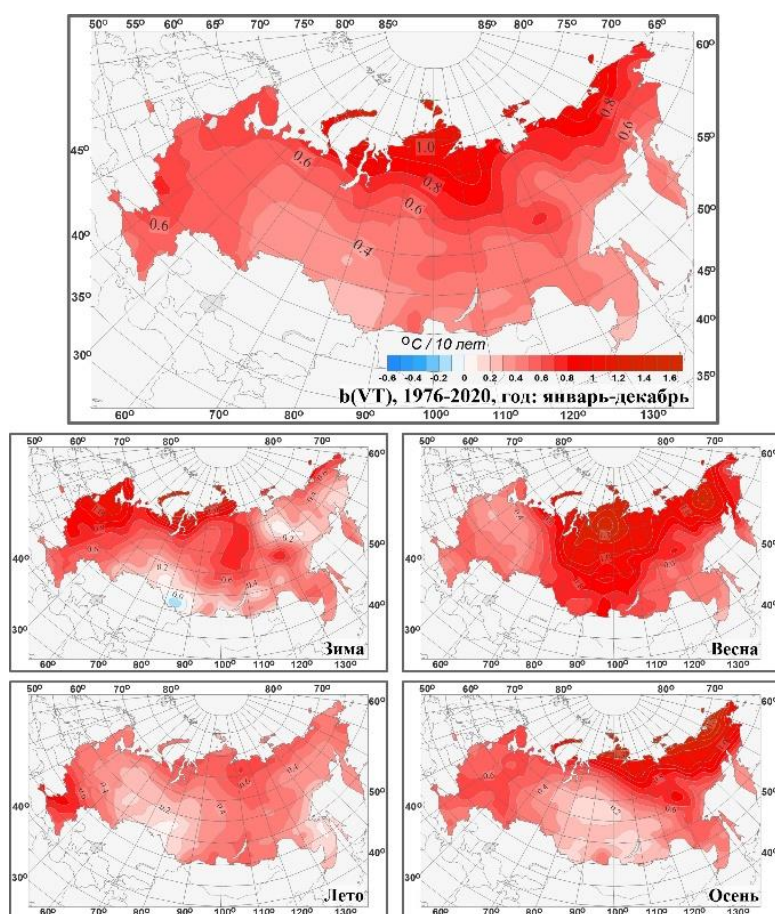


Рисунок 1.6 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2020 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

за период 1994-2010 гг. наблюдалось в основном в арктической зоне России; на остальной территории зимние температуры убывали, слабо на ЕЧР (до $-0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) и значительно в АЧР, до $-2^{\circ}\text{C}/10$ лет на юге Сибири; но тенденция похолодания прекратилась после 2010 г. (рисунок 1.1). Летом и осенью рост температуры на юге Сибири (осенью также в центре) очень слаб.

Наибольшая скорость роста среднегодовой температуры отмечается на побережье Северного Ледовитого океана, особенно в АЧР ($+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет - $+1.2^{\circ}\text{C}/10$ 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° с.ш. Кроме того, необходимо отметить следующие особенности: весной интенсивное потепление наблюдается в Западной

($+0.75^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Средней Сибири ($+0.87^{\circ}\text{C}/10$ лет); а также в Восточной Сибири весной ($+0.81^{\circ}\text{C}/10$ лет) и осенью $+0.75^{\circ}\text{C}/10$ лет; летом в ЮФО, ЦФО и СКФО ($+0.72^{\circ}\text{C}/10$ лет и $+0.55^{\circ}\text{C}/10$ лет и $+0.61^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Осенью незначимые тренды (даже на 5% уровне) отмечаются в Западной и Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье.

Еще раз заметим, что в Сибири зимой наблюдается область похолодания, впервые проявившаяся за период 1976-2010 гг. и достигшая максимума за период 1976-2014 гг. (значение тренда в центре достигало $-0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет); в настоящее время похолодание значительно менее выражено ($-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет на юге Западной Сибири).

Таблица 1.2 – Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за год и по сезонам по территории России, её регионов и федеральных округов за 1976-2020 гг.:

b – коэффициент линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), D – вклад тренда в дисперсию (%); цветом выделены тренды, не значимые на 1%-м уровне.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	D	b	D	b	D	b	D	b	D
Россия										
Россия	0.51	55	0.48	14	0.66	46	0.39	64	0.50	33
Физико-географические регионы										
ЕЧР	0.55	52	0.72	17	0.44	24	0.46	34	0.55	31
АЧР	0.50	51	0.40	10	0.75	45	0.37	65	0.49	27
Западная Сибирь	0.42	27	0.35	3	0.75	29	0.26	13	0.31	7
Средняя Сибирь	0.59	40	0.54	7	0.87	40	0.45	47	0.44	11
Прибайкалье и Забайкалье	0.42	38	0.29	4	0.66	33	0.46	49	0.24	7
Приамурье и Приморье	0.37	47	0.42	14	0.41	24	0.22	19	0.42	27
Восточная Сибирь	0.60	61	0.35	11	0.81	44	0.40	51	0.85	53
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	0.59	44	0.88	16	0.44	17	0.39	26	0.57	25
Центральный	0.61	51	0.82	18	0.46	21	0.55	31	0.59	31
Приволжский	0.49	40	0.56	9	0.44	17	0.39	16	0.55	23
Южный	0.57	50	0.58	16	0.48	25	0.72	50	0.52	25
Северо-Кавказский	0.48	52	0.49	21	0.37	26	0.61	52	0.45	24
Уральский	0.49	29	0.50	5	0.74	24	0.31	13	0.38	8
Сибирский	0.44	32	0.34	3	0.79	39	0.36	47	0.25	5
Дальневосточный	0.55	62	0.41	19	0.71	44	0.38	58	0.69	50

Рост зимней температуры для России в целом прекратился в середине 1990-х гг., после чего наблюдалось ее убывание, в последнее десятилетие наблюдается тенденция к росту (рисунок 1.1). Отметим экстремально теплые зимы 2014/15 и 2015/16 гг.: хотя следующие три зимы были существенно холоднее, они все же теплее ожидаемого по линии тренда, а зимой 2019/20 наблюдался максимум в ряду, на 1.5°C выше предыдущего (2014/15 гг.). Оцененный за период 1976-2014 гг. зимний тренд по РФ был $+0.15^{\circ}\text{C}/10$ лет, а для 1976-2020 увеличился до $+0.48^{\circ}\text{C}/10$ лет.

В период с середины 2000-х по 2016 г. наблюдалось определенное убывание осенней температуры (рисунок 1.1).

Аномалии температуры и тенденции изменений температурного режима районов Северного Кавказа

Для территории Северного Кавказа был продолжен анализ рядов климатических переменных горных мс: Ахты (1281 м н.у.м.), Теберда (1335 м н.у.м.), Терскол (2144 м н.у.м.) и двух мс в предгорном и степном районах – Нальчик (500 м н.у.м.) и Прохладная (198 м н.у.м.).

В таблице 1.3 приведены данные об аномалиях температуры в 2020 г. На всех станциях отмечены положительные аномалии сезонных и годовых средних температур. На станциях Нальчик и Прохладная 95%-е экстремумы отмечались во все сезоны (кроме весеннего), а за год в целом также мс Ахты. В летний и осенний сезоны 2020 г. 95%-е экстремумы отмечены также на станции Теберда.

Индексы **максимальных** температур, рассчитанные как осредненное за сезон (год) значение абсолютного месячного максимума (т.е. максимума из максимальных за сутки температур), выраженного как отклонение от его климатического среднего (за 1961-1990 гг.), положительны на всех станциях и во все сезоны, 95%-е экстремумы отсутствуют. Индексы **минимальных** сезонных и годовых температур (рассчитанные аналогично для минимальных за сутки температур) положительны (кроме весеннего сезона в Нальчике) с присутствием 95%-го экстремума зимой в Теберде.

В таблице 1.4

приведены

характеристики

линейного тренда за

1976-2019 гг. Из

таблицы 1.4 и

рисунка 1.7 видно,

что с 1976 года на

всех мс Кавказского

региона наблюдался

положительный тренд

средних годовых и

сезонных температур;

годовые тренды

значимы на 1%-ом

уровне, сезонные – на

5%-ом уровне.

Рост годовых

температур

обусловлен ростом

максимальных

температур, особенно

в предгорном

($0.64^{\circ}\text{C}/10$ лет, $D=$

21%) и степном

($0.89^{\circ}\text{C}/10$ лет, $D=$

32%) 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 2020 г.: νT – отклонения от нормы (средние за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2020 гг., розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ , оранжевым – более 1.69σ (5 и 95%-е экстремумы при Гауссовом распределении), голубым и синим – те же значения для отрицательных аномалий

	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	νT , $^{\circ}\text{C}$	σ , $^{\circ}\text{C}$	νT , $^{\circ}\text{C}$	σ , $^{\circ}\text{C}$	νT , $^{\circ}\text{C}$	σ , $^{\circ}\text{C}$	νT , $^{\circ}\text{C}$	σ , $^{\circ}\text{C}$	νT , $^{\circ}\text{C}$	σ , $^{\circ}\text{C}$
Средние температуры										
Ахты	1.5	0.85	2.4	1.86	1.6	1.24	1.7	1.05	1.6	1.26
Теберда	1.3	0.81	0.8	1.82	0.8	0.92	1.8	1.01	2.0	1.04
Терскол	0.8	0.67	0.2	1.6	0.9	0.93	1.1	0.9	1.4	1.03
Нальчик	2.4	0.99	3.5	1.9	1.7	1.2	2.6	1.2	2.7	1.2
Прохладная	2.3	0.97	3.4	1.9	1.4	1.16	3.0	1.19	2.5	1.15
Абсолютный максимум температур										
Ахты	1.3	2.6	2.2	2.36	2.7	2.11	1.1	2.56	0.5	2.87
Теберда	0.8	2.16	1.2	2.27	1.5	1.89	1.0	2.16	1.2	2.42
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	2.7	1.76	3.8	2.93	2.6	2.3	2.6	1.79	2.6	2.4
Прохладная	2.3	1.93	1.6	3.31	2.4	2.39	3.0	1.96	2.7	2.41
Абсолютный минимум температур										
Ахты	1.8	2.75	2.9	2.95	2.6	3.69	0.8	2.28	2.4	3.11
Теберда	3.7	3.17	7.1	3.07	1.3	4.03	2.6	1.81	2.1	3.76
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	2.1	4.52	5.0	4.65	-1.2	4.39	2.1	2.08	3.1	3.6
Прохладная	2.7	4.77	5.1	5.03	2.1	4.31	1.9	2.66	1.9	3.42

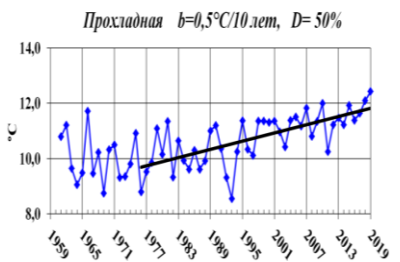
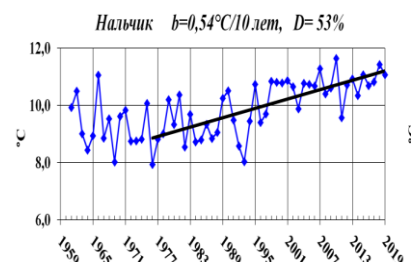
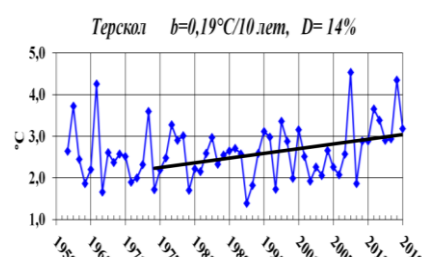
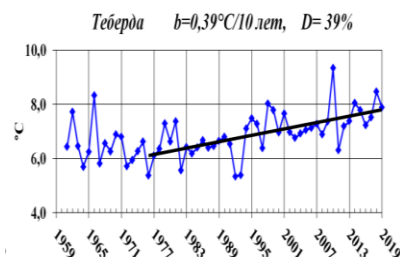
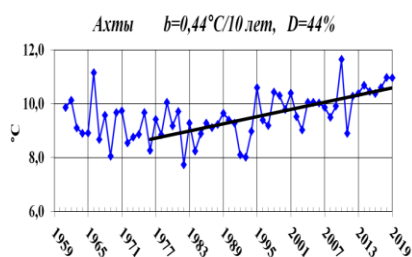


Рисунок 1.7 - Среднегодовой ход температуры на мс с линейным трендом за период 1976-2019 гг.; b - значение углового коэффициента линейного тренда, $^{\circ}\text{C}/10$ лет; D (%) - вклад тренда в суммарную дисперсию.

Небольшой отрицательный тренд имеет место в Ахты для весенней ($-0.23^{\circ}\text{C}/10$ лет, $D=2\%$) и осенней ($-0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет, $D=0\%$). На высокогорной станции Терскол годовой

Таблица 1.4 - Характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2019 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 ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), $D(\%)$ – вклад тренда в суммарную дисперсию.

		Ахты		Теберда		Терскол		Нальчик		Прохладная	
		b	D	b	D	b	D	b	D	b	D
Год	T	0.44	44	0.39	39	0.19	14	0.54	53	0.5	50
	Min	0.70	13	0.60	6	-	-	0.61	3.9	0.77	4
	Max	0.50	6	0.4	6	-	-	0.64	21	0.89	32
Зима	T	0.46	14	0.39	8	0.11	0.9	0.55	19	0.50	15
	Min	0.54	6	0.50	5	-	-	0.52	2	0.60	2
	Max	0.53	9	0.29	3	-	-	0.24	1	0.49	4
Весна	T	0.4	15	0.31	17	0.16	4.0	0.48	29	0.40	23
	Min	1.1	16	1.3	18	-	-	1.40	21	1.1	14
	Max	-0.23*	2	0.28	3	-	-	0.25	2	0.55	9
Лето	T	0.53	40	0.53	49	0.44	42	0.67	54	0.65	54
	Min	0.20	1	0.70	26	-	-	0.52	10	0.46	5
	Max	0.35	3	0.36	5	-	-	0.65	21	0.89	32
Осень	T	0.38	10	0.36	19	0.05	0.4	0.46	20	0.35	14
	Min	-0.02	0	1.12	13	-	-	0.10	0.1	0.21	1
	Max	-0.20	0	0.12	0.4	-	-	0.8	18	0.72	15

*серым цветом выделены отрицательные тенденции переменной.

тренд
положителен за
счет летнего тренда
(значим на 1%
уровне, $0.44^{\circ}\text{C}/10$
лет, $D=42\%$).
Зимой, весной и
осенью тренда здесь
практически нет.

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 2020 г. 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 1961-1990 гг.

Особенности режима атмосферных осадков в 2020 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 1976-2020 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 (с 1936 года), выделены.

В 2020 г. средняя по России годовая сумма осадков составила 106% нормы (ранг 12-15). Доля площади с избытком осадков (более 80-го перцентиля) составила 27%, с дефицитом осадков – 12%. Значительный избыток осадков (рисунок 2.2) наблюдался на востоке Западной – западе Средней Сибири, в районе Байкала, Амура, в Приморье (в СФО выпало 118% нормы – максимальная величина в ряду). Дефицит осадков наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 71% нормы осадков – минимальная величина в ряду; в ЮФО и СКФО осадки были ниже нормы во все сезоны), на большей части Восточной Сибири.

Из сезонов выделяются избыточные осадки **зимой**: в целом по РФ количество осадков составило 120% нормы – ранг 3, особенно много осадков выпало в АЧР (119% – ранг 4), в Европейской части – в СЗФО (149% – ранг 1), и **весной** (в целом по РФ выпало 121% (ранг 4), а по АЧР – 119% (ранг 3-5). Кроме того, следует выделить сухое **лето** в

Восточной Сибири (75% – второе лето среди самых сухих) и «контрастную» осень с чередующимися областями высокого и низкого увлажнения: особенно сухо на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 54% нормы: среди трех самых сухих осенних сезонов) и влажно на юге Средней Сибири (в СФО выпало 128% нормы: ранг 1).

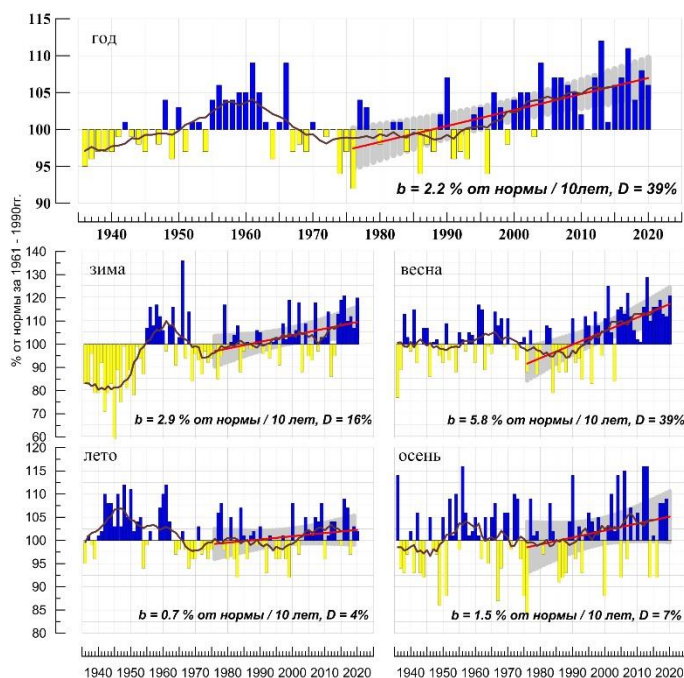


Рисунок 2.1 – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (мм/месяц), осредненные по территории России, 1936-2020 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976-2020 гг.; b - коэффициент тренда (% от нормы / 10 лет), D - вклад тренда в суммарную дисперсию (%).

дефицит осадков (40%-80%) наблюдался на юге Средней Сибири, в При- и Забайкалье, Приамурье и Приморье, на востоке Якутии, на Чукотке. В **феврале** осредненные по РФ осадки 138% нормы – четвертая величина в ряду. Значительный избыток осадков наблюдался на большей части страны, особенно в СЗФО (166% - ранг 4), в Западной Сибири (176% нормы – ранг 2), в Средней Сибири (156% - ранг 4). Сильный дефицит осадков (40-80% нормы) наблюдался на большей части Восточной Сибири: выпало 59% нормы (среди десяти «самых сухих» февралей в ряду).

Весна была особенно влажной в АЧР (119% сезонной нормы: ранг 3); особенно выделяются УФО (152% – рекордная величина в ряду), Западная Сибирь (132% нормы: ранг 5), Средняя Сибирь (126%: ранг 4). В ЕЧР (123%) следует отметить СЗФО (129%, ранг 4) и ЦФО (144%, ранг 3). Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался на западе ЮФО, на Алтае, в Амурской области и в Хабаровском крае, на северо-востоке Якутии, на Чукотке. В **марте** (рисунок 2.3) осредненные по РФ осадки составили 144% нормы (ранг 8). Избыток осадков н наблюдался на большей части страны. В АЧР (169% – ранг 2) на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы, много осадков выпало в СФО (189% – ранг 2), в ДФО (157% – ранг 5). Весь март череда циклонов влияла на погоду АЧР: атлантические обеспечивали влагой Сибирь, южные тихоокеанские – Дальний Восток. На большей части АЧР осадков выпало больше климатической нормы. Выделяются две зоны переувлажнения в Западной Сибири и центральных районах Красноярского края, а также на северо-востоке ДФО, где месячная сумма осадков превышена в 3-4 раза. Так, на метеостанции Северо-Енисейск в Красноярском крае месячная сумма осадков оказалась второй в ранжированном ряду за весь период наблюдения на станции. Осадки выпадали ежедневно, за исключением 2 и 14 марта (см. врезку на рис. 3), но суточный максимум был превышен лишь однажды – 21 марта. В Магадане наиболее интенсивные осадки

наблюдались в начале второй и конце третьей декады. 12 и 28 марта обновлены суточные максимумы осадков. На фоне ослабления Сибирского антициклона больше осадков выпало в Якутии и на севере Забайкалья. Сильный дефицит осадков наблюдался на юге ЕЧР: в ЮФО (выпало 51% нормы – март среди шести «самых сухих» в ряду) и в СКФО (58% – март среди четырех самых сухих).

Апрель. Сильный дефицит осадков (на многих станциях 5%-е экстремумы осадков) наблюдался на большей части СФО (58% нормы – это второй «самый сухой» апрель в ряду, в Восточной Сибири (61%) (рисунок 2.4). Сильный дефицит осадков наблюдался также на западе и юге ЕЧР. Значительный избыток осадков (на многих станциях 95% экстремумы) отмечены в УФО (166% – рекордная величина в ряду) и на востоке ЕЧР (в ПФО выпало 158% нормы – ранг 5). Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался также на Таймыре, в бассейне Индигирки. В мае осредненные по РФ осадки составили 129% нормы (ранг 2), а по ЕЧР: 145% (ранг 3). Избыток осадков преобладал на большей части страны, в ЦФО выпало 212% (рекордная величина в ряду). Сильный дефицит осадков (5%-е экстремумы на станциях) наблюдался на северо-востоке Якутии и на Чукотке; а также на Алтае.

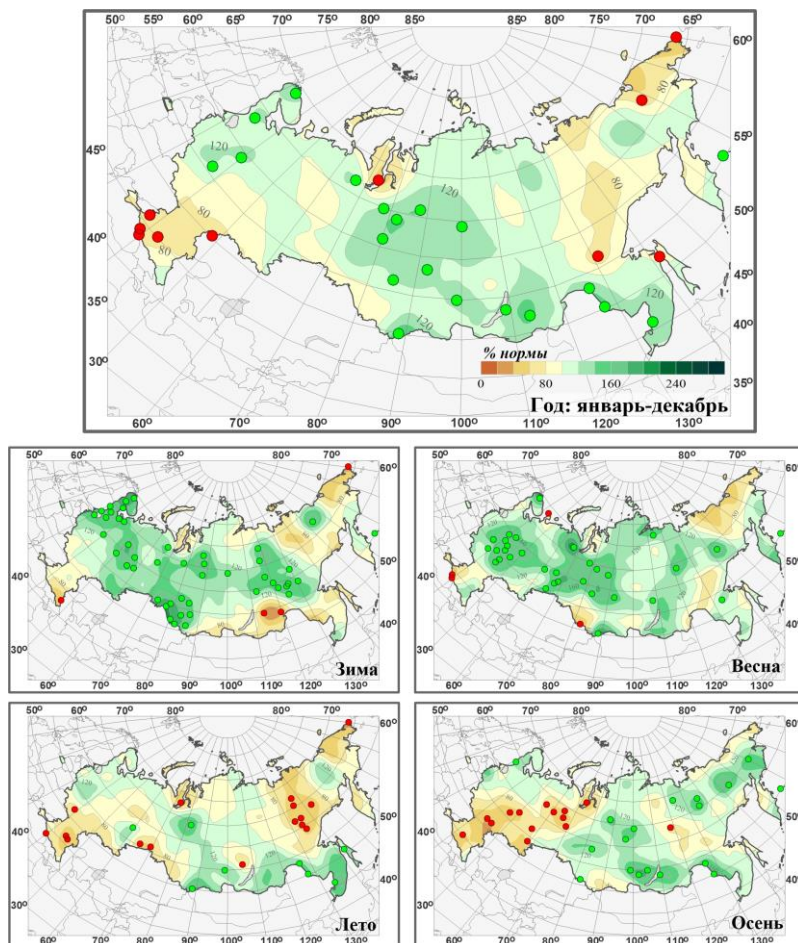


Рисунок 2.2 – Аномалии осадков на территории России в 2020 г., с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки).

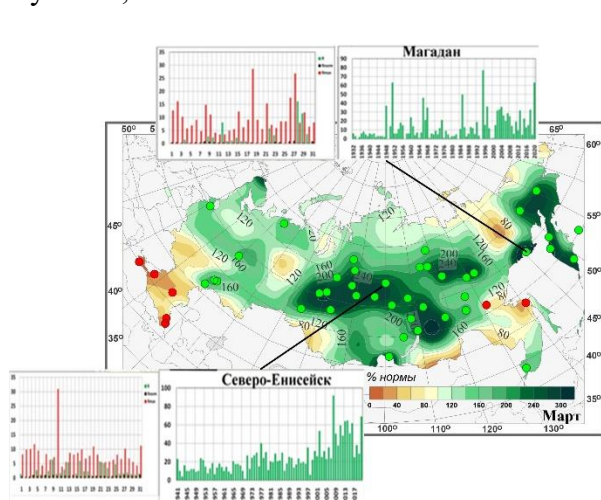


Рисунок 2.3 – Аномалии осадков в марте.

в целом по РФ выпало 104% нормы осадков. В целом по ЕЧР выпало 91% нормы: дефицит

Летом в целом по России выпало 102% нормы осадков. Сильный дефицит (на многих станциях 5%-е экстремумы) наблюдался на востоке Якутии, на Чукотке (осредненные осадки по региону Восточная Сибирь составили 75% нормы – вторая минимальная величина в ряду). Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался на юге ЕЧР в ЮФО (68%); менее нормы осадков выпало в СКФО (92%), ПФО (89%). Значительный избыток осадков – более 120% нормы, наблюдался в центре Западной Сибири, на юге СФО и ДФО (в регионе Прибайкалье и Забайкалье выпало 121% сезонной нормы – ранг 5). В **июне** в

осадков наблюдался практически всюду, кроме ЦФО. В АЧР сильный дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался в центральных и северных районах, восточнее Таймыра (в регионе Восточная Сибирь выпало 53% нормы – это вторая наименьшая величина в ряду). Значительный избыток осадков отмечен в Приамурье и Приморье (152% нормы – ранг 4); больше 120% нормы выпало в междуречье Оби и Енисея (в среднем и нижнем течениях), в Саянах. **Июль.** Осредненные осадки по РФ – 103% нормы. Значительный избыток осадков наблюдался в центре и на северо-западе ЕЧР. В АЧР – от течения Оби на западе до Лены и Алдана на востоке: осредненные по Средней Сибири осадки составили 142% нормы (вторая величина в ряду); также много осадков выпало восточнее течения Колымы. Сильный дефицит осадков (менее 40%) наблюдался на юге и юго-востоке ЕЧР, на юге Западной Сибири (здесь на многих станциях отмечались 5%-е экстремумы); а также в междуречье Лены (на севере) и Алдана (на юге) и Колымы. **Август.** Осредненные по РФ осадки составили 99% нормы. Особенность месяца – сильный дефицит осадков от междуречья Оби и Енисея на западе до Индигирки на востоке (кроме южных районов): осредненные по Средней Сибири осадки составили 55% нормы – минимальное значение в ряду (рисунок 2.4). Дефицит осадков наблюдался на большей части ЕЧР (сильный – на юге), на Чукотке. Значительный избыток осадков наблюдался на юге Урала, на юге СФО и ДФО: особенно в Приамурье и Приморье (137% нормы – ранг 4).

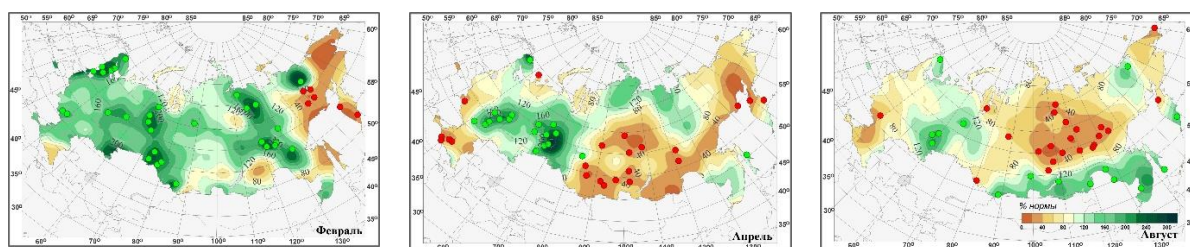


Рисунок 2.4 – Аномалии осадков в феврале, в апреле и в августе 2020 г.

Таблица 2.1 – Годовые и сезонные суммы осадков (в % от нормы 1961-90 гг.) для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2020 г. Зеленым цветом выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранги 1-3), светло-зеленым цветом – попавшие в число пяти наибольших (ранг 4 или 5), оранжевым - в число трех наименьших (ранги 83-85) – в ранжированных по убыванию рядах с 1936 г.

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	106	120	121	102	100
<i>Физико-географические регионы</i>					
Европейская часть России	101	120	123	96	84
Азиатская часть России	109	119	119	104	109
Западная Сибирь	111	140	132	103	97
Средняя Сибирь	115	136	126	101	113
Прибайкалье и Забайкалье	118	104	107	121	128
Приамурье и Приморье	111	85	108	120	110
Восточная Сибирь	92	95	110	75	110
<i>Федеральные округа РФ</i>					
Северо-Западный	113	149	129	104	107
Центральный	106	108	144	107	82
Приволжский	94	123	139	89	63
Южный	71	86	79	68	54
Северо-Кавказский	98	78	91	92	97
Уральский	110	130	152	106	84
Сибирский	118	133	115	112	123
Дальневосточный	101	103	111	97	105

Осень. Осредненные по РФ осадки 100% нормы; однако вся территория разбивается на контрастные области с высоким и низким увлажнением. На юге и в центре ЕЧР, на севере и в центре Западной Сибири, на востоке Средней Сибири и на севере Восточной Сибири наблюдался дефицит осадков. В ЮФО выпало 54% нормы осадков – третье по величине значение дефицита осадков. Значительный избыток осадков наблюдался в центре и на юге СФО (в СФО выпало 123% нормы – ранг 1), на юге ДФО, в центре Якутии, на севере ЕЧР.

В сентябре осредненные по РФ осадки составили 98% нормы. Дефицит осадков наблюдался в центре и на юге ЕЧР (особенно в ЮФО: выпало 36% нормы – минимальная величина в ряду), на севере и востоке АЧР (в Восточной Сибири выпало 74% нормы – среди девяти самых

сухих). Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался на юге и в центре Сибири (в СФО выпало 138% нормы – ранг 1), а также в СЗФО (118%). **В октябре** осредненные по

РФ осадки составили 103% нормы. Дефицит осадков наблюдался в центре и на юге ЕЧР и на западе Западной Сибири (в ЮФО выпало 48% нормы – среди трех самых сухих, а в СКФО – 38% – среди двух самых сухих октябррей), на северо-востоке страны. Значительный избыток осадков (на ряде станций 95%-е экстремумы) наблюдался на Среднесибирском плоскогорье, в Забайкалье, в Якутии, в Хабаровском и Приморском краях, на Сахалине. **Ноябрь.** Осредненные по РФ осадки 99% нормы. Избыток осадков (на 95%-е экстремумы) наблюдался на юге ЕЧР (в СКФО выпало 198% нормы – ранг 2), в центре и на севере АЧР восточнее Обской Губы. Дефицит осадков (40-80%) наблюдался на большей части ЕЧР, в Западной Сибири, на юге Средней Сибири.

Декабрь 2020 г. характеризовался преимущественно дефицитом осадков: осредненные по РФ осадки 88% нормы. Сильный дефицит осадков (менее 60% нормы) наблюдался в центральных и южных районах ЕЧР (в ПФО и ЮФО выпало лишь 46% нормы), на севере Урала и Западной Сибири, на юге СФО и ДФО, в Восточной Сибири. В Бурятии и Читинской области, на юге Приморского края осадки достигали 20% нормы и ниже.

Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался в центральных районах АЧР (в регионе Средняя Сибирь выпало 137% (ранг 1), в предгорьях Кавказа (в СКФО выпало 170% – ранг 2).

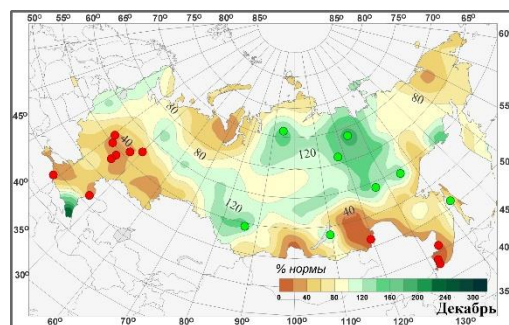


Рисунок 2.4 – Аномалии осадков в декабре 2020 г.

Тенденции изменений режима осадков

Географическое распределение коэффициента линейного тренда атмосферных осадков на территории России для 2020 г. в целом и для сезонов представлено на рис. 2.5. Оценки получены по станционным временным рядам годовых и сезонных аномалий осадков за 1976-2020 гг. Численные оценки трендов для регионов приведены в табл. 2.2 (в % нормы за 10 лет: иногда сокращенно %/10 лет).

На территории России преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд составляет 2.2% нормы /10 лет, вклад в дисперсию 39% (тренд статистически значим на уровне 1%). Тренд превышает 5%/10 лет лишь в ряде областей Сибири и Дальнего Востока. Рисунок 2.1 показывает, что выраженный рост годовых осадков наблюдается со второй половины 1980-х гг. Наиболее значительные тренды (таблица 2.2) наблюдаются в регионах Средняя Сибирь (3.3%/10 лет, вклад в дисперсию 30%) и

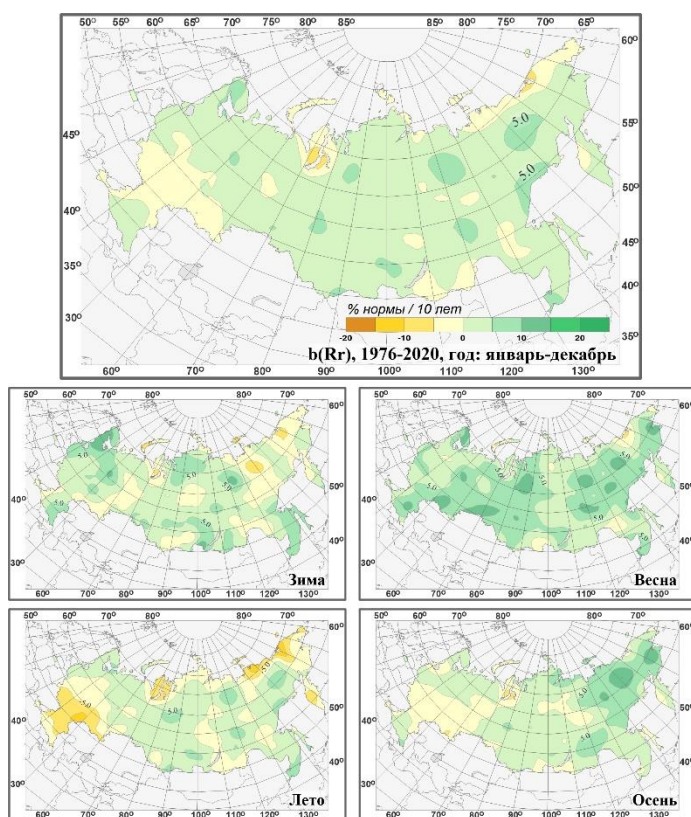


Рисунок 2.5 - Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2020 гг. на территории России (% /10 лет).

Восточная Сибирь (3.0%/10 лет; 16%), и, соответственно, в СФО (2.6%/10 лет, 31%) и ДФО (2.8%/10 лет, 25%).

Убывают осадки в районе Обской Губы, на востоке арктического побережья АЧР.

Таблица 2.2 - Оценки линейного тренда осредненных за год (январь-декабрь) и по сезонам месячных сумм атмосферных осадков для регионов России за 1976-2020 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	39	2.9	16	5.8	39	0.7	4	1.5	7
Физико-географические регионы России										
Европейская часть России	0.9	4	3.0	10	5.0	20	-1.7	3	-0.5	0
Азиатская часть России	2.6	46	2.7	12	6.2	40	1.4	12	2.6	19
Западная Сибирь	2.7	15	1.5	1	8.3	34	1.4	2	1.0	2
Средняя Сибирь	3.3	30	3.2	7	6.7	38	2.6	8	2.3	7
Прибайкалье и Забайкалье	1.5	5	4.0	10	2.8	4	0.8	1	3.2	7
Приамурье и Приморье	2.3	10	5.1	6	4.4	7	2.4	4	0.7	0
Восточная Сибирь	3.0	16	1.9	2	6.2	26	-0.3	0	5.8	26
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	3.0	20	5.9	20	4.2	13	2.0	2	1.4	1
Центральный	-0.2	0	3.1	4	4.8	9	-3.8	6	-1.3	0
Приволжский	-0.7	1	1.3	1	6.1	12	-3.9	7	-2.7	3
Южный	-1.1	1	-0.2	0	4.6	7	-5.4	9	-1.7	1
Северо-Кавказский	1.3	2	1.9	2	4.1	7	-2.4	2	1.6	1
Уральский	2.3	10	1.0	1	8.4	29	1.3	1	0.4	0
Сибирский	2.6	31	3.0	8	5.7	22	1.5	7	2.3	8
Дальневосточный	2.8	25	2.9	8	5.8	32	1.4	3	3.4	22

уровне тренд отмечен в УФО, СФО и ДФО. **Зимой** наиболее заметный рост осадков происходит в основном на севере и юге ЕЧР, севере и востоке Средней Сибири, При-и-Забайкалье, Приморском крае. **Летом** и **осенью** рост осадков наблюдается в основном в АЧР, осенью на севере ДФО значительный: выше 5%, а местами 10% за десятилетие.

Зимой осадки уменьшаются на северо-востоке страны и в центральных районах Сибири. **Летом** осадки убывают в центральных и южных регионах ЕЧР, особенно в ЮФО: -5.4% нормы за десятилетие. **Летние** осадки убывают также на арктическом побережье АЧР. **Осенние** осадки незначительно убывают в центральных районах ЕЧР и Западной Сибири (и более значительно на севере Западной Сибири).

Следует отметить, что 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.

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 2020 г., представлены в таблице 2.3.

Дефицит осадков (ниже 5-го процентиля) отмечен на станции Нальчик в зимний и осенний периоды, на станции Теберда в летний период. Годовой дефицит сумм осадков наблюдался на станциях Теберда и Терскол (ниже 5-го процентиля). В Ахты в июле 2020 г. аномалия количества осадков (73.5 мм) превысила стандартное отклонение (24.55 мм) в 3 раза (рисунок 2.7). Сумма осадков, выпавших в июле 2020 года, составила 112.0 мм

Незначительное убывание наблюдается в ЦФО, ПФО и в ЮФО (таблица 2.2).

Рост осадков наблюдается во все сезоны. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается **весной** (5.8% нормы / 10 лет, вклад в дисперсию 39%) – увеличение осадков происходит практически везде, особенно в АЧР; местами тренд превышает 10% нормы за десятилетие (на отдельных станциях до 15-17% за десятилетие). Значимый на 1%-м

(максимум за последние 60 лет). В остальные сезоны имело место как превышение, так и дефицит осадков, но в пределах межгодовой изменчивости.

За период 1976-2019 гг. на горной станции Теберда (рисунок 2.6) наблюдался статистически значимый рост весенних сумм осадков, осенние суммы осадков незначительно уменьшались. На мс Ахты имели место как положительные тенденции (зима, весна), так и отрицательные (лето, осень и год) сумм осадков, все тренды незначимые.

Таблица 2.3 – Годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии сумм осадков для мс юга ЕЧР в 2020 г.: Δ , мм – отклонения от нормы (средних за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2020 гг.

	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	24.6	71.2	13.3	15.88	-3.0	39.72	54.9	44.4	-32.6	35.81
Теберда	-221.9	126.35	-42.6	80.52	-5.1	63.71	-87.1	54.35	-79.8	81.21
Терскол	-173.5	165.7	-55.5	85.1	-26.8	76.8	-43.8	65.6	-50.8	165.0
Нальчик	-8.1	108.35	-29.8	20.02	50.9	55.22	-65.9	68.04	-80.3	52.86
Прохладная	-7.7	92.01	-2.2	19.06	-6.8	45.71	-18.6	56.89	-18.1	44.0
Максимум суточных осадков										
Ахты	2.1	9.36	-0.2	6.3	2.7	7.24	10.1	10.78	-4.9	9.22
Теберда	-2.4	13.77	-3.5	14.85	7.6	13.57	-10.9	12.03	-3.2	13.2
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-2.2	11.24	-2.2	5.38	0.1	10.95	-6.2	10.42	-4.6	14.7
Прохладная	1.4	16.03	1.4	4.05	7.0	14.52	0.2	15.27	-6.0	13.28
Число дней с осадками не менее 5 мм										
Ахты	-0.1	4.31	-0.03	1.59	-0.7	2.82	0.5	3.18	-0.2	2.45
Теберда	-0.9	7.5	0.0	3.53	-0.5	4.04	-1.5	3.94	-1.3	4.39
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-0.28	6.84	0.3	1.94	0.0	3.53	-0.4	3.96	-1.3	3.4
Прохладная	-0.4	5.64	0.7	2.04	-0.7	2.83	-0.9	3.30	-1.0	2.59

Таблица 2.4 – Характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2019 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	-1.9	0.13	11.2	1.5	13.88	1	-2.13	0.06	3.63	0.2
	Max	1.1	2	0.04	0.0	-	-	0.84	0.9	4.19	10
	$NR5$	-0.03	0	2.2	20	-	-	0.68	1	0.45	1
Зима	R	1.6	1	-1.94	0.1	-4.69	0.6	0.01	0.001	3	4
	Max	1.2	5	-2.8	5	-	-	-0.22	0.3	0.63	4
	$NR5$	0.23	3	0.3	1	-	-	0.25	3	0.33	4
Весна	R	0.82	0.1	16.8	10	15.6	6	2.82	0.5	5.31	2
	Max	0.3	0.3	-0.02	0.0	-	-	-1.02	3	0.31	0.1
	$NR5$	-0.14	0.4	1.2	13	-	-	0.42	2	0.35	3
Лето	R	-3.9	1	-1.37	1	-0.98	0.04	-4.8	0.8	-8.65	4
	Max	0.64	0.5	-2.4	6	-	-	1.97	6	3.86	9
	$NR5$	-0.3	2	0.83	7	-	-	-0.67	5	-0.5	4
Осень	R	-0.21	0	-1.3	0.05	5.27	1	0.56	0.02	4.84	2
	Max	-0.65	0.9	0.9	0.7	-	-	-1.96	3	2.29	5
	$NR5$	0.24	2	-0.03	0.01	-	-	0.73	7	0.32	3

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

На предгорной мс Нальчик и степной мс Прохладная наблюдалось уменьшение сезонных и годовых сумм осадков с 1976 г. В Нальчике и Прохладной уменьшение сумм осадков имело место летом. Величина суточных максимумов осадков уменьшалась зимой, весной, летом и осенью, число дней с осадками не менее 5 мм также имели тенденцию к уменьшению.

Общая тенденция для всех мс – незначительное уменьшение осенних сумм осадков и NR5 (числа дней с осадками не менее 5 мм).

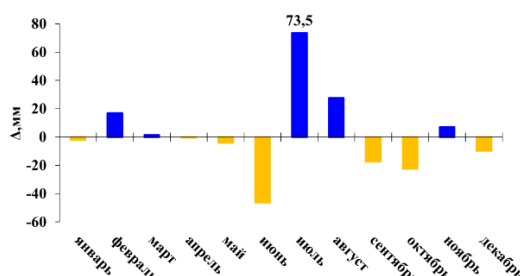
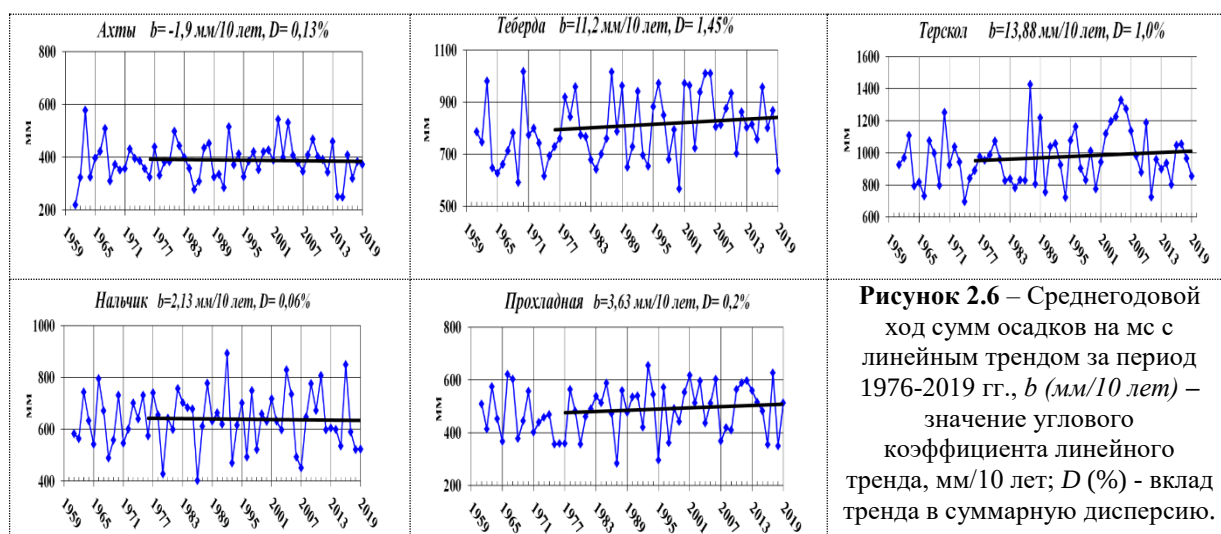


Рисунок 2.7 – Аномалии среднемесячных сумм осадков в 2020 г., Ахты.

Из всех трендов изменения осадков статистически устойчивый тренд имел место лишь на равнинной станции Прохладная для летних (3.86 мм/10 лет, $D=9\%$) и годовых (4.19 мм/10 лет, $D=10\%$) суточных максимумов. На мс Нальчик статистически значимый тренд наблюдался лишь для числа дней с осадками не менее 5 мм в осенний период (0.73 мм/10 лет, $D=7\%$). Мс Теберда выделяется статистически значимым ростом числа дней с осадками в летний период (0,83 мм/10 лет, $D=7\%$) и год (2.2 мм/10 лет, $D=20\%$), а также весенней суммы осадков (16,8 мм/10 лет, $D=10\%$).

Особенности распределения засух на территории РФ в 2020 г.

В России засухи случаются каждый год. В 2020 г. уже весной из-за дефицита осадков ряд регионов России столкнулся с засухой. Атмосферные засухи сильной интенсивности наблюдались в ЦФО (до 11 декад), ПФО (до 14 декад), ЮФО (до 15 декад), СКФО (до 14 декад), УФО (до 15 декад), СФО (до 14 декад) и ДФО (до 13 декад) федеральных округах. Отдельные очаги средней интенсивности наблюдались в СЗФО. Наиболее сильные и продолжительные засухи наблюдались на юге и юго-западе ПФО, большей части ЮФО и СКФО, на юге УФО и на юго-западе СФО.

В мае-июне во многих областях ЮФО и СКФО и ряде областей ПФО и УФО дефицит осадков (менее 60%, местами менее 40%) и экстремальные температурные аномалии (выше 95-го перцентиля) способствовали образованию атмосферных засух средней и сильной интенсивности (при этом в июне засухи фиксировались в течение 3-4 недель месяца) (рисунок 2.7).

В июле из-за погодных условий аналогичных июню (сильный дефицит осадков и экстремальные температурные аномалии) засухи продолжали фиксироваться на юге ЕЧР (ЮФО, СКФО, ПФО), на юге Урала (Челябинская, Свердловская области) – при этом засухи фиксировались в течение 3-4 недель месяца, в основном, сильной интенсивности; а также в ряде областей СФО (Новосибирская, Омская области, Алтайский край) (рисунок 2.8).

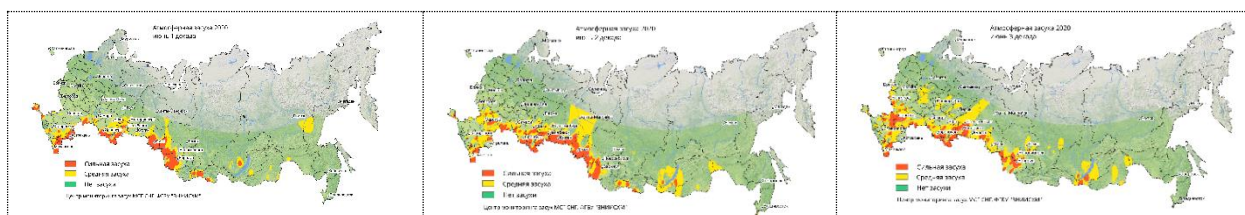


Рисунок 2.7 – Атмосферные засухи в сельскохозяйственной зоне России в июне.

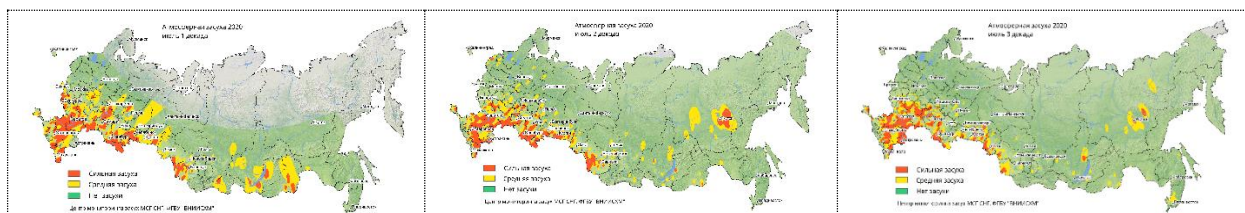


Рисунок 2.8 – Атмосферные засухи в сельскохозяйственной зоне России в июле.

В августе дефицит осадков на большей части ЕЧР способствовал образованию засух в ряде областей ЦФО. Кроме того, атмосферные засухи продолжали фиксироваться во многих областях ЮФО (в основном сильной интенсивности) и ряде областей ПФО и СКФО (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Атмосферные засухи в сельскохозяйственной зоне России в августе.

Одной из главных особенностей этого года стала необычайно сильная засуха в сентябре, которая была зафиксирована на юге европейской части России (рисунок 2.10). Она явилась продолжением периода засухи в июне-июле и связана с дефицитом осадков в центре и на юге ЕЧР (особенно в ЮФО, где в сентябре выпало 36% нормы – минимальная величина в ряду), а также значительно повышенным температурным фоном сентября в регионе.



Рисунок 2.10 – Атмосферная засуха в сентябре (3 декада) на ЕЧР.

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2019/2020 гг.

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 рисунке 3 (Введения) и по территории России. Методика наблюдений за характеристиками снежного покрова неоднократно изменялась. После 1965 г. нарушений однородности, вызванных изменением процедуры наблюдений, не было, поэтому исследование многолетних характеристик снежного покрова проведено по данным за период с 1966 г. Использованы нормы (среднемноголетние значения) характеристик снежного покрова за период 1971-2000 гг.

В таблице 3.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий характеристик снежного покрова зимой 2019-2020 гг. для регионов России и их ранги по данным за 1967-2020 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 2019-2020 гг.

Первый снег зимой 2019-2020 гг. на большей части европейской территории выпал позже среднеклиматических сроков на 5-20 дней, за исключением части Южного и СКФО (рисунок 3.1б). На азиатской территории России раньше обычных сроков снежный покров появился в Курганской области, Тыве, Забайкалье, на юге Красноярского края, востоке Таймыра, юго-востоке Якутии и севере Приморского края. В центральных районах Красноярского края и на севере Таймыра первый снег лег уже в начале сентября (рисунок 3.1а), что на 10-20 дней раньше климатических сроков. На западе Таймыра, северо-западе Якутии, в Чукотском АО из-за очень теплой погоды в октябре-ноябре снежный покров появился гораздо позже климатических сроков. На большей части территории России снег сошел раньше обычного по причине очень теплой погоды практически на всей территории страны в январе и феврале (рисунок 3.1в).

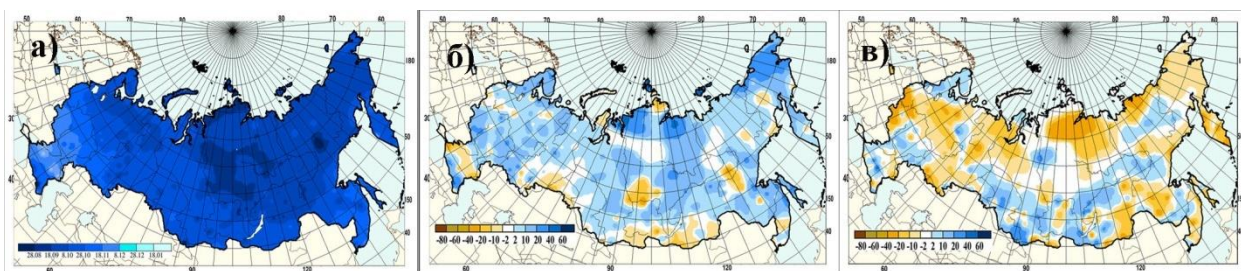


Рисунок 3.1 – а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2019-2020 гг.

б) Аномалии в датах появления первого снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2019-2020 гг. (от норм 1971-2000 гг.) в) Аномалии в датах схода снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2019-2020 гг. (от норм 1971-2000 гг.).

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России оказалась значительно меньше климатической нормы (таблица 3.1). На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха за рассматриваемый холодный период. В центре ЕЧР (IV район) снег начал таять еще в феврале в экстремально ранние сроки, отрицательная аномалия стала рекордной. Максимальные отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова отмечены в центре ЕЧР, Поволжье, на

севере Сибири и в Чукотском АО (рисунок 3.2а). Во всех квази-однородных районах снег лежал меньше климатических сроков. Аномалии продолжительности залегания снежного покрова в III, V, VI и VIII квази-однородных районах попали в десятку наибольших отрицательных значений. В зимний период 2019-2020 гг. **максимальная высота снежного покрова** в среднем по России оказалась близкой к климатической норме (таблица 3.1). Максимальная высота снежного покрова превысила норму на севере ЕЧР и Западной Сибири, Чукотке и севере Камчатки, в центре и юге Западной Сибири. Эти величины попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий. Значительный дефицит снега отмечался в центральных и южных районах ЕЧР, причем эти величины попали в десятку наименьших значений в ранжированном ряду.

Максимальный за прошедшую зиму **запас воды в снеге**, по данным маршрутных снегосъемок, в среднем по России оказался ниже нормы и в поле, и в лесу (табл. 3.2). Положительные аномалии запаса воды в поле получены во всех квази-однородных регионах, за исключением IV, VI и IX. На севере европейской части России и Западной Сибири (регион I) величина максимального запаса воды в снеге стала рекордной.

Таблица 3.1 – Средние за зимний период (2019-2020 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 1967-2020 гг.;

σ – среднеквадратическое отклонение.

Регион	Максимальная высота			Число дней со снегом		
	Δ	R	σ	Δ	R	σ
Россия	-0.20	39	2.89	-10.83	52	5.18
Север ЕЧР и Западной Сибири	13.58	3	8.21	-2.57	28	9.19
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	3.21	14	5.13	-7.0	40	7.71
Чукотка и север Камчатки	19.91	5	11.00	-18.45	50	11.07
Центр ЕЧР	-13.64	53	7.09	-29.45	54	10.57
Центр и юг Западной Сибири	9.50	6	6.95	-13.59	51	8.37
Центр и юг Восточной Сибири	4.05	12	5.86	-6.03	48	6.17
Дальний Восток	-1.35	37	7.16	-4.09	42	6.95
Алтай и Саяны	5.66	11	6.49	-6.36	44	9.32
Юг ЕЧР	-5.78	52	4.77	-2.02	28	21.32

* жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за зимы 1967-2020 гг.

Таблица 3.2 – Аномалии максимального за зимний период (2019-2020 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 1967-2020 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	-2.89	42	8.79	-6.81	41	7.97
Север ЕЧР и Западной Сибири	46.88	1	18.94	23.00	7	24.92
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	76.09	2	27.15	3.73	22	14.19
Чукотка и север Камчатки	14.97	12	29.09	26.39	11	31.42
Центр ЕЧР	-37.81	53	18.70	-48.99	53	19.55
Центр и юг Западной Сибири	28.39	5	17.85	15.93	8	22.43
Центр и юг Восточной Сибири	-0.98	34	6.59	8.45	8	8.07
Дальний Восток	11.10	20	20.52	-24.75	46	25.26
Алтай и Саяны	35.28	2	14.47	26.29	10	29.60
Юг ЕЧР	-12.81	47	10.40	-	-	-

* жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1967-2020 гг.

Максимальные отрицательные аномалии запаса воды в поле зафиксированы в Центральном и на юго-западе СЗФО (рисунок 3.3а). В лесу значительные отрицательные аномалии запаса воды в снеге получены в центре ЕЧР и на Дальнем Востоке (IV и VII регионы), причем значения запаса воды в снеге на лесных маршрутах в центре ЕЧР и на Дальнем Востоке оказались в десятке наименьших в ранжированном ряду. И в целом для

России запас воды в снеге на лесном маршруте оказался ниже климатической нормы. В лесу максимальный запас воды в снеге значительно превысил норму в Алтайском крае и Кольском полуострове (рисунок 3.36).

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

Таблица 3.3 – Сведения о запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ Российской Федерации по состоянию на 10 марта 2020 г. (в сравнении с нормой и с влагозапасами 2019 г.): **w2019, w2020** – запасы воды в снеге в 2019 и 2020 гг.

№ п/п	Бассейны рек		Запасы воды в снеге на 10 марта 2020 г.				
			норма	w2019	w2020		
			мм	мм	мм	% от нормы	% от w2019
Все данные на 29 февраля 2020 г.							
1	ВОЛГА, в т.ч.		111	127	82	74	114
2	до Рыбинского водохранилища		96	111	18	19	116
3	р. Кострома и р. Унжа		117	150	52	44	128
4	р. Москва		89	91	3	3	102
5	р. Ока, включая бассейн р. Москвы		82	112	18	22	137
6	р. Сура		98	119	65	66	121
7	р. Ветлуга		129	152	86	67	118
8	Чебоксарское водохранилище		92	119	36	39	129
9	р. Вятка		134	140	131	98	104
10	Куйбышевское водохранилище		123	137	105	85	111
11	Саратовское водохранилище		93	135	79	85	145
12	Волгоградское водохранилище		67	147	24	36	219
13	р. Кама		172	141	183	106	82
14	р. Белая		128	110	131	102	86
15	ДОН, в т.ч.		50	111	28	56	222
16	Хопер		59	143	38	64	242
17	Медведица		53	135	22	42	255
Реки северо-запада							
18	Нарва		54	41	14	26	76
19	Волхов		63	90	8	13	143
Реки севера ЕТР и Западной Сибири. Все данные на 10 марта 2020 г.							
20	Северная Двина		116	165	152	131	142
21	Сухона		121	157	90	74	130
22	Вага		118	151	93	79	128
23	Юг		111	193	125	113	174
24	Пинега		97	171	181	187	176
25	Вычегда		131	174	199	152	133
26	Мезень		134	147	203	151	110
27	Верхняя Обь		81	84	138	170	104
28	Тобол		62	78	75	121	126
Реки и водохранилища Сибири. Все данные на 20 марта 2020 г.							
29	Енисей	(Саяно-Шушенское водохранилище)	118	95	169	143	81
30	Енисей	(Красноярское водохранилище)	136	93	141	104	68
31	Ангара	(оз. Байкал)	79	84	88	111	106
32	Ангара	(Братское водохранилище)	70	63	79	113	90
33	Ангара	(Усть-Илимское водохранилище)	117	103	142	121	88

Весна 2020 г. в Российской Федерации повсеместно была очень ранней, поэтому, чтобы по возможности отразить максимальные запасы воды в снежном покрове, в таблице приведены три группы бассейнов рек в зависимости от даты максимального снегозапаса. В частности, на 29 февраля 2020 г. даны сведения по бассейнам рек Волги, Дона, Нарвы и Волхова; на 10 марта – по бассейнам рек севера ЕТР и Западной Сибири; на 20 марта – по бассейнам рек и водохранилищ Восточной Сибири.

По состоянию на **29 февраля 2020 г.**, запасы воды в снежном покрове в бассейнах рек Суры, Ветлуги, Вятки, Камы, Белой, Куйбышевского и Саратовского водохранилищ

составили 66-106% нормы, на остальных территориях бассейна реки Волги – 3-44% нормы. Снегозапасы, сформировавшиеся в бассейнах рек Камы и Белой, оказались больше прошлогодних на 21-42 мм, на остальной территории бассейна Волги – на 9-123 мм меньше аналогичных значений 2019 года. В целом в бассейне Волги запасы воды в снеге составили тем самым 74% нормы и оказались на 45 мм меньше прошлогодних значений. В бассейне Дона выше Цимлянского водохранилища, Хопра и Медведицы снегозапасы на 29 февраля составили 40-65% нормы и оказались на 83-113 мм меньше прошлогодних значений. На северо-западе европейской части России снегозапасы в бассейнах Нарвы и Волхова составили 26% и 13% нормы соответственно. Относительно прошлогодних значений снегозапасы оказались меньше на 27-82 мм.

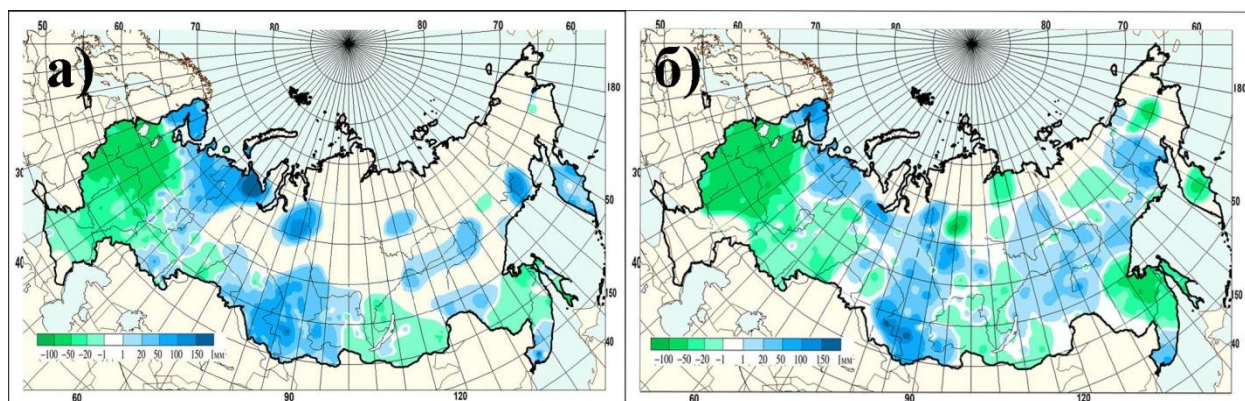


Рисунок 3.3 - Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2019-2020 гг. (от среднемноголетних значений за период 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б).

Запас воды в снежном покрове **на 10 марта 2020 г.** в бассейнах Северной Двины, Сухоны, Юга, Ваги, Пинеги, Вычегды и Мезени составил 79-186% нормы. Снегозапасы в бассейнах рек Пинеги, Вычегды и Мезени оказались больше прошлогодних значений на 10-56 мм; в бассейнах остальных рек севера европейской части России – на 13-68 мм меньше.

Запас воды в снеге **на 10 марта 2020 г.** в бассейне Верхней Оби составил 170% нормы и на 54 мм больше прошлогодних значений, а в бассейне реки Тобол – 121% нормы и на 3 мм меньше значений 2019 г. В бассейнах Саяно-Шушенского, Красноярского, Братского, Усть-Илимского водохранилищ и озера Байкал запасы воды в снеге достигли максимальных значений в конце второй декады марта 2020 г. Тогда они всюду составили 103-144% нормы. Запас воды в снеге по отношению к прошлогодним значениям существенно увеличился на 4-74 мм.

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 1976-2020 гг., рассчитанных по данным станционных наблюдений на территории России, показано на рисунке 3.4а. Тренд выражен в см/10 лет. Как и в период 1976-2019 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на севере Западной Сибири, на побережье Охотского моря, в центре ЕЧР, севере Таймыра, юге Красноярского края, востоке Якутии, в Чукотском АО и на юге Камчатки. 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 квазиоднородных регионов, кроме II, IV, VIII и IX (таблица 3.4).

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции приведено на рисунке 3.4б (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-м уровне). В период с 1976 по 2020 гг. на значительной части страны выявлена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова: на большей части ЕЧР, севере Восточной Сибири, юге Западной Сибири, северо-западе Республики Саха-Якутия, севере

Камчатского края, западе Чукотского АО и в Амурской области.

Сохраняется тенденция увеличения числа дней со снежным покровом в Забайкалье, в горных районах Алтая и Саян, на северном и западном побережье Охотского моря, востоке Якутии, северо-западе ПФО, южном и центральном Урале, в южных районах Камчатки. В среднем для России число дней со снегом сокращается на 1,17 дня за

Таблица 3.4 – Оценки линейного тренда (значимые на 5%-м уровне) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2020 гг.:

***Hmax*, см/10 лет** – максимальная высота снежного покрова; ***Nd*, дни/10лет** - число дней со снежным покровом; ***SWEн*, мм/10лет** - запас воды в снеге (в поле); ***SWEл*, мм/10лет** - запас воды в снеге (в лесу).

Регион	<i>Hmax</i>	<i>Nd</i>	<i>SWEн</i>	<i>SWEл</i>
Россия	1.51	-1.17	2.16	-1.49
Север ЕЧР и Западной Сибири	1.85			
Сев. Восточной Сибири и Якутии			6.95	
Чукотка и север Камчатки	3.61		-7.08	
Центр ЕЧР		-3.37		-6.01
Центр и юг Западной Сибири	1.84		4.08	
Центр и юг Восточной Сибири	1.06			
Дальний Восток	2.84		6.8	
Алтай и Саяны			4.5	
Юг ЕЧР				

10 лет (таблица 3.4), т.е. аномалия последнего года значительно увеличила скорость сокращения продолжительности залегания снежного покрова.

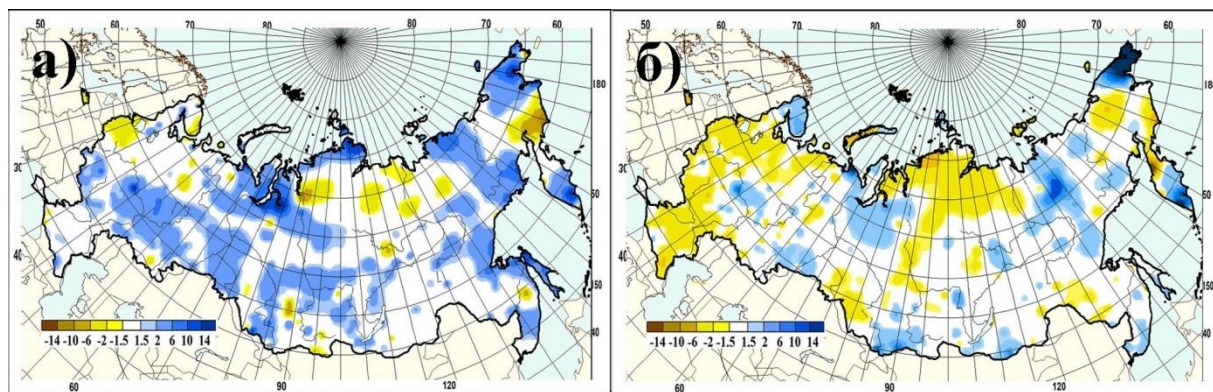


Рисунок 3.4 - а) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова. б) Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2020 гг.

Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2020 гг., по данным маршрутных наблюдений, практически не изменились, по сравнению с периодом 1976-2019 гг., ни в поле, ни в лесу. По данным на полевых маршрутах, наблюдается увеличение запаса воды в снеге в центральных районах ЕЧР, северных и южных районах Западной Сибири, на Камчатке, Сахалине и в Приморье (рисунок 3.5а). 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 2.16 мм за 10 лет. По данным маршрутных наблюдений в лесу (рисунок 3.5б), на территории России по-прежнему преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в

снеге, средний для страны запас воды в снеге уменьшается на 1.49 мм за 10 лет. Наиболее обширная зона положительных коэффициентов линейного тренда охватывает северное и западное побережье Охотского моря, восток Якутии, южные районы Хабаровского края, Приморье и Сахалин. При оценке региональных изменений получены значимые отрицательные тренды запаса воды в снеге, по данным снегосъемок на лесных маршрутах в центре ЕЧР (IV район), на полевых маршрутах – на Чукотке и севере Камчатки (район III). На Дальнем Востоке (район VII), в горных районах Алтая и Саян (район VIII), в центре и юге Западной Сибири (район V), севере Восточной Сибири и Якутии (район II) запас воды в снеге в поле увеличивается (таблица 3.4).

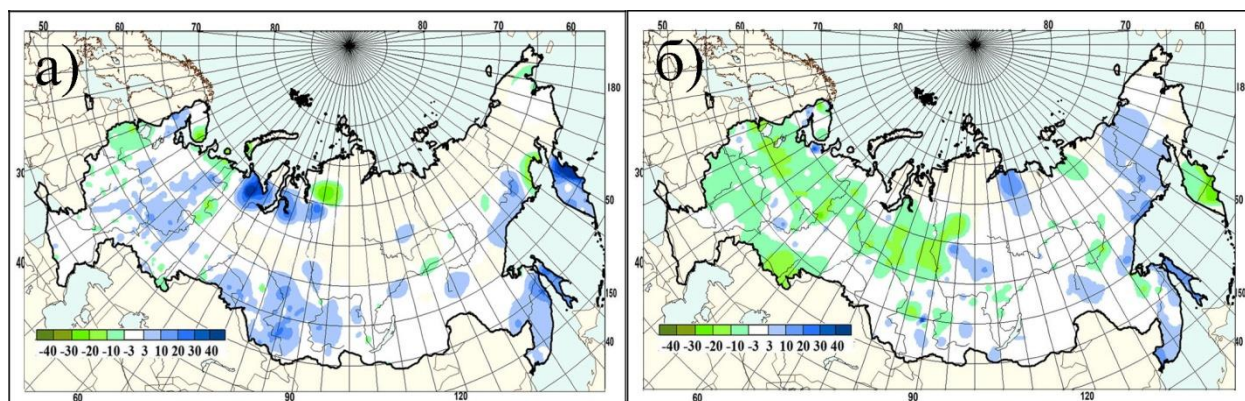


Рисунок 3.5 - Коэффициенты линейного тренда (мм/10 лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б), 1976-2020 гг.

Выводы

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2019-2020 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы, отрицательная аномалия вошла в десятку наименьших за рассматриваемый период. На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха на протяжении почти всего холодного периода. В центре ЕЧР отрицательная аномалия продолжительности залегания снежного покрова оказалась рекордной. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась близкой к климатической норме, при этом в I, III и V квази-однородных регионах максимальная высота снежного покрова вошла в десятку самых высоких значений. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге, по данным маршрутных снегосъемок, в среднем по России оказался ниже нормы и в поле, и в лесу. В I районе величина максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте стала рекордной, а значения в II, V и VIII регионах попали в первую десятку наибольших значений. В лесу аномально низкий запас воды в снеге наблюдался в IV и VII квази-однородных регионах, а значения в I, V, VI и VIII регионах попали в первую десятку наибольших значений.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова. Как и в период 1976-2019 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2020 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.

4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК

Вскрытие рек и очищение ото льда водохранилищ весной 2020 г.

Вскрытие ото льда большинства рек европейской и азиатской части России происходило преимущественно раньше нормы, местами в экстремально ранние сроки.

На территории Калининградской области в результате теплой погоды в осенне-зимний период, по данным гидрологических постов, ледовые явления не отмечались. Только на мелких водоемах и небольших каналах наблюдалось кратковременное появление тонкого льда и заберегов.

Весеннее половодье на реках Донского бассейна началось как обычно с рек Ростовской области – в начале третьей декады февраля, что на 7-14 дней раньше среднемноголетних сроков. К началу марта полностью очистились ото льда Дон, Верхний и Средний Днепр и его притоки Сожа, Десна и Западная Двина.

В результате аномально теплой погоды, устойчивого снежного покрова и ледостава на реках Ленинградской, Псковской и Новгородской областей не образовалось. Ладожское и Чудско-Псковское озера, а также озеро Ильмень полностью льдом не покрывались.

Зима в Белгородской, Брянской, Воронежской, Липецкой, Орловской, Курской и Тамбовской областях отличалась малоснежностью и повышенным температурным режимом. В связи со сложившимися метеоусловиями только на небольших реках отмечался полный или частичный ледостав. Процесс разрушения ледяного покрова и очищение ото льда на реках Черноземья происходил в период второй декады февраля – второй декады марта, что на полтора-два месяца раньше среднемноголетних сроков. К концу второй декады марта все реки региона полностью очистились ото льда.

В третьей декаде февраля – марте вскрылись реки Смоленской, Ярославской, Владимирской, Костромской, Тверской, Московской, Калужской, Рязанской и Ивановской областей. На реке Оке, выше г. Серпухова, и ее притоках – на Западной Двине и реках ее бассейна – устойчивый ледяной покров не образовался. При вскрытии ледяного покрова заторы льда образовывались на Мокше у п. Шевелёвский Майдан, на Клязьме у г. Вязники, а также на Унже у городов Кологрив и Мантурово. Эти заторы не привели к опасным повышениям уровня воды. В первой декаде февраля в связи с образованием затора льда на Горьковском водохранилище (р. Волга) на участке пгт Туношна – д. Турово и с увеличением сбросов воды Рыбинским гидроузлом у г. Ярославля произошел интенсивный подъем уровня воды, наблюдалось затопление пониженных участков городской территории и объектов, расположенных в пойменной части реки.

Большинство рек Пензенской области вскрылись ото льда во второй декаде февраля – первой декаде марта, что на 30 дней раньше среднемноголетних дат, на реках Вад и Сура у г. Пензы ледового покрова не наблюдалось. Реки Ульяновской области вскрылись и очистились ото льда в первой декаде февраля – третьей декаде марта, что на 12-33 дня раньше среднемноголетних дат. Реки Саратовской области вскрылись ото льда в бассейне Дона в конце февраля – второй декаде марта, река Аткара всю зиму не замерзала, реки Хопер и Медведица на 23-28 дней раньше среднемноголетних дат. В бассейне Волги большинство рек вскрылись в марте, р. Малый Узень – 16 февраля, что в пределах и на 18-45 дней раньше среднемноголетних дат.

Реки Оренбургской области вскрылись ото льда в бассейне Волги в марте на 13 дней раньше среднемноголетних дат. В бассейне р. Урала реки вскрылись и очистились во второй декаде марта – первой декаде апреля, что на 11-31 день раньше среднемноголетних дат. Ириклинское водохранилище полностью очистилось ото льда на 12 дней раньше среднемноголетней даты. Март в Самарской области оказался аномально теплым за весь период метеонаблюдений. Вскрытие рек области было преимущественно в пределах и на 6-3 дня, р. Чагра на 37 дней раньше среднемноголетних дат. В то же время на 25-34 дня

раньше нормы, что на 4-12 дней раньше экстремально ранних сроков, вскрылись Нижняя Ока и Сура и очистились ото льда Саратовское и Волгоградское водохранилища.

Вскрытие рек и отдельных водоемов юга Карелии произошло в первой декаде марта – второй декаде апреля, что на 7-52 дня раньше средних дат. В это же время на реках Башкортостана начался постепенный процесс разрушения ледового покрова, без ледовых заторов. На 11-19 дней раньше средних многолетних значений отмечалось вскрытие степных и горных рек республики, рек Белая и Уфа и Павловского водохранилища. Вскрытие на степной реке Чермасан, на реках Белая у г. Стерлитамака, г. Уфы, у п. Шакши произошло на 3-8 дней раньше исторической даты раннего вскрытия. К 22 апреля все водохранилища Башкортостана полностью освободились от ледового покрова. Вскрытие водохранилищ центра и севера Карелии произошло во второй половине мая, что в пределах нормы и немногим позже.

В марте из-за аномально теплой погоды произошло вскрытие рек Нижегородской области, республик Мордовия, Марий Эл, Чувашской, Удмуртской, что на 3-4 недели раньше нормы и в самые ранние даты за период наблюдений. Полное очищение Чебоксарского, Горьковского водохранилищ ото льда произошло к 6 апреля, на 3 недели раньше обычного, в ранние сроки за период наблюдений. В нижнем течении р. Ветлуги у с. Марьино отмечался маломощный затор льда.

В Республике Татарстан весенний ледоход отмечался на реках Свияга, Улема, Шешма во второй декаде марта, на остальных реках весенний ледоход не наблюдался, лед растаял на месте. Весенний дрейф льда и очищение ото льда на Куйбышевском, в нижней и верхней части Нижнекамского водохранилищ отмечалось в период третьей декады марта – первой декады апреля, в сроки раньше многолетних дат на 14-29 дней.

Вскрытие рек Приморского края произошло на 4-10 дней раньше средних многолетних сроков. В конце марта вскрылись верховья рек Уссури и Малиновка, реки Арсеньевка, Илистая, Комиссаровка, Артемовка, Шкотовка, Партизанская, Раздольная. В первой декаде апреля вскрылись р. Уссури по всему течению, реки Малиновка, Ореховка, Большая Уссурка, Бикин. При вскрытии, в верхнем и среднем течении рек Илистая, Малиновка, Ореховка, на реке Спасовка, на р. Уссури, на участке Графское – Тарташевка, отмечались кратковременные, маломощные заторы льда.

В первой декаде апреля на 9-16 дней раньше нормы вскрылись: Обь выше Камня-на-Оби и ниже Новосибирска до устья Чулыма, Томь с притоками, Кия, Яя, Чебула, Иртыш на участке Черлак-Омск, Тобол ниже Ялуторовска, Тура ниже Туринска, что на 3-4 дня раньше экстремально ранних сроков. Реки Чебула в районе пгт Верх-Чебулинский, Кия в районе г. Мариинска вскрылись в сроки, близкие к экстремально ранним датам.

Вскрытие большинства рек Приамурья проходило во второй декаде апреля. Вскрытие рек в южных районах Приамурья началось в первой декаде апреля на 6-10 дней раньше обычного. К концу апреля очистились ото льда Средний, Нижний Амур до г. Комсомольска-на-Амуре, реки южных и частично центральных районов Приамурья. Вскрытие рек Зея ниже Мазаново, Амгунь произошло раньше экстремально ранних сроков за период наблюдений. Период вскрытия рек Приамурья закончился во второй декаде мая в сроки, близкие к норме и на 1-3 дня раньше.

Во второй половине апреля произошло вскрытие Средней Оби с притоками Чулым, Кеть, Васюган, Тым на 12-20 дней раньше средних многолетних значений, в сроки, близкие к экстремально ранним, на р. Оби в районе с. Каргасок – в экстремально ранний срок за период наблюдений. На р. Томи в районе г. Томска наблюдался затор льда. В то же время на 13 дней раньше вскрылся Иртыш ниже Тобольска. Вскрылись реки Курганской области Исеть ниже г. Шадринска и г. Далматово, река Тобол в районе с. Звериноголовское и г. Кургана, реки Миасс и Уй в нижних течениях, Синара, что на 9-17 дней раньше средних многолетних сроков. На территории Челябинской области вскрылись реки Уй в районе с. Степное, Урал в районе с. Кизильское, Караталаят, Большая Арша (раньше многолетних сроков на 6-14 дней).

Вскрылись преимущественно реки Сахалинской области. Произошло вскрытие рек Долинского района позже нормы на 2-4 дня, рек севера южных районов – в пределах обычных сроков, отдельных рек центральных районов – раньше нормы на 4-9 дней. Река Вал Ноглинского района вскрылась раньше средней многолетней даты на 13 дней и раньше самой ранней даты за период наблюдений на 2 дня.

На 5-12 дней раньше нормы, во второй половине апреля, вскрылись Северная Двина ниже Абрамково, исключая устьевой участок, Вычегда среднее и нижнее течение. В первой-второй декадах мая вскрылись Пинега, Печора выше Усть-Щугора и участок Усть-Щугор – Усть-Цильма на 2-10 дня раньше нормы, Мезень – в сроки, близкие к норме. В то же время на 5-21 дня раньше нормы вскрылись Кама выше Соликамска и очистилось ото льда Воткинское водохранилище.

В третьей декаде апреля в Иркутской области на левобережных притоках р. Ангары – Иркут, Китой, Белая, Ока, Ия – вскрытие произошло на 7-13 дней раньше нормы, на реках Бирюса, Уда – на 14-17 дней раньше нормы. На р. Нижняя Тунгуска вскрытие произошло на участке Подволошино-Преображенка, что на 13-14 дней раньше нормы. Вскрытие на реках Верхняя Лена, Киренга произошло на 14-16 дней раньше нормы.

В конце апреля в Пермском крае большинство рек вскрылось и очистилось ото льда на 8-22 дней раньше обычных сроков. Вскрылись Кама в районе с. Тюлькино, Коса, Язьва, Колва, Яйва, Кондас, Чусовая в районе пгт Кын, Усьва, что на 5-13 дней раньше нормы. Вскрылись реки бассейнов Верхней Камы, Вишеры, верховья рек горно-восточных районов (на 3-8 дней раньше нормы). Вскрытие отдельных участков рек Камы, Лолога, Вишеры, Вильвы сопровождалось образованием заторов льда.

В Свердловской области вскрылись Пышма в среднем течении, Ница в нижнем течении и большинство притоков этих рек, Тагил, отдельные участки рек бассейнов Уфы, Чусовой, Исети (на 8-12 дней раньше средних многолетних сроков, местами до 18 дней раньше). На 4-12 дней раньше средних многолетних сроков, вскрылись Тура, Сосьва, Чусовая Сылва и отдельные притоки этих рек, Ница в среднем течении, Тавда. В этот же период вскрылись реки Камчатского края Амчигача, Ср. Воровская и Б. Воровская в сроки, близкие к норме; реки Б. Быстрая и Плотникова, Камчатка у с. Долиновка и п. Козыревск, что на 8-13 дней раньше средних многолетних сроков.

Около нормы и до 17 дней раньше нормы – в третьей декаде апреля и первой декаде мая – вскрылись Обь на участке Октябрьское-Мужи, Енисей на участке Туруханск-Игарка, Витим ниже Бодайбо и Лена на участке Витим-Олекминск и очистилось ото льда Камское водохранилище.

В период апрель-вторая декада мая на реках Омской и Тюменской области, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого АО произошло вскрытие раньше среднемноголетних дат в основном на 3-16 дней; на отдельных участках Средней Оби и ее притоков Туры, Пура и Таза – на 17-27 дней. При вскрытии наблюдались неопасные заторы льда местами на реках Обь, Большой Юган, Назым, Иртыш, Ишим, Тобол, Ляпин, Сыня, Сось, Надым, Пур, Пяку-Пур.

Во второй половине мая на 3-27 дней раньше нормы вскрылись: Обь от Мужей до Салехарда, Енисей на участке Ярцево-Усть-Порт, Лена на участке Олекминск-Кюсюр, Алдан от Томмота до Охотского Перевола и Виллой ниже Сунтара, Колыма на участке Среднекан-Черский, Яна от Верхоянска до Юбилейного, Индигирка от Усть-Момы до Чокурдаха и очистился ото льда водораздельный бьеф Беломорско-Балтийского канала. Вскрытие Енисея от Ярцево до устья и рек его бассейна (Кас, Чулым, Кунгус) произошло в экстремально ранние сроки. На 6-15 дней раньше обычного началось вскрытие на реках Республики Бурятия и Забайкальского края.

Во второй-третьей декаде мая прошел ледоход на большинстве рек Мурманской области, в сроки, близкие к норме, на реках востока области – позже нормы на 7-8 дней. Вскрылись водохранилища Иовское и Князегубское в сроки, близкие к норме; небольшие озера области и оз. Имандра – позже нормы на 3-5 дней. Дрейф льда на водохранилищах

Верхне-Туломском, Серебрянском, озере Умбозере началось в первой декаде июня, позже нормы на 4-9 дней.

Появление льда на реках и установление ледостава на водохранилищах осенью 2020 г.

Появление льда осенью 2020 г. началось на Яне в конце первой декады октября на 8 дней позже нормы.

Во второй декаде октября на 2-8 дней позже нормы началось ледообразование на Колыме, Индигирке, на Средней и Нижней Лене и на Енисее на участке Ворогово-Верхнеимбатское.

В третьей декаде октября на 5-9 дней позже нормы лед появился на Верхней Лене, Нижнем Енисее и на Печоре. Также в третьей декаде октября около нормы и до 3 дней позже лед появился на Оби у Салехарда, на Енисее у Кызыла и на Амуре на участке Покровка-Кумара.

Затем в первой декаде ноября началось ледообразование на Туре в сроки, близкие к норме, на Оби на участке Сургут-Мужи, Амуре от Кумары до Мариинского и Зее – на 4-17 дней позже нормы.

Во второй декаде ноября на 5-10 дней позже нормы ледообразование началось на Тавде, Суре и Белой, а на Северной Двине, Сухоне, Вычегде, Костроме, Унже, Ветлуге, Каме, Вятке, Оби выше Камня-на-Оби и на участке Новосибирск-Сургут, на Иртыше, Тоболе – от 12 до 22 дней позже среднемноголетних дат.

В этот же период началось установление ледостава на водохранилищах: Чебоксарском, Куйбышевском на участке Соколы Горы - Камское Устье, что на 1-4 дня раньше нормы; на Камском выше Усть-Гаревой и ниже Усть-Гаревой, Воткинском и Нижнекамском – на 1-12 дней позже нормы.

В третьей декаде ноября на 3-13 дней позже нормы ледообразование началось на Оке ниже устья Mokши, Волге на участке Нижний Новгород-Просек, а также началось установление ледостава на Куйбышевском водохранилище на участке Вязовые-Тетюши.

В конце второй и в третьей декадах ноября ледообразование происходило на Дону выше устья р. Воронеж (на 4 дня позже нормы) и на участке Вешенская-Трехостровская (на 8 дней раньше нормы).

В первой декаде декабря на 9-21 дней позже нормы началось ледообразование на Волге выше Твери, на Верхней и Средней Оке, Москве реке, Неве, Верхнем и Среднем Днепре, Десне на участке Брянск-Новгород-Северский, Западной Двине выше Витебска. Также началось установление ледостава на Рыбинском, Горьковском, Шекснинском водохранилищах и Беломорско-Балтийском канале.

На 2-13 дней раньше нормы ледообразование началось на Волге ниже Волгограда, на Дону ниже Константиновска, а также отмечалось установление ледостава на Саратовском и Волгоградском водохранилищах.

5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области ведется как для области в целом, так и для отдельных ее частей (рисунок 5.1) на основе постоянно пополняемой базы приземных метеорологических данных для полярных районов (<http://www.aari.nw.ru>), содержащей данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев МПАБ. Ниже приводятся оценки изменения температуры воздуха и количества осадков СПО за период 1936–2020 гг.

Температура воздуха. Для расчета аномалий температуры воздуха, осредненных по территории СПО и территориям климатических районов, использован метод оптимального осреднения.

Оценки аномалий получены относительно стандартного базового периода 1961-1990 гг. для зимы (декабрь-февраль), весны (март-май), лета (июнь-август) и осени (сентябрь-ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь рассматриваемого.

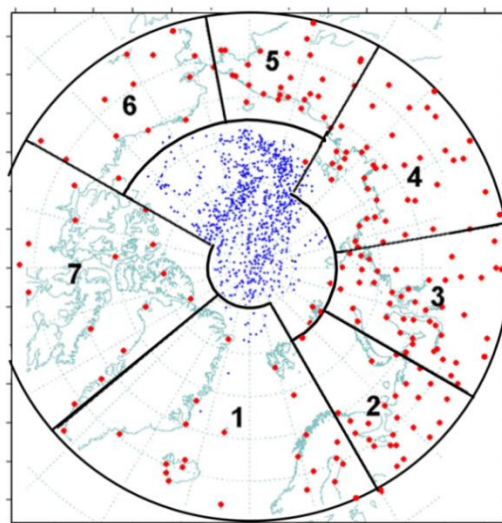


Рисунок 5.1 – Положение метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) в СПО и границы рассматриваемых районов:
1 – Атлантический
2 – Североевропейский
3 – Западносибирский
4 – Восточносибирский
5 – Чукотский
6 – Аляскинский
7 – Канадский.

Оценки аномалий среднегодовой температуры воздуха за 2020 и предшествующие годы показаны на рисунке 5.2 в сравнении с аномалиями на Северном полушарии, а в таблице 1 приведены вместе с аномалиями, средними за сезон и по отдельным широтным зонам.

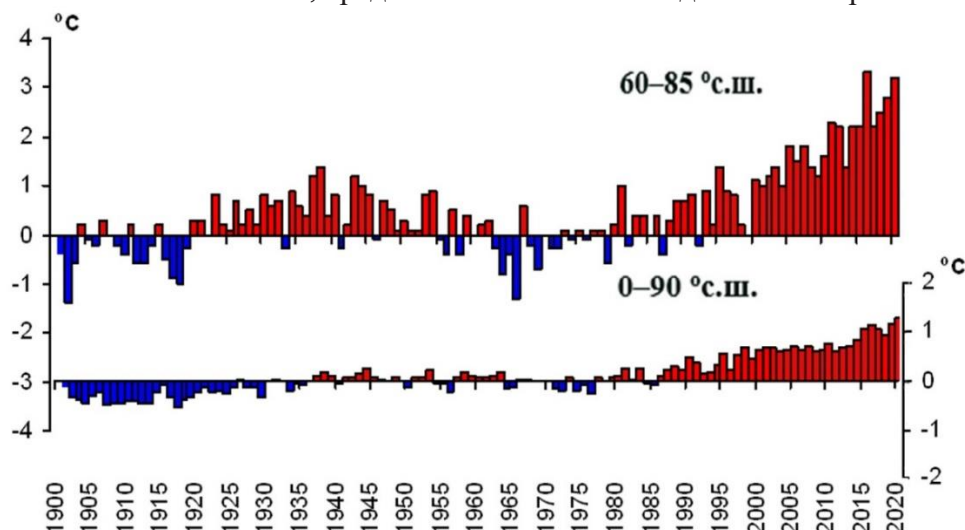


Рисунок 5.2 - Аномалии среднегодовой температуры воздуха северной полярной области (60–85° с.ш.) и северного полушария (0-90 с.ш., NOAA, 07.02.2021).

Из рисунка 5.2 следует, что 2020 г. в СПО был вторым после 2016 г. среди самых теплых лет за весь период наблюдений в отличие от Северного полушария – самого тёплого в 2020 г.

Аномалия среднегодовой температуры воздуха СПО в 2020 г. составила 3.2°C, аномалия в широтной зоне 70-85° с.ш. оказалась равной 3.6°C, а в зоне 60-70° с.ш. – 2.9°C. Соответственно, в широтной зоне 70-85° с.ш. 2020 г. стал вторым, а в широтной зоне 60-70° с.ш. – наиболее теплым в ряду убывающих температур (таблица 5.1).

Распределение аномалий среднегодовой и средних сезонных температур воздуха в СПО приведено на рисунке 5.3.

В 2020 г. году области крупных положительных аномалий температуры располагались преимущественно в азиатском секторе.

Самые крупные аномалии наблюдались на территории Западносибирского и Восточносибирского районов. Значения пространственно осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно 5.9 и

4.7°C. Такие аномалии температуры в этих районах оказались наибольшими по рангу теплых лет за период 1936 г.

Таблица 5.1 – Аномалии температуры воздуха в 2020 г., осредненные по территории СПО и по широтным зонам, в среднем за год (декабрь 2019 - ноябрь 2020) и за сезоны: ΔT , °C – отклонения от средних за 1961-1990 гг.; R – ранг в ряду убывающих температур за 1936-2020 гг.

Широтная зона, °с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R
70-85	3.6	2	3.0	7	4.0	2	1.8	3	5.4	1
60-70	2.9	1	3.2	3	3.5	2	1.7	3	3.3	1
60-85	3.2	2	3.1	3	3.7	2	1.7	2	4.2	1

Средние аномалии температуры, наблюдавшиеся в 2020 г. в отдельных климатических районах СПО, приведены в таблице 5.2. Более подробные данные для северных и южных частей районов см. на сайте <http://www.aari.ru/main.php>.

Временные ряды средних аномалий годовой температуры воздуха для районов широтной зоны 60-85° с.ш. и их линейные тренды за весь период с 1936 г., за последние тридцать и десять лет, представлены на рисунке 5.4, а для районов арктических морей (70-85° с.ш.) – на рисунке 5.5.

В течение 1936-2020 гг. наблюдается статистически значимый (на 5%-м уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для широтных зон и 70-85, 60-70°с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 85 лет составило соответственно 1.96, 1.78 и 1.87°C. Для отдельных климатических районов значимый тренд в среднегодовой температуре воздуха прослеживается во всех районах. Потепление за 85 лет составляет в районах от 1.36 до 2.46°C.

В течение последних 30 лет (1991-2020 гг.) температура росла во всех регионах СПО. В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры за 30 лет составил около 2.64°C.

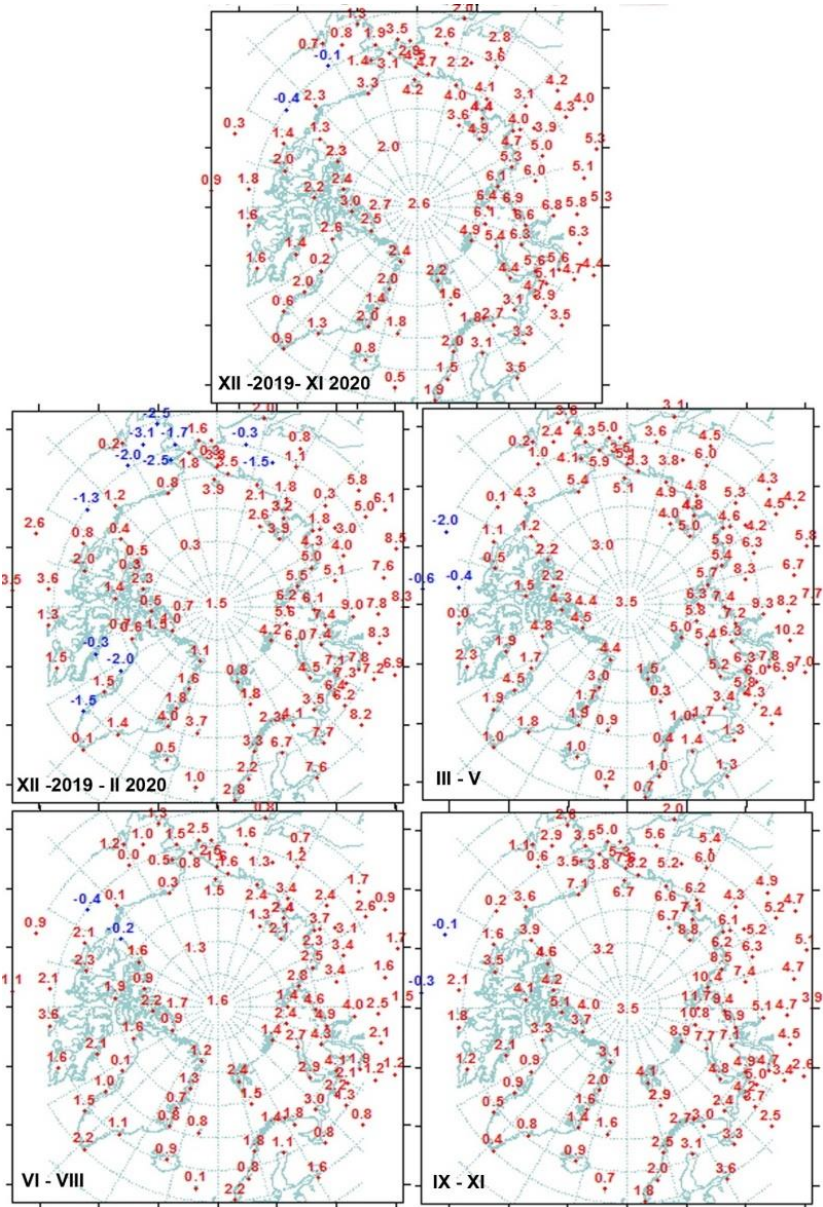


Рисунок 5.2 – Аномалии среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на станциях СПО, °C.

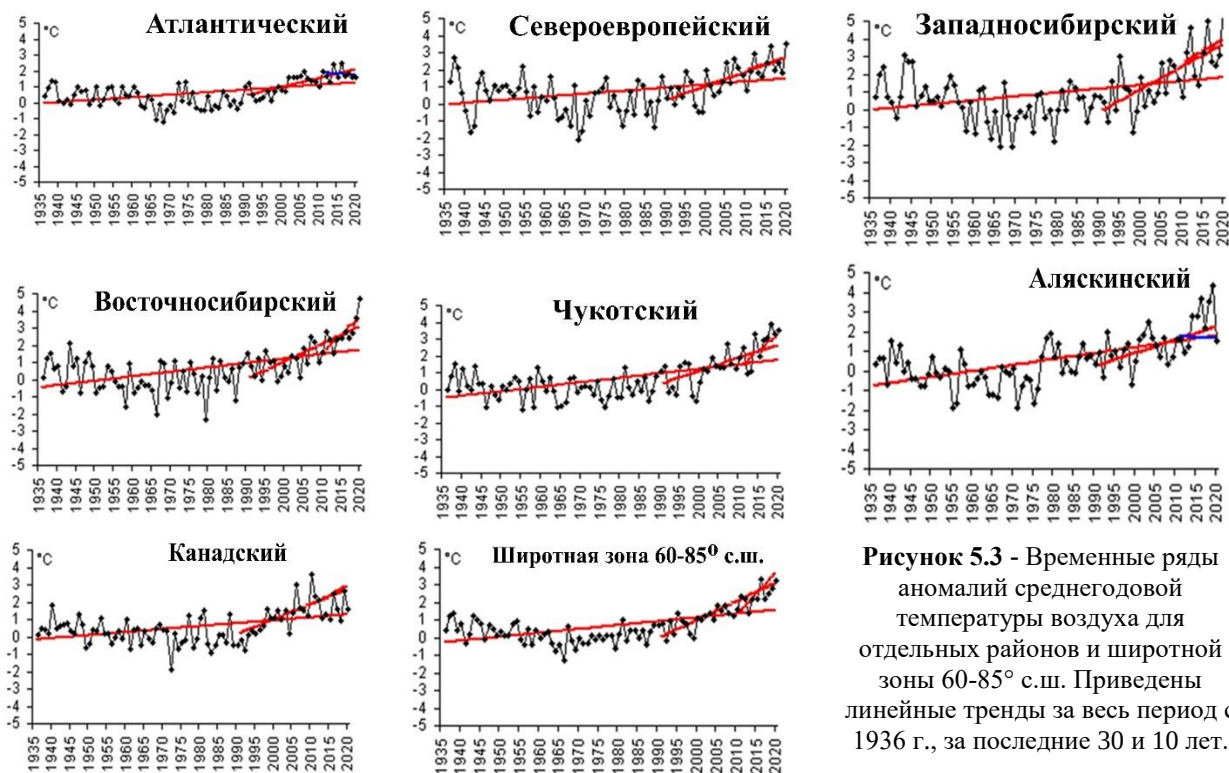


Рисунок 5.3 - Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60-85° с.ш. Приведены линейные тренды за весь период с 1936 г., за последние 30 и 10 лет.

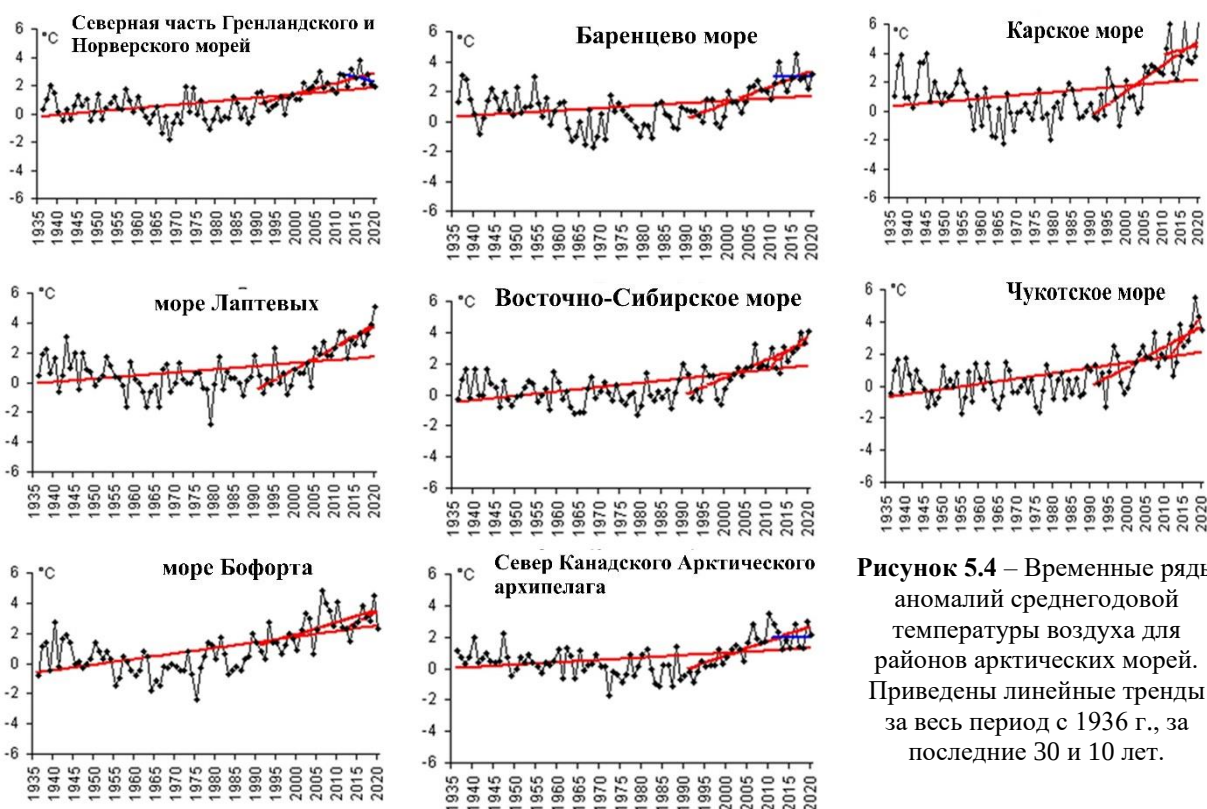


Рисунок 5.4 – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей. Приведены линейные тренды за весь период с 1936 г., за последние 30 и 10 лет.

Характеристики линейного тренда, оцененные по рядам за 1936-2020 гг., приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Аномалии температуры воздуха в 2020 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	
	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R	ΔT	R
Атлантический	1.6	6	1.9	14	1.4	10	1.3	5	1.8	7
Североевропейский	3.5	1	5.4	3	3.0	7	1.7	5	3.9	1
Западносибирский	5.9	1	7.2	3	7.3	1	2.8	2	6.2	1
Восточносибирский	4.7	1	4.6	2	5.4	3	2.4	2	6.3	1
Чукотский	3.5	2	1.8	13	4.6	3	1.7	6	5.8	1
Аляскинский	1.5	12	-0.9	42	2.8	9	0.7	12	3.4	5
Канадский район	1.6	9	1.2	18	1.7	13	1.5	6	2.1	8
Канадский район (северная часть)	2.2	6	1.0	18	3.1	5	1.4	8	3.2	5
Гренландское и Норвежское моря (северная часть) 33	1.9	11	2.1	19	2.0	8	1.2	10	2.4	8
Баренцево море	3.2	3	3.3	20	3.0	7	2.0	3	4.3	1
Карское море	6.2	1	6.5	8	6.4	2	3.5	1	8.4	1
Море Лаптевых	5.1	1	4.4	3	5.4	3	2.4	3	8.2	1
Восточно-Сибирское море	4.1	1	2.9	7	4.7	4	2.1	3	6.8	1
Чукотское море	3.5	5	1.6	19	5.3	3	1.3	9	5.7	2
Море Бофорта	2.3	14	0.7	29	3.2	7	0.5	14	4.8	2

Таблица 5.3 – Коэффициенты линейного тренда средней за сезон и за год (декабрь-ноябрь) температуры воздуха за период 1936-2020 гг. по регионам СПО; b , °С/10 лет – коэффициент линейного тренда, $D\%$ – вклад тренда в дисперсию.

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	b	$D\%$	b	$D\%$	b	$D\%$	b	$D\%$	b	$D\%$
Широтные зоны										
70-85° с.ш.	0.24	37.5	0.26	57.0	0.14	55.3	0.24	41.8	0.23	52.1
60-70° с.ш.	0.25	47.6	0.30	54.9	0.15	61.8	0.16	42.9	0.21	62.0
60-85° с.ш.	0.25	47.5	0.28	57.4	0.15	62.3	0.20	45.2	0.22	58.7
Районы СПО										
Атлантический	0.23	41.4	0.16	44.6	0.12	47.6	0.12	34.6	0.16	48.4
Североевропейский	0.17	16.9	0.30	46.5	0.11	28.1	0.13	23.1	0.18	37.0
Западносибирский	0.17	15.1	0.38	41.0	0.15	38.5	0.16	21.1	0.22	35.5
Восточносибирский	0.29	36.0	0.38	49.4	0.16	44.4	0.21	29.7	0.26	52.1
Чукотский	0.19	25.6	0.34	47.1	0.21	59.7	0.34	48.9	0.27	58.0
Аляскинский	0.43	47.4	0.32	40.8	0.18	78.4	0.24	36.0	0.29	60.5
Канадский	0.25	34.3	0.10	19.0	0.13	44.7	0.21	41.6	0.17	44.9
Моря как часть климатического района										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0.32	37.5	0.25	48.2	0.19	62.2	0.20	38.2	0.24	53.0
Баренцево море	0.12	11.6	0.26	39.1	0.11	31.1	0.16	27.2	0.17	31.3
Карское море	0.15	11.5	0.35	36.8	0.12	32.5	0.23	24.2	0.22	30.3
Море Лаптевых	0.15	19.0	0.30	39.3	0.14	36.8	0.22	25.7	0.21	37.8
Восточно-Сибирское море	0.25	37.5	0.32	42.8	0.20	50.6	0.33	43.0	0.28	0.28
Чукотское море	0.37	39.0	0.36	41.9	0.22	76.3	0.36	49.5	0.33	0.33
Море Бофорта	0.50	56.4	0.25	42.7	0.13	41.2	0.33	48.3	0.31	0.37
Северная часть Канадского района	0.18	23.1	0.10	15.6	0.08	24.2	0.22	41.0	0.15	36.5

* 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 таблице 5.4 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2019/20 гг. для СПО и для отдельных климатических районов.

В целом для СПО в 2019/20 гг. годовая сумма осадков была около нормы.

В отдельных районах самое малое количество осадков за год выпало в Чукотском (на 17.8 % ниже нормы) и наибольшее – в Североευропейском (на 26.1 % выше нормы).

На рисунке 5.5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей.

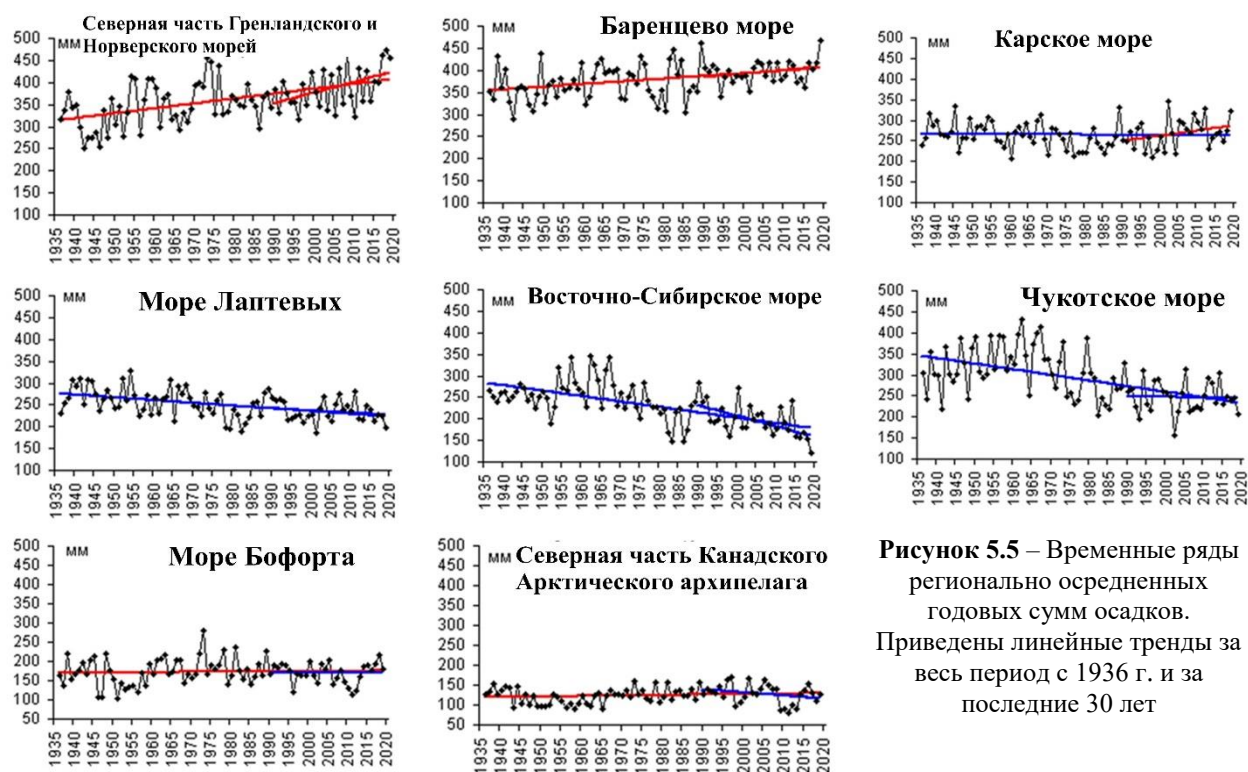


Рисунок 5.5 – Временные ряды регионально осредненных годовых сумм осадков. Приведены линейные тренды за весь период с 1936 г. и за последние 30 лет

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	83.7	95.9	87.5
Североευропейский	137.5	111.2	126.1
Западносибирский	132.0	98.1	115.7
Восточносибирский	107.9	86.8	96.7
Чукотский	85.6	78.0	82.2
Аляскинский	136.4	85.0	108.7
Канадский	82.5	86.2	84.4
70-85° с.ш.	121.3	91.7	106.2
60-70° с.ш.	105.8	96.6	101.6
60-85° с.ш.	104.9	93.2	99.9

В таблице 5.5 представлены оценки трендов в изменении сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2020 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 1936-2020 гг. в СПО наблюдается тенденция их статистически значимого увеличения со средней скоростью около 3 мм/10 лет. При этом рост осадков преимущественно отмечается в 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 Североευропейского района (15 мм/10 лет для осадков холодного периода и 17 мм/10 лет для годовых сумм), а уменьшение – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях (13 и 14 мм/10 лет для годовых сумм осадков).

Таблица 5.5 – Оценки линейного тренда регионально осредненных сезонных и годовых сумм осадков за период 1936-2020 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	3.97	9.9	-0.96	8.0	3.01	11.0
Североевропейский (южная часть)	14.46	70.8	2.76	23.3	17.22	65.2
Западносибирский (южная часть)	9.53	63.7	-0.85	7.1	8.68	31.9
Восточносибирский (южная часть)	2.49	39.1	-0.65	9.2	1.84	17.9
Чукотский (южная часть)	0.15	1.0	-0.36	3.6	-0.21	3.7
Аляскинский (южная часть)	4.14	27.3	-0.64	4.2	3.50	11.4
Канадский (южная часть)	-0.67	9.5	1.97	29.0	1.30	24.2
60-70°с.ш.	5.05	48.1	0.21	4.6	5.26	43.9
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	11.54	57.8	1.30	12.6	12.84	54.7
Баренцево море	7.28	61.6	-0.43	4.2	6.85	42.1
Карское море	0.55	6.9	-0.64	7.2	-0.09	0.0
Море Лаптевых	-2.94	39.5	-3.49	36.3	-6.43	49.8
Восточно-Сибирское море	-7.46	59.7	-5.95	51.1	-13.41	65.2
Чукотское море	-8.92	54.8	-5.01	36.1	-13.93	55.4
Море Бофорта	-0.60	6.4	1.11	14.4	0.51	2.2
Канадский (северная часть)	0.42	7.6	0.48	8.7	0.90	11.4
70-85°с.ш.	1.96	38.0	-0.82	19.8	1.14	12.4
Атлантический	6.28	22.0	-0.37	4.3	5.91	18.5
Североевропейский	11.56	76.3	1.26	14.6	12.82	68.6
Западносибирский	5.75	60.9	-0.94	12.0	4.81	33.2
Восточносибирский	0.41	8.3	-1.50	23.6	-1.09	15.8
Чукотский	-2.85	24.0	-2.17	25.2	-5.02	35.6
Аляскинский	2.22	18.9	-1.81	14.1	0.41	3.9
Канадский	-0.25	4.5	1.33	28.0	1.08	20.0
60-85°с.ш.	3.36	47.1	-0.58	16.5	2.78	34.9

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

Морская Арктика

Температура воздуха. Приповерхностная температура воздуха (ПТВ) зимой 2020 года (рис. 5.6а) в области распространения морского льда в Арктике (рис. 5.6б) составила -20.9°C (12-е место в ряду «тёплых» зимних ПТВ (первое -18.5°C в 2018 г.). Летом ПТВ (+5.8°C) оказалась на уровне самых высоких (в 2012, 2016 и 2019 гг.) летних температур (рис. 7в).

Морские льды. По данным ААНИИ (<http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/north/extent/arctic/>).

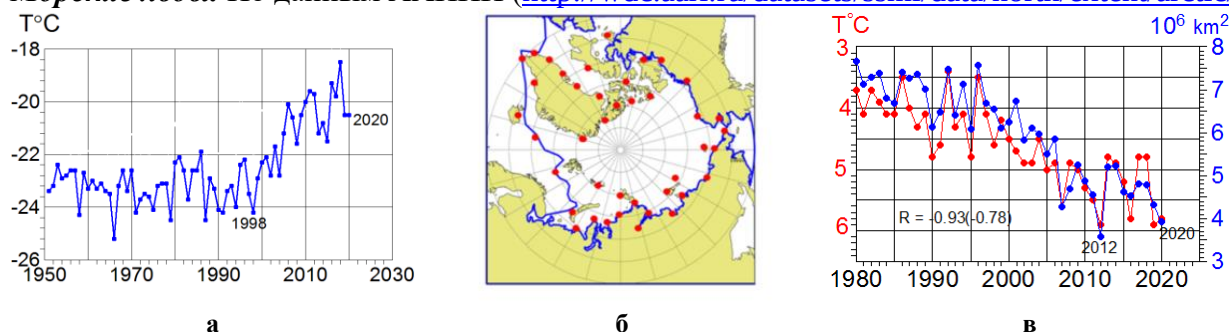


Рисунок 5.6 – Приповерхностная температура воздуха и площадь морского льда в Арктике.

а) – ПТВ зимой в морской Арктике (б); в) – ПТВ в морской Арктике летом и площадь морского льда в сентябре. *R* – коэффициент корреляции между ПТВ и площадью льда, в скобках – между отклонениями от тренда.

Средняя за месяц площадь морского льда в Северном Ледовитом океане в сентябре 2020 г. составила 3.92 млн. кв. км, что является вторым после абсолютного минимума 2012 г. (3.51 млн. кв. км) (рисунок 5.6в). Аналогичные оценки Национального центра данных по снегу и льду (США, NSIDC, <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>) составляют 3.92 и 3.57 млн. кв. км, соответственно.

Сокращение сентябрьской площади льда находится в тесном соответствии с ростом летней температуры воздуха в морской Арктике с коэффициентом корреляции между ними -0.93 за 1979-2020 гг. (рисунок 5.6в).

Акватория Северного морского пути

В связи с возрастающим вниманием к изменениям климата на акваториях Северного Ледовитого океана, через которые проходят трассы Северного морского пути, ниже представлены характеристики климата и ледовых условий в этом районе морской Арктики. Изменения средних зимней и летней температур воздуха представлены на рисунке 5.7. Лето 2020 г. оказалось самым тёплым среди летних сезонов за весь период наблюдений (с 1951 г.).

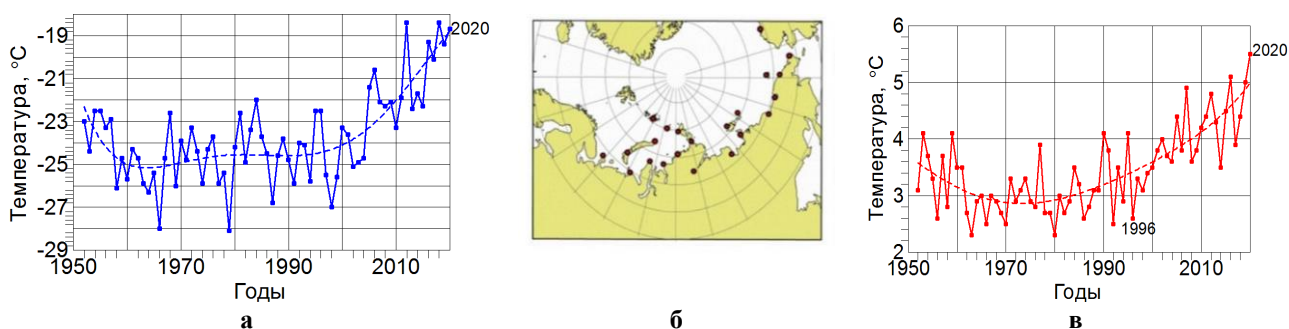


Рисунок 5.7 - Средняя температура воздуха зимой (а) и летом (в) на акватории арктических морей, по которым проходит трасса СМП, по данным 22 метеорологических станций (б).

Соответственно, в 2020 г. летний морской ледяной покров в этих морях сократился

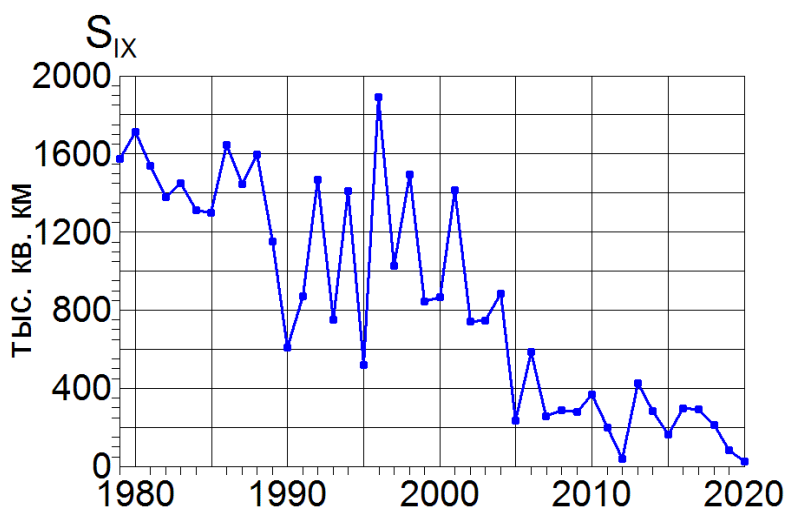


Рисунок 5.8 – Площадь, занятая морским льдом в сентябре в Сибирских арктических морях (моря Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское), по данным отдела ледовых прогнозов ААНИИ.

к сентябрю до рекордно низкого уровня (26 тыс. кв. км) (рисунок 5.8). Быстрое сокращение началось в 2001 г. от площади 1400 тыс. кв. км в сентябре, которая в 2005 г. составила всего 200 тыс. кв. км. В последние 15 лет площадь льда в сентябре колебалась около 200-300 тыс. кв. км, что в 5-7 раз меньше, чем в 1980-х годах, а 2020 г. опустилась ниже, чем в рекордном 2012 г. (37 тыс. кв. км).

6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Мощность сезонно-талого слоя является индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов, отражающим метеорологические условия отдельных лет. Измерения мощности СТС с 1990 г. проводятся по стандартизированной методике в рамках Международной программы мониторинга CALM (CircumPolarActive-LayerMonitoring), в которой участвуют несколько десятков стран, в том числе и Россия. Измерения на площадках носят негосударственный характер и, в основном, производятся по личной инициативе различных специалистов (геоморфологов, ботаников, геологов и др.), участвующих в полевых работах. По этой причине большинство рядов наблюдений непродолжительны и имеют пропуски, а часть площадок, на которых когда-либо проводились измерения, в настоящее время закрыта. В то же время надо отметить появление новых площадок, например, в 2016 г. в рамках Программы комплексного изучения полуострова Гыдан было заложено несколько новых площадок для измерения мощности СТС. Таким образом, количество площадок на территории РФ, на которых измеряется мощность СТС, изменяется от года к году.

На конец 2020 г. имеются данные измерения мощности СТС на 47 площадках из 71 площадок CALM, на которых когда-либо проводились измерения. На Европейской территории России доступны данные 4 площадок, в Западной Сибири – 15, в Центральной Сибири в 2020 г. измерения проводились только на 7 площадках. Из северо-восточной Сибири поступили данные измерений на 17 площадках, на Дальнем Востоке – на 4 площадках.

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

В Таблице 6.1 представлены данные о мощности СТС и его средних значениях за 15-летний период 2006-2020 гг. Также приведены тренды СТС за два периода: с начала наблюдений на каждой площадке до 2019 г. (ТР1) и до 2020 г. (ТР2). Сравнение двух трендов позволяет показать вклад данных последнего года наблюдений. Расчеты трендов проводились только для площадок, имеющих данные наблюдений не менее чем за 7 лет.

По сравнению с предыдущим годом на всех без исключения площадках, располагающихся в Европейской части России и Западной Сибири, наблюдалось существенное увеличение мощности СТС. На Европейском Севере доступны данные с площадок, расположенных в дельте р. Печоры (R24) и на о. Кашин (R24A), где увеличение СТС по сравнению с 2019 г. составило, соответственно, 16 и 40 см. При этом на площадке R24A (о. Кашин) значения СТС, равные 123 см, являются максимальными за весь период наблюдений с 2010 г. В Западной Сибири глубина оттаивания увеличивалась на всех площадках, в среднем от 4 до 23 см по сравнению с 2019 годом. При этом на нескольких площадках мощность СТС достигла рекордных значений с начала наблюдений: на площадках R1 и R1B (197 см и 125 см соответственно), на площадках R3 и R5C, расположенных на полуострове Ямал, 137 см и 135 см соответственно. В районе Уренгойского газового месторождения (R50A) мощность СТС в 2020 году достигла 120 см, на о-ве Белый (R55A) – 131 см, а на Полярном Урале (R53) – 134 см.

В Центральной Сибири на площадках R42 и R43 (Центральная Якутия) мощность СТС по сравнению с 2019 г. практически не изменилась и остается достаточно высокой (206 см и 124 см соответственно). Уменьшение мощности СТС наблюдалось только на одной площадке Талнах (район Норильска), где по сравнению с 2019 г. отмечается уменьшение СТС на 18 см. Существенное увеличение мощности СТС отмечалось в районе Игарки (на 13 см) и в дельте Лены (R51, на 8 см).

На северо-востоке Сибири в 2020 г. отмечается увеличение мощности СТС (от 1 до 18 см) на 10 площадках по сравнению с 2019 г. В районе озера Ахмело (R17 и R21) – на 18 см и 13 см соответственно, в среднем течении р. Колымы (R35) – на 9 см.

Таблица 6.1 – Мощность СТС (см), средние значения за период 2006-2020 гг. (CP, см) и тренды (см/10 лет) за период с начала наблюдений по 2019 г. (TP1) и по 2020 г. (TP2) на площадках CALM.

Код	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CP	TP1	TP2
Европейский север																		
R2	84	89	87	86	89	88	91	93	91	90	92	80	85	86	90	88	11	11
R23	137	138	152	144	138	144	161	156		150	169	155	158	167		151	36	
R24	114	125	124	112	104	107	135	117	102	110	111	88	110	104	120	112	0	1
R24a					58	64	88	87	65	80	109	76	84	83	123	83	23	37
R52							46	52	53	56	60	53	54	54	60	54	8	10
Западная Сибирь																		
R1	129	129	136	101	114	129	134	136	164	163	186	148	178	176	197	148	20	23
R1B								95	95	96	107	108	100	108	125	104		
R3	116	114	114	85	98	102	127	115	102	122	136	98	107	121	137	113	3	5
R5	94	92	93	76	87	87	102	103	95	102	114	102	94		104	96		6
R5A		72	75	47	67	67	77	80	71	76	87	66	66	72	76	71	6	6
R5B		72	73	81	65	65	77	78	70	77	91	75	70	73	82	75	3	5
R5C		112	113	82	106	114	128	126	111	129	144	118	116	114	135	118	16	18
R5D									41	48	54	39	40	46	51	46	4	4
R50A			84	65	77	72	87	70	76	85	74		40	103	120	84	20	28
R50B			84	65	80	82	95	92	84	93	96		111	102		89	23	
R53											99	94	100	111	134	108		
R54A											104	90	94	100	113	100		
R54B											66	61	60	63	73	65		
R54C												67	66	69	77	70		
R55				54	50	53	60	55	41	59	68	57	53	54	65	56	4	7
R55a				100	90	98	114	112	91	111	130	115	107	109	131	109	18	23
Центральная Сибирь																		
R29A/ R29C	35	44	38	28	38	39	33	26	35	34	29	30	38	32	42	34		
R29B	32	44	37	25	28	35	30	24	33	30	30	26	36	28	41	32	-2	1
R32	91	90	94	94	94	96	104	86	95	102	84	106	104	113	95	97	13	11
R40			74	71	67	70	69	72	79	89	93		94	88	101	81	24	26
R42			203	199	197	201	201	201	203	201	201	203	201	205	206	202	3	4
R43			124	122	123	123	124	129	126	125	121	121	119	124	124	123	-2	-1
R51	50	46	52	54	42	56	57	55	46	51	53		54	51	59	52	2	4
Северо-Восточная Сибирь																		
R13A	42	55	50	36	52	46	43	47		36	46	43	43	43	47	45	2	2
R13B	32	56	37	25	50	46	41	47		27	41	38	44	44	46	41	1	2
R14	44		40	46	49	47	46	42		48	41	49	47	49	48	46	3	3
R15A	30	60	38	28	48	32	30	30		31	33	31	30	32	39	35	-2	-2
R15B	44	54	44	39	45	54	46	43		44	41	39	40	41	42	44	2	1
R16	42	75	49	43	56	72	54	50	57	60	57	56	52	51	56	55	8	8
R17	53	60	49	47	56	61	53	55	64	55	57	55	70	55	73	58	6	7
R18	83	86	80	78	84	84	77	74	79	83	85	87	89	90	84	83	9	8
R18A	96	104	98	96	104	104	97	94	101	102	109	111	119		117	104		12
R19	93		92	92	103	94	83	89	95	101	112	79	89	98	105	95	14	14
R20	54	57	55	49	53	59	54	61	65	59	53	64	64	63	62	58	6	6
R21	101	117	100	96	110	105	92	96	108	96	111	85	97	101	114	102	8	9
R22		57	53	51	57	50	52	49	45	56	53	54	55	54	52	53	3	2
R25	45	65	43	42	65	60	41	41		39	42	43	49	48	51	49	4	4
R31	44	48	47	49	52	53	50	47	47	46	49	41	39			47		
R35		41	34	32	52	45	44	40	40	46	32	43	41	39	48	41	0	2
R36	37	43	43	41	31	35	34	44	38	38	42	43	44	43	43	40	4	4
R38A	137	151	133	122	145	149	130	124	132	134	135	136				136		
R38B	156				154	157	139	147	150	152	154					151		
R38C	81	84	79	78	82	79	72	66	75	75	72	75	74		71	76		-4
Дальний Восток																		
R9	53	59	52	52	52	51	53	52	59	55	60	55	51	60	55	55	6	6
R11		67	61	60	53	57	54	57	60	58	64	60	65	61	60	60	6	6
R27	59	74	61	64	74	65	67	69		72	67	67	78	78		70	7	
R41					47	47	47	51	56	55	56	55	59	66		54	19	
R45					42	44	44	47	49	44	49	49	46	50	50	47	7	
R30C	44	45	49	49	50	50	48	46		47	53	51	49	47	49	48	2	2

На площадке R16 (нижнее течение р. Колымы) увеличение мощности СТС на 5 см (по сравнению с 2019 г.) изменило тенденцию к уменьшению мощности СТС, которая отмечалась в этом районе с 2016 г. Уменьшение мощности СТС в 2020 г. по сравнению с 2019 г. наблюдалось на 6 площадках. Наиболее отчетливо эта тенденция была выражена в районе горы Родинка (площадки R18 и R38C), расположенной между притоками р. Колымы (реки Омолон и Б. Анюй), где оно составило (-6 см и -3 см) соответственно. Уменьшение глубины протаивания на других площадках не превышало 1-2 см.

На Чукотке, по сравнению с данными 2019 г., мощность СТС несколько уменьшилась (R9, R11) или осталась на прежнем уровне, например, в районе г. Анадыря

(R45). На Камчатке единственная площадка, на которой проводились измерения мощности СТС, показала увеличение СТС на 2 см.

Сравнение трендов мощности СТС, рассчитанных за периоды от начала наблюдений до 2019 и 2020 гг. (последние 2 столбца таблицы 6.1), показало следующее: климатические условия 2020 г. привели преимущественно к увеличению трендов на величину от 1 до 14 см по сравнению с предыдущим годом. Сохранение трендов мощности СТС на прежнем уровне отмечается на Европейском Севере и на большей части Западной Сибири. Наиболее существенное изменение климатические условия 2020 г. оказали на тренды мощности СТС на площадках в районе Уренгойского газового месторождения и на острове Кашин, где отмечается значительное увеличение трендов на 14 и 8 см/ 10 лет соответственно.

На территории Центральной Сибири также наблюдается увеличение трендов СТС, кроме площадки R32 (Талнах), где условия 2020 г. привели к некоторому снижению тренда СТС. На территории Восточной Сибири тренд остался неизменным на 7 площадках, на остальных площадках колебания трендов по сравнению с предыдущим годом находились в пределах ± 1 см. На Чукотке и на Камчатке тренды остались на уровне предыдущего года.

Анализ современных данных о состоянии СТС показывает, что на большей части площадок (87%) значения СТС в 2020 г. превышают средние многолетние. Как видно из рисунка 6.1, тренды практически на всех площадках сохраняют положительные значения, что свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в XXI веке. Все фактические данные наблюдений представлены на сайте: www.permafrost.su.

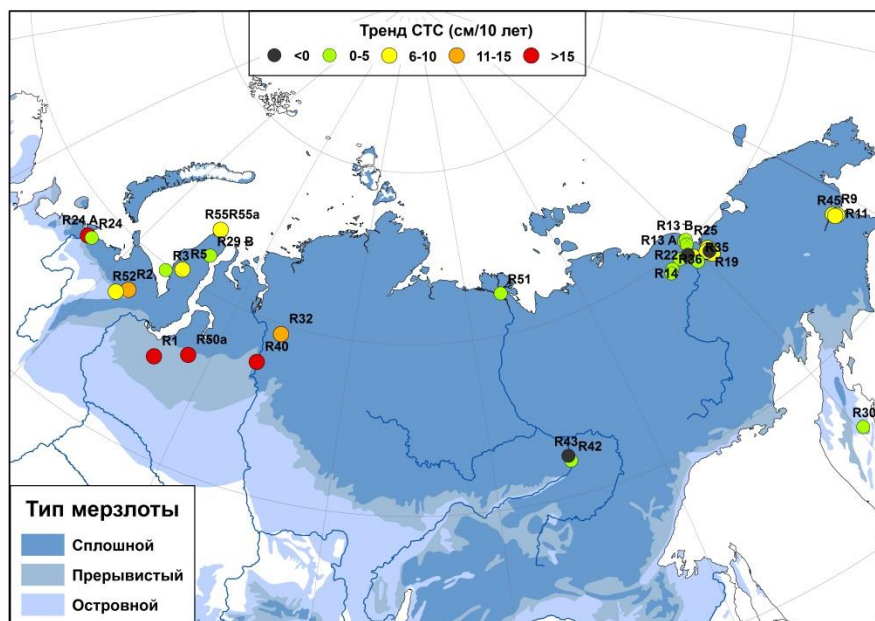


Рисунок 6.1 - Средние значения мощности сезонно-талого слоя (см) за период 2005-2020 гг. на территории криолитозоны РФ.

7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Мониторинг агрометеорологической составляющей климата за 2020 г. 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 2020 г., содержащимся в базе данных «Климат», поддерживаемой ФГБУ «ИГКЭ».

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 2020 г. выполнялся по станционным данным сети наблюдений на территории земледельческой зоны России. Определены аномалии агроклиматических показателей по отношению к предшествующему двадцатилетию (2000–2019 гг.). Аномалии показателей термического и влажностного режимов при возделывании сельскохозяйственных культур в 2020 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., представлены в таблицах 7.1 и 7.2.

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур

Температура воздуха весной на территории земледельческой зоны РФ в 2020 г. была близкой к средней за период 2000–2019 гг. на ЕЧР, за исключением ПФО (1.3°C), и значительно выше на Урале и в Сибири (таблица 7.1). Здесь положительные аномалии весной составили 3.2 и 3.9°C соответственно. В среднем по земледельческой зоне России положительные аномалии температуры воздуха весной были достаточно высокими и составили 1.8°C.

На территории ЮФО, СКФО и СФО возобновление вегетации в 2020 г. наблюдалось в среднем на три недели раньше, чем в среднем за 2000–2019 гг. В СЗФО отмечались более поздние сроки возобновления вегетации – на 9 суток (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Аномалии показателей термического режима в 2020 г. относительно средних значений за 2000–2019 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), °С						Т _{Т>5} , °С	Т _{зерн.} , °С	Дата перехода через 5 °С весной, сут.	Продол- житель- ность периода, сут.	Сумма темпера- тур, °С	
	зима	весна	лето	осень	январь	июль				Т>5 °С	>5	>10
Северо-Западный	5.9	0.2	0.1	1.9	6.8	−0.9	−0.2	0.2	9	3	33	38
Центральный	5.4	0.2	0.1	2.0	6.7	−0.5	−0.8	−0.9	−2	15	93	−16
Приволжский	5.4	1.3	−0.1	0.4	6.6	1.7	−0.6	−0.2	−3	10	30	−35
Южный	2.1	0.3	0.8	1.8	2.1	1.3	0.1	−2.1	−18	19	341	224
Северо-Кавказский	2.3	0.2	0.3	1.3	2.7	1.5	0.2	−2.3	−26	27	278	76
Уральский	5.7	3.2	0.6	0.3	6.3	2.6	0.5	0.8	−6	10	208	216
Сибирский	5.4	3.9	0.3	1.5	7.0	0.4	0.4	−0.5	−17	17	302	323
Дальневосточный	0.3	1.1	−0.6	1.3	1.1	0.3	−0.3	−0.2	−2	7	27	−3
РФ	4.2	1.8	0.1	1.4	5.2	0.7	−0.1	−0.5	−7	12	150	117

Летние температуры в 2020 г. по сравнению со средними величинами последнего двадцатилетия были выше на 0.1°C в среднем по территории земледельческой зоны РФ. Аномалии летней температуры не превышали 1.0 °C практически повсюду. Отрицательные аномалии наблюдались лишь в ДФО (-0.6°C).

В 2020 г. аномалии средней температуры воздуха за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до даты уборки (Т_{зерн.}) на большей части ЕЧР и АЧР были отрицательными. Максимальные отрицательные аномалии наблюдались в ЮФО и СКФО, -2.1 и -2.3°C соответственно, что связано с ранними сроками возобновления вегетации в этом регионе. Положительные аномалии отмечены в УФО (0.8°C) и незначительные в СЗФО (0.2°C). Аномалии средней температуры тёплого периода года от даты устойчивого перехода через 5°C весной до даты устойчивого перехода через 5°C

осенью ($T_{T>5}$) на ЕЧР, за исключением южных областей, были отрицательными и изменялись в пределах от -0.2 до -0.8°C (табл. 7.1). На АЧР положительные аномалии наблюдались на Урале и в Сибири ($0.4\text{--}0.5^{\circ}\text{C}$).

Следствием аномально тёплой весны и осени и сравнительно тёплого лета явилось значительное повышение как сумм температур воздуха за период вегетации, так и сумм активных температур (сумма температур воздуха за период с температурой выше 10°C) по сравнению с последним двадцатилетием. В южных областях ЕЧР, в Сибири и на Урале аномалии этого показателя (при $T>5^{\circ}\text{C}$) изменялись в диапазоне от 208°C (Уральский ФО) до 341°C (ЮФО). В то же время в ЦФО, ПФО, СЗФО и ДФО наблюдалась незначительная положительная или отрицательная аномалия суммы активной температуры в диапазоне от -3 до 38°C .

На рисунке 7.1 представлено пространственное распределение суммы температур воздуха выше 10°C ($^{\circ}\text{C}$) за 2020 г. и средние значения за 2000–2019 гг. ($^{\circ}\text{C}$).

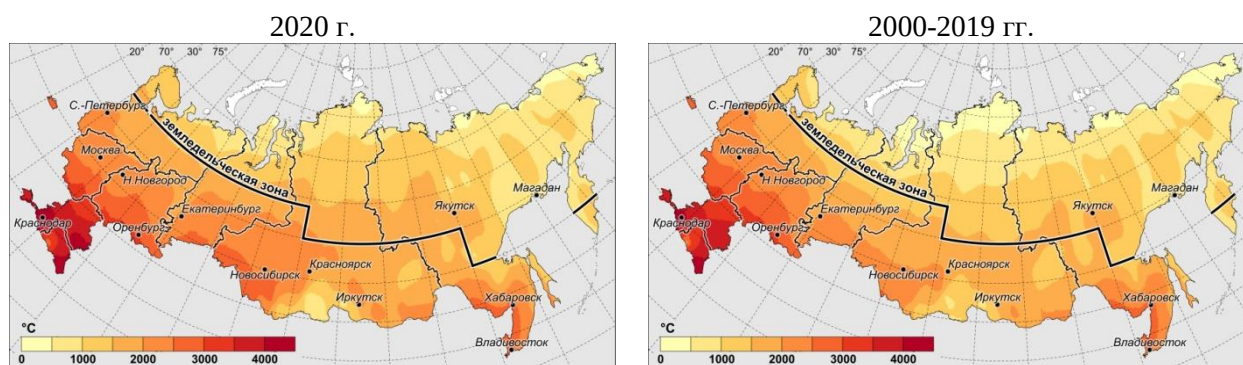


Рисунок 7.1 – Сумма температур выше 10°C ($^{\circ}\text{C}$) за 2020 г. и средние значения за 2000–2019 гг.

Продолжительность периода вегетации ($T>5^{\circ}\text{C}$) превышала среднюю продолжительность за предшествующие два десятилетия на всей рассматриваемой территории. На большей части рассматриваемой территории продолжительность периода увеличилась на 10–19 суток. На Северном Кавказе вегетационный период удлинился почти на месяц (27 суток) (таблица 7.1).

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур

В 2020 г. рассматривались следующие показатели степени увлажнённости территории: сезонные аномалии суммы осадков, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова за май–август ($\text{ГТК}_{\text{май–авг.}}$), индекс сухости М.И. Будыко, сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ($R_{\text{зерн.}}$) и суммарное количество осадков за тёплый период года ($R_{T>5}$).

Аномалии весенних осадков на ЕЧ России положительны в центральных, северо-западных областях и в Поволжье, где осадков выпало на 16–29% больше, чем в среднем за предыдущие двадцать лет. На юге ЕЧР, в ЮФО и СКФО отмечаются отрицательные аномалии, -32 и -15% соответственно. На АЧР сумма осадков за весну была близка к среднему за 2000–2019 гг. (таблица 7.2).

Аномалии индекса увлажнённости всего тёплого периода года ($R_{T>5}$) положительны на ЕЧР, в СЗФО и ЦФО (16 и 10%) и ДФО (29%). В СФО – незначительные положительные аномалии. В ЮФО (-23%) и СКФО (-22%) снижение уровня выпавших осадков было максимальным.

Значительные отрицательные аномалии осенних осадков на территории возделывания озимых зерновых культур в 2020 г. наблюдались в ЮФО (-35%), ПФО (-40%) и в ЦФО (-25%) ФО.

Величины ГТК за май–август и ИС за весь вегетационный период свидетельствуют о том, что уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2020 г. на большей

части земледельческой зоны РФ был ниже среднего уровня относительно 2000-2019 гг. (таблица 7.2). Недостаточный уровень увлажнённости посевов наблюдался в ЮФО, СКФО, в отдельных областях ПФО, УФО и СФО.

Таблица 7.2 – Аномалии показателей влажностного режима в 2020 г. относительно средних значений за 2000-2019 гг.

Федеральный округ	Сумма осадков, %					$\Sigma R_{T>5}$, %	$\Sigma R_{\text{зёрн.}}$, %	ГТК _{май-авг.} , ед.	ИС, ед.
	зима	весна	лето	осень	год				
Северо-Западный	24	16	-1	8	9	16	14	0.04	-0.04
Центральный	-6	22	-2	-25	-4	10	23	0.22	0.04
Приволжский	12	29	-17	-40	-8	-7	-17	-0.08	0.11
Южный	-7	-32	-22	-35	-24	-23	-7	-0.13	0.57
Северо-Кавказский	-43	-15	-12	-10	-19	-22	-4	-0.03	0.37
Уральский	27	9	-11	-9	-2	-2	-31	-0.21	0.11
Сибирский	32	-2	-7	14	5	6	-6	-0.12	0.09
Дальневосточный	-16	-1	18	13	8	29	24	0.27	-0.07
РФ	9	7	-4	-8	-1	3	-1	0.01	0.09

На рисунке 7.2 представлено пространственное распределение значений ГТК за период май-август в 2020 г. и средние значения за 2000-2019 гг.

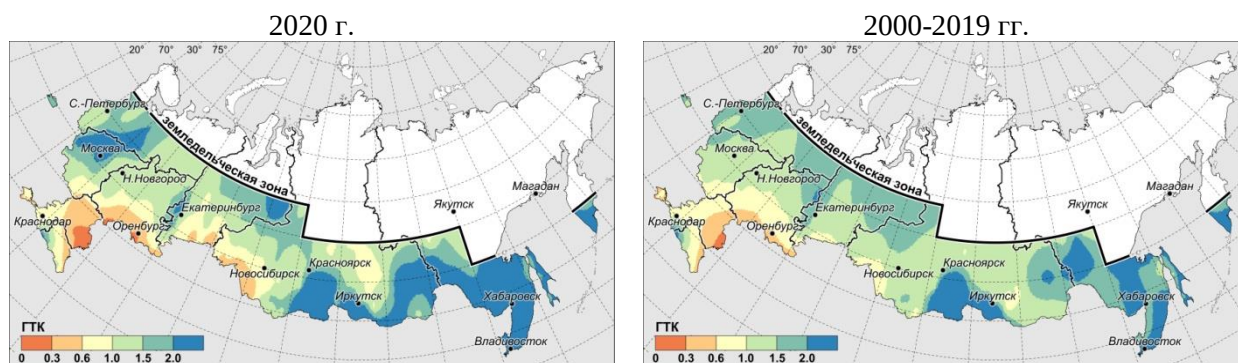


Рисунок 7.2 – ГТК за период май-август за 2020 г. и средние значения за 2000-2019 гг.

Таблица 7.3 – Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2020 г. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай.

Федеральный округ	Запасы продуктивной влаги, мм					
	возобновление вегетации	май	июнь	июль	август	сентябрь
Северо-Западный	228	215	144	129	124	146
Центральный	174	166	115	90	72	77
Приволжский	164	139	85	50	49	69
Южный	107	50	29	22	23	35
Северо-Кавказский	76	46	26	19	19	28
Уральский	131	100	61	38	48	82
Сибирский	156	104	82	77	73	107
Дальневосточный	144	129	116	108	126	147
РФ	155	124	87	70	70	91

* серым выделены ячейки таблицы с запасами влаги 50 мм и менее.

На дату возобновления вегетации запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы были достаточными на территории всех ФО, за исключением СКФО (таблица 7.3). В таблице выделены (заливкой серого) критические значения запасов влаги в почве, составляющие 50 мм и менее, которые указывают на вероятность почвенной засухи на данной территории. В мае на территории СКФО и ЮФО запасы продуктивной влаги резко понизились, и снижение продолжалось вплоть до августа, что свидетельствует о сложившемся неблагоприятном режиме увлажнения почвы. На территории ПФО и УФО недостаток почвенной влаги

наблюдался в летние месяцы, в июле и августе. Только на территории СЗФО и ДФО запасы влаги были достаточными в течение всего вегетационного периода (таблица 7.3).

Тенденции изменения агроклиматических показателей

Оценка линейного тренда сумм активных температур воздуха ($T > 10^{\circ}\text{C}$) показывает, что положительная тенденция к росту этого показателя за последние десятилетия сохраняется на ЕЧР и на АЧР (таблица 7.4). При этом оценка соответствующих трендов на ЕЧР (диапазон изменений от 90 до $160^{\circ}\text{C}/10$ лет) выше, чем на АЧР (диапазон изменений от 50 до $60^{\circ}\text{C}/10$ лет). В среднем для территории России оценка линейной скорости роста сумм активных температур воздуха за 1976–2020 гг. составляет $85^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Таблица 7.4 – Оценки линейных трендов показателей термического и влажностного режимов за период 1976–2020 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), $^{\circ}\text{C}/10$ лет		Дата перехода через 5°C весной, сут./10 лет	Продолжительность периода $T > 5^{\circ}\text{C}$, сут./10 лет	Сумма температур, $^{\circ}\text{C}/10$ лет		Сумма осадков, мм/10 лет		ГТК _{май–авг.} , ед./10 лет	ИС, ед./10 лет
	весна	лето			>5	>10	весна	лето		
Северо-Западный	0.4	0.4	–1.6	4.0	94	103	3.5	1.1	–0.03	0.02
Центральный	0.5	0.6	–1.5	4.6	124	125	4.0	–9.0	–0.08	0.05
Приволжский	0.5	0.4	–1.1	3.7	93	89	6.0	–8.8	–0.07	0.05
Южный	0.4	0.8	–4.2	6.0	177	159	3.2	–8.4	–0.04	0.07
Северо-Кавказский	0.4	0.5	–3.9	5.9	145	125	2.6	–3.4	–0.02	0.01
Уральский	0.5	0.2	–1.2	2.7	54	55	6.7	1.2	–0.01	0.01
Сибирский	0.8	0.3	–2.5	3.4	61	53	4.7	3.2	0.00	0.00
Дальневосточный	0.4	0.2	–1.6	2.9	60	63	5.6	7.6	0.02	0.01
РФ	0.5	0.4	–1.9	3.8	86	85	5.0	–0.6	–0.02	0.03

Линейные тренды продолжительности вегетационного периода ($T > 5^{\circ}\text{C}$) с 1976 по 2020 гг. (таблица 7.4, рисунок 7.3) остаются положительными и изменяются по территории сельскохозяйственной зоны от 2.7 сут./10 лет в УФО до 6.0 сут./10 лет в ЮФО и СКФО.

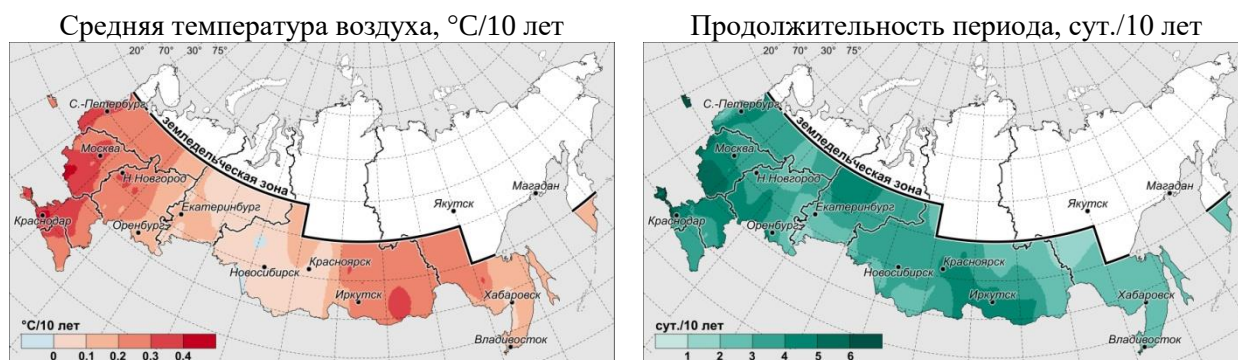


Рисунок 7.3 – Скорость изменения (линейный тренд) показателей термического режима за период 1976–2020 гг.: средняя температура воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) и продолжительность (сут./10 лет) тёплого периода года ($T > 5^{\circ}\text{C}$).

Сохраняется положительная тенденция к росту весенних осадков на всей территории сельскохозяйственной зоны РФ. В среднем по всей территории линейные тренды положительны и составляют 5.0 мм/10 лет за период 1976–2020 гг. (таблица 7.4). Тренды летних осадков за 1976–2020 гг. отрицательны в основных зернопроизводящих регионах на ЕЧ России и положительны в Сибири и на Дальнем Востоке. Оценки линейного тренда ГТК, рассчитанного за период с мая по август, отрицательны на территории ЦФО, ПФО и ЮФО. На территории Урала, Сибири и Дальнего Востока тренды практически

отсутствуют (таблица 7.4). Оценки изменений ИС за период 1976-2020 гг. положительные на всей рассматриваемой территории, свидетельствуют о сохранении тенденции к иссушению в сельскохозяйственной зоне РФ (таблица 7.4, рисунок 7.4).

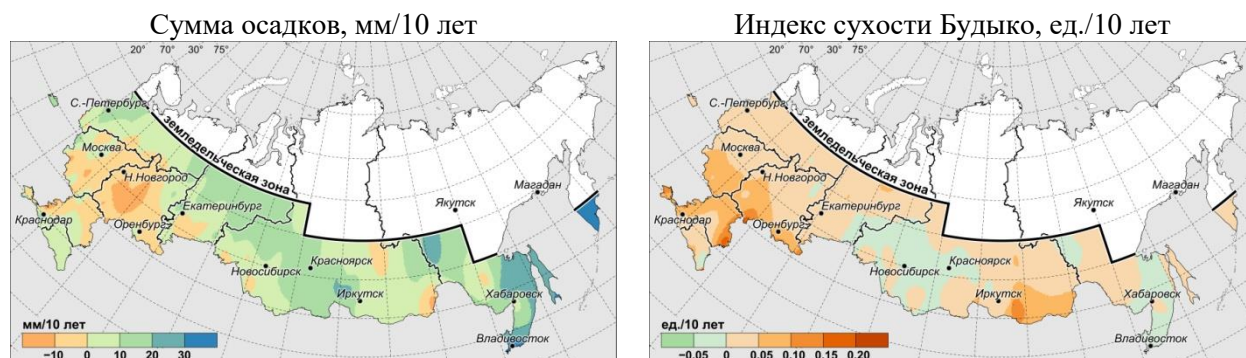


Рисунок 7.4 – Скорость изменения (линейный тренд) показателей влагообеспеченности за период 1976-2020 гг.: сумма осадков (мм/10 лет) за тёплый период года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) и индекс сухости Будыко (ед./10 лет).

Продуктивность сельскохозяйственных культур

Аномалии показателей продуктивности сельскохозяйственных культур – биоклиматического потенциала и климатически обусловленной урожайности в 2020 г. – рассчитаны как отклонения от средних за предшествующие два десятилетия 2000-2019 гг. (рисунок 7.5).

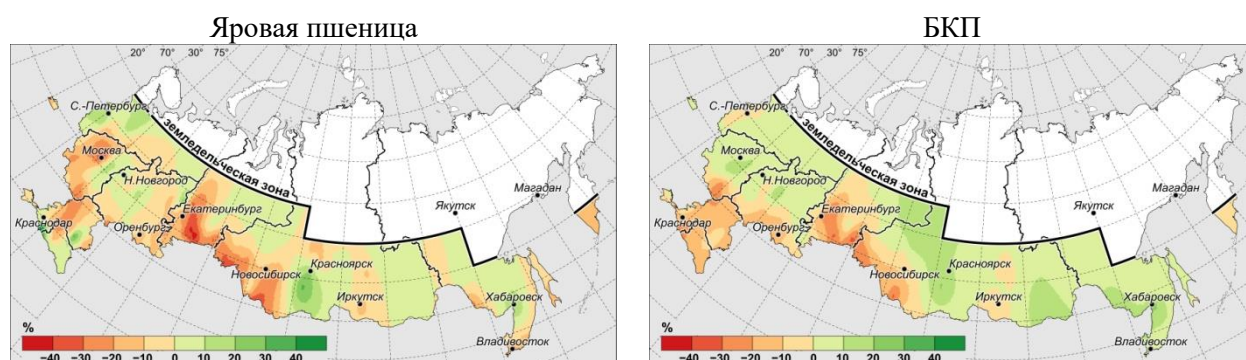


Рисунок 7.5 – Отклонения (%) значений биоклиматического потенциала и климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы за 2020 г. от средних за 2000-2019 гг.

Полученные в системе Климат-Почва-Урожай оценки показывают, что отрицательные аномалии климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы наблюдались на ЕЧР в ЦФО и ЮФО, на АЧР – в УФО и СФО. Значительные потери (недоборы) урожайности, связанные с длительным засушливым периодом, наблюдались в Алтайском крае, Челябинской, Курганской, Свердловской, Омской и Волгоградской областях. Благоприятные условия для формирования урожая яровой пшеницы сложились в 2020 г. в СЗФО, ДФО, в отдельных регионах ПФО (Республика Татарстан, Республика Мордовия, Нижегородская область).

В целом на территории сельскохозяйственной зоны России в 2020 г. условия формирования урожая (биомассы) многолетних трав или БКП следует оценить, как близкие к средним за 2000-2019 гг. Благоприятные агрометеорологические условия вегетационного периода года зафиксированы в СЗФО, ЦФО и ДФО.

8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

По данным Росгидромета, в 2020 г. на территории Российской Федерации отмечалась 1000 опасных гидрометеорологических явлений, включая агрометеорологические и гидрологические. Это на 97 явлений больше, чем в 2019 г., когда их было 903. Мониторинг общего числа ОЯ ведется с 2008 г. Динамика общего числа ОЯ за 13 лет показана в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Динамика общего числа опасных гидрометеорологических явлений за период с 2008 г. по 2020 г.

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Кол-во ОЯ	1090	923	972	760	987	963	898	973	988	907	1040	903	1000

Из всех 1000 ОЯ, наблюдавшихся в 2020 г., 372 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения (в 2019 г. было соответственно 903 и 346 ОЯ).

На рисунке 8.1 приведены данные Росгидромета за 1996–2020 гг. о динамике количества опасных гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

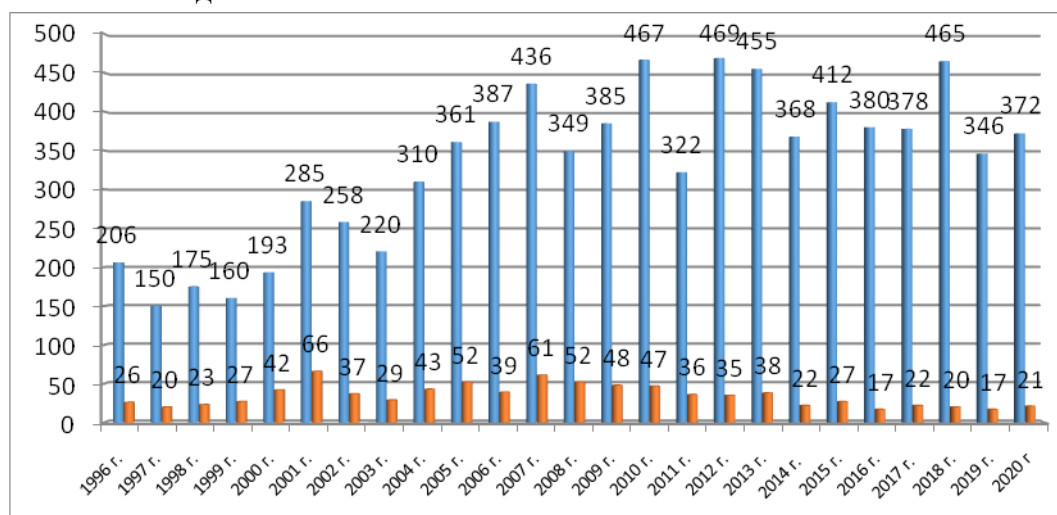


Рисунок 8.1 – Распределение гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (синий) и количество непредусмотренных ОЯ (красный).

2020 г. стал одиннадцатым по количеству ОЯ, нанесящим значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. Число непредусмотренных ОЯ в 2020 г. составило 21.

Предупрежденность ОЯ, нанесящих ущерб, в 2020 г. составила 94,4% (в 2019 г. – 95%).

В целом за год оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета было выпущено 2118 штормовых предупреждений, оправдываемость которых достигла 95,5%, что на уровне 2019 г. (95,2%).

В Гидрометцентре России ведется статистика отдельно только опасных метеорологических явлений. В 2020 г. на территории России было зарегистрировано 524 случаев возникновения метеорологических ОЯ и комплексов метеорологических явлений (КМЯ). Это девятый год из 23 лет по количеству ОЯ и КМЯ. В таблицах 8.1 и 8.2 показано распределение метеорологических ОЯ и КМЯ по месяцам и федеральным округам. Учитывались все опасные явления погоды, имевшие место на территории РФ, о которых были получены донесения, независимо от наличия информации об ущербе. Следует

отметить, что суммарное количество метеорологических ОЯ в табл. 8.1 и 8.2 может не совпадать, т.к. ОЯ часто охватывают большие территории и одновременно наблюдаются в 2-х и более округах.

По сравнению с 2019 г. количество зарегистрированных метеорологических ОЯ в 2020 г. уменьшилось на 18 случаев. Высокой была повторяемость сильного ветра, сильных осадков, КМЯ и заморозков (136, 129, 72 и 67 случаев соответственно). Это составляет 77% от всех опасных метеорологических явлений. КМЯ по своим параметрам не достигали критериев ОЯ, но в значительной степени затрудняли хозяйственную деятельность регионов. Все эти явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

Таблица 8.1 - Распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2020 год.

Явления	Месяцы												ГОД 2020
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сильный ветер	13	10	20	18	11	13	19	1	8	7	10	6	136
Сильные осадки	3	4	5	2	10	26	31	22	12	5	5	4	129
Метель и снег	5	1	4	2							1	2	15
Смешанные осадки		1									1		2
Смерч							3	2	1				6
Сильный мороз	2											2	4
Аномально холодная погода											2	8	10
Сильная жара					1	5	14	4	2				26
Аномально жаркая погода				1	4	6	6	4	1				22
Град					4	4	6	4	2				20
Гололедно-изморозные отложения	1	2	3	1							2	1	10
Заморозки			3	2	17	16	1	9	18	1			67
Туман						1			1	1	1	1	5
КМЯ	6	1	8	2	13	11	11	4	4	6	1	5	72
Итого	30	19	43	28	60	82	91	50	49	20	23	29	524

Таблица 8.2 - Распределение метеорологических ОЯ в 2020 г. по территории федеральных округов.

№	Явления	Федеральные округа								Всего
		СЗФО	ЦФО	ПФО	ЮФО	СКФО	УФО	СФО	ДВФО	
1	Сильный ветер	14	5	11	5	4	10	51	36	136
2	Сильные осадки	2	15	8	24	10	10	21	39	129
3	Метель и снег	2		1			1	1	10	15
4	Смешанные осадки				1				1	2
5	Смерч				6					6
6	Сильный мороз	1					1	2		4
7	Аномально холодная погода	1		5			2	1	1	10
8	Сильная жара	1	7	1	6	4	3	1	3	26
9	Аномально жаркая погода		3	5	3		5	5	1	22
10	Град		1	2	6	5	1	5		20
11	Гололедные явления			2	4			1	3	10
13	Заморозки	10	5	11	7	5	9	10	10	67
14	Туман			1			2	1	1	5
16	КМЯ	6	3	4	11	6	1	21	20	72
Всего – 2020		37	39	51	73	34	45	120	125	524
Всего – 2019		37	37	51	86	43	42	106	135	537

Наибольшую повторяемость метеорологические ОЯ и КМЯ имели в теплый период года (с мая по сентябрь) – 332 случаев (63%). Это связано с тем, что в этот период возрастает число ОЯ, обусловленных активной конвекцией, которая наблюдается по всей территории России.

Периоды сильных морозов и аномально холодной погоды в 2020 г. отмечались в 14 случае, то есть на 14% меньше, чем в 2019 г.

Периодов с сильной жарой и аномально жаркой погодой в 2020 г. было 48, что на 48%, больше, чем в 2019 г. В вегетационный период в 2020 г. наблюдалось 67 заморозков, как и в 2019 г.

Из таблицы 8.2 следует, что на территориях ДФО, СФО и ЮФО зарегистрировано 318 случаев (60%) всех ОЯ и КМЯ. Это связано с тем, что территории этих округов обладают наибольшими размерами и характеризуются очень активными атмосферными процессами. По сравнению с 2019 г. в 2020 г. количество ОЯ и КМЯ увеличилось в ЦФО (на 5%), УФО (на 7%) и СФО (на 13%), и уменьшилось в ДФО (на 7%), ЮФО (на 15%) и СКФО (на 21%).

Динамика количества всех зарегистрированных метеорологических ОЯ за период с 1998 г. по 2020 г. приведена с годовой дискретностью на рисунке 8.2 и с месячной – в таблице 8.3. (Следует заметить, что анализируемый ряд неоднороден, так как в Южный федеральный округ с 2015 г. вошла Республика Крым). Все эти опасные явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

Таблица 8.3 - Динамика количества всех метеорологических ОЯ за период с 1998 г. по 2020 г.

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
2020	30	19	43	28	60	82	91	50	49	20	23	29	524

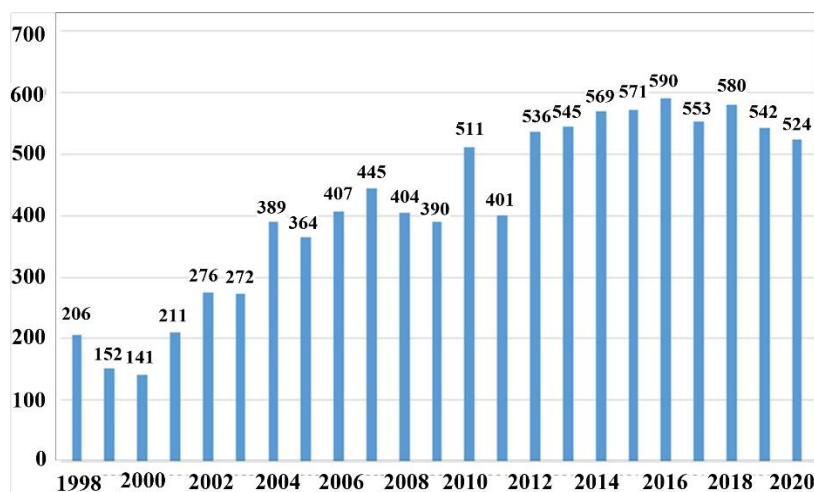


Рисунок 8.2 – Распределение метеорологических ОЯ по годам.

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 2019-2020 гг. использованы данные станций со срочными наблюдениями, для которых своевременно поступила оперативная информация (всего 80 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 XX столетия во всех крупных регионах России произошел возврат к значениям приходящей радиации, близким к норме. Изменения, происходящие в начале XXI века, в большей степени отражают региональные особенности. На рисунке 9.1 представлены пространственно-осредненных аномалии годовых сумм прямой радиации на интервале 1961-2019 гг.

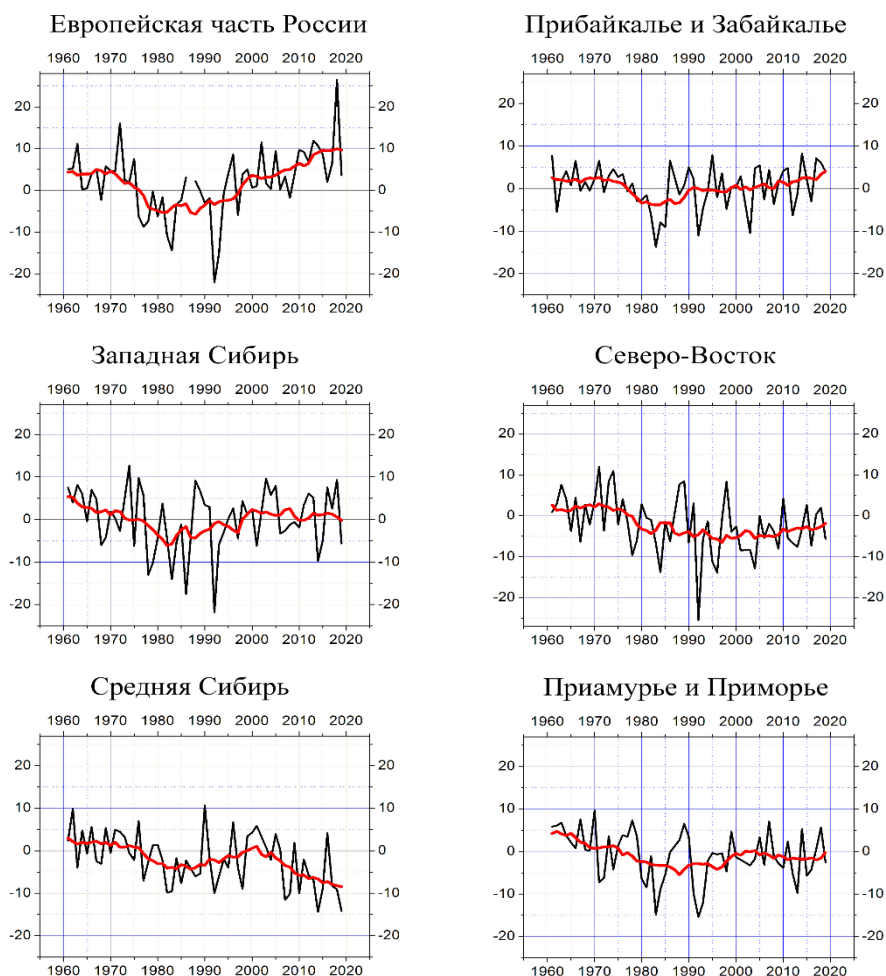


Рисунок 9.1 - Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.

Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние).

Анализ рисунка 9.1 показал, что включение в анализ 2019 г. (последнего года со всеми доступными месячными аномалиями) практически не изменило выводы, сформулированные ранее. На территории ЕЧР в 2018 г. было достигнуто рекордно высокое значение регионально-осредненных аномалий годовых сумм прямой радиации. В 2019 г. отмечена небольшая положительная аномалия, которая не изменила общей положительной тенденции в регионе. 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 Средней Сибири в последние годы наблюдались крупные отрицательные аномалии, сопоставимые с рекордно низкими значениями, которые происходят на фоне сильной межгодовой изменчивости.

Зимний сезон 2019/2020 гг. (рисунок 9.2а) характеризуется пониженными значениями приходящей солнечной радиации на большей части страны.

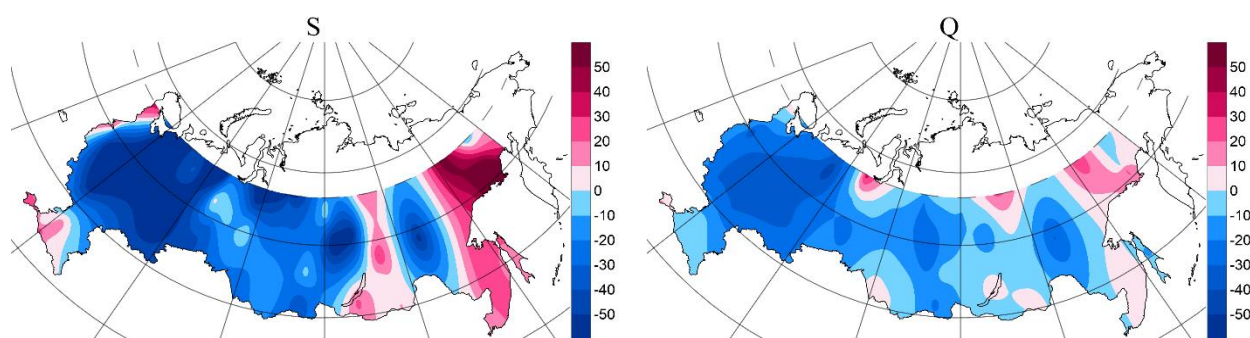


Рисунок 9.2 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой солнечной (а) и суммарной (б) радиации. Зима 2019/2020 гг.

Под воздействием северо-атлантических циклонов, смещающихся с запада на восток и блокирующих меридиональные потоки, сформировалась обширная и устойчивая область отрицательных аномалий прямой радиации, охватывающая почти всю ЕЧР и большую часть Сибири.

На значительной территории наблюдались экстремально-низкие значения (рисунок 9.3а), а на ряде станций зафиксированы рекордно-низкие значения сезонных сумм прямой радиации (Павелец, Чермоз, Елецкая).

В то же время Магаданская область, Приморье и частично Хабаровский край под влиянием гребней Сибирского антициклона оказались в области повышенного прихода прямой радиации. Здесь зафиксированы рекордно-высокие значения сезонных сумм прямой радиации (Хабаровск, Магадан, Охотск, Талая), превышающие наблюдавшиеся ранее экстремумы. Интересно отметить, что,

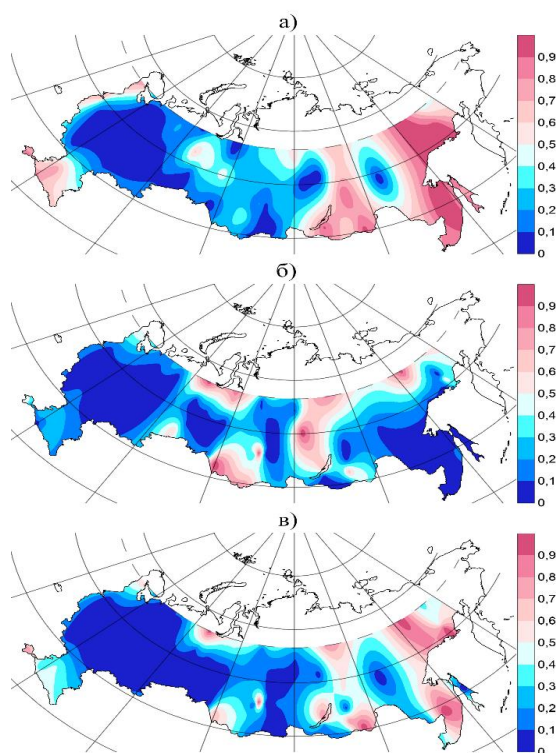


Рисунок 9.3 — Вероятности превышения сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Зима 2019/2020 гг.

несмотря на очень низкие значения рассеянной радиации в Приморье (рисунок 9.3б), суммарный приход радиации в этом регионе оказался выше нормы (рисунки 9.2б, 9.3в).

В **весенний** период на территории РФ не наблюдалось явного доминирования аномалий одного знака. В северных и центральных районах ЕЧР, Западной Сибири и частично в Красноярском крае в связи с влиянием активной циклонической деятельности в течение всех весенних месяцев в поле сезонных аномалий прямой радиации наблюдалась четко выраженная область пониженных значений. Отрицательные аномалии в этих районах сохранялись на протяжении всех трех месяцев. В отдельных пунктах (Усть-Вымь, Норильск) сезонное снижение прямой радиации превысило 30%. В южных районах европейской территории под влиянием восточных гребней Азорского антициклона сформировался интенсивный очаг положительной аномалии, который в ослабленном виде распространился к западу и северо-западу (рисунок 9.4).

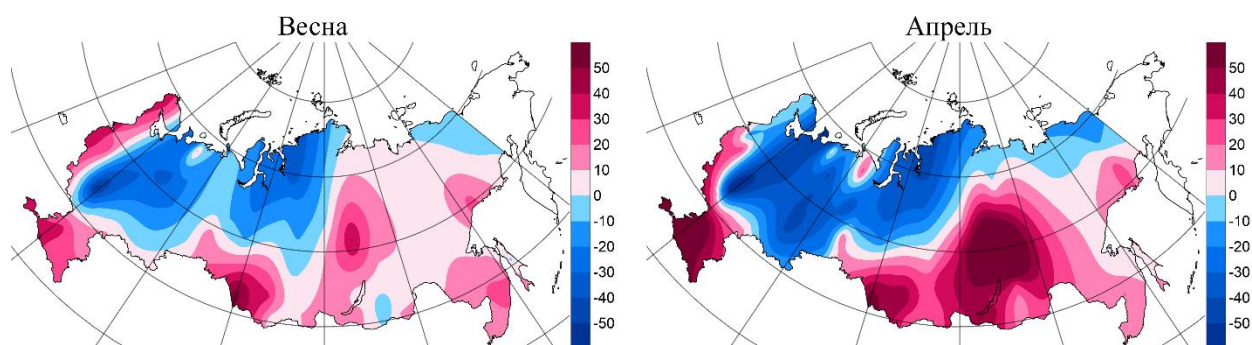


Рисунок 9.4 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (апрель) сумм прямой солнечной радиации. Весна 2020 г.

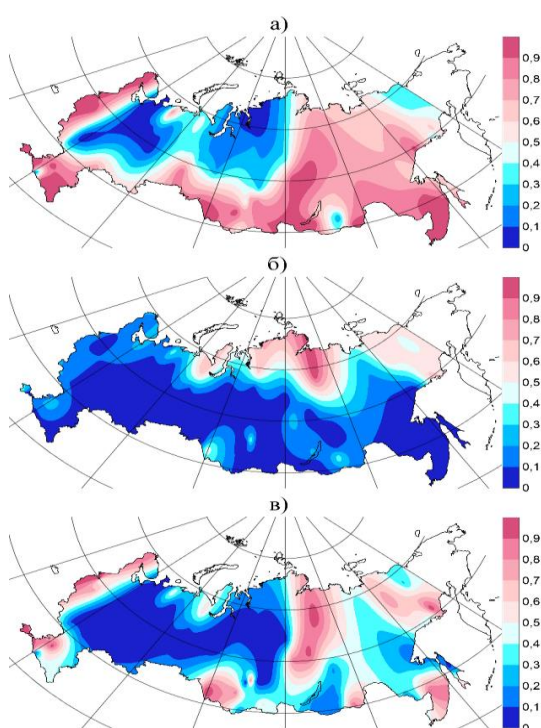


Рисунок 9.5 – Вероятности превышения сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Весна 2020 г.

Азиатская территория в целом за сезон характеризовалась повышенным приходом прямой радиации в связи с влиянием Сибирского антициклона, который был обширным и интенсивным, особенно в апреле. Месячные суммы прямой радиации в апреле в центре этой аномалии, располагавшейся в Иркутской области и Алтайском крае, были на 80-85% больше нормы и в отдельных пунктах (Ербогачен, Благовещенка) достигли рекордных значений (рисунок 9.5). Именно апрель оказал наибольшее влияние на формирование сезонного поля прямой радиации в весенний период.

В поле рассеянной радиации весной на большей части страны отмечались отрицательные аномалии. В ряде пунктов Дальнего Востока, Западной и Средней Сибири зафиксированы рекордно-низкие значения рассеянной радиации (рисунок 9.5). Интенсивность отрицательных аномалий в весенний сезон обусловлена не только долговременными тенденциями в изменении состава атмосферы, но и смещением даты схода

весеннего покрова, вследствие чего уменьшается альbedo подстилающей поверхности и слабо проявляется эффект многократного рассеяния радиации.

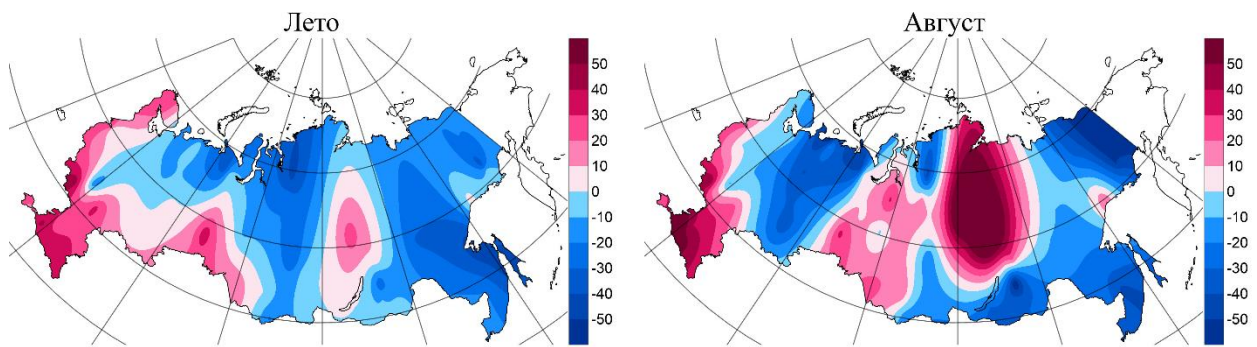


Рисунок 9.6 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (август) сумм прямой солнечной радиации. Лето 2020 г.

В начале **летнего** сезона, в июне, в условиях антициклональной циркуляции и выносе у поверхности земли субтропического воздуха в системе южных циклонов в западных областях ЦФО и СЗФО, а также на юге ЕЧР сформировалась область положительных аномалий прямой радиации. Наиболее сильные аномалии наблюдались в Новгородской и Ленинградской области, где были достигнуты рекордные значения месячных сумм (Валдай, Санкт-Петербург). Положительные аномалии в этих районах, а также на юге Западной Сибири, сохранялись практически все лето. В то же время на территории ДФО преимущественно наблюдались отрицательные аномалии (рисунок 9.6). В июле область отрицательных аномалий в АЧР была особенно обширной и включала в себя также и Восточную, и Среднюю Сибирь. Наиболее ярким и контрастным на территории АЧР был август. В это время здесь сформировалась крупная положительная аномалия, особенно мощная на территории Красноярского края и севере Иркутской области. Здесь под влиянием полярных антициклонов и их гребней в течение всего месяца преобладала сухая малооблачная погода. На отдельных станциях месячные суммы прямой радиации превышали норму более чем на 80%, а на станции Ербогачен был достигнут абсолютный рекорд (95%).

В летний сезон приход прямой радиации в среднем был ниже нормы на территории ДФО, в Средней Сибири, а также в северных районах ЕЧР. В Приморье и на Сахалине зафиксированы рекордно-низкие значения сезонных сумм прямой радиации. В поле рассеянной радиации на азиатской территории доминировали положительные аномалии, при этом на севере АЧР в отдельных локациях отмечались экстремумы, вероятность которых была меньше 10% (рисунок 9.7) Следует отметить, что летом 2019 г. область с маловероятными положительными аномалиями рассеянной радиации была больше и соответствовала площади природных пожаров. Поле аномалий суммарной радиации в летний сезон в основном воспроизводит особенности поля аномалий прямой

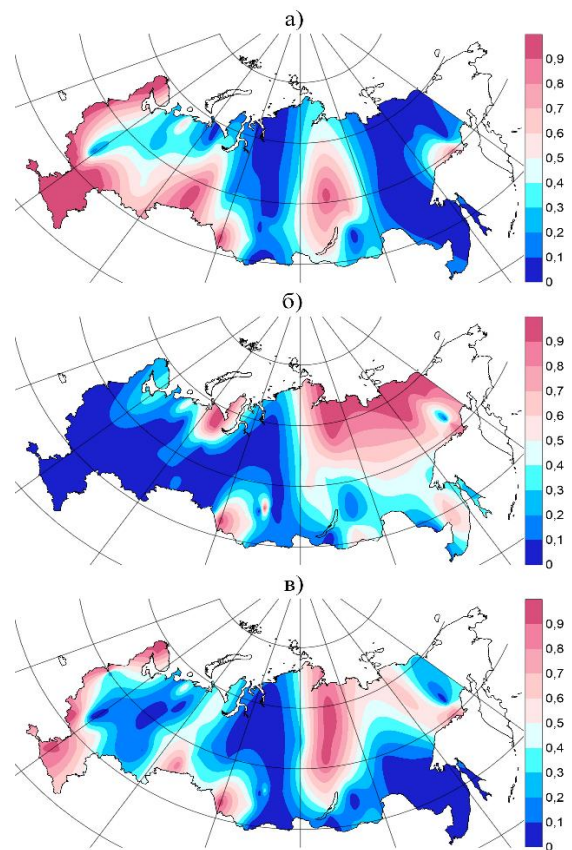


Рисунок 9.7 – Вероятности превышения сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Лето 2020 г.

радиации. Лишь в Якутии повышенные значения рассеянной радиации скомпенсировали отрицательную аномалию прямой радиации и приблизили значения суммарной радиации к норме.

Осреднение сезонных аномалий прямой радиации по территории России (рисунок 9.8) показывает, что для всех календарных сезонов 2020 г. значения аномалий прямой радиации близки к норме за период 1961-1990 гг. Наибольшее отклонение от нормы отмечено в весенний сезон (около 7%).

В целом радиационный режим 2020 г. на территории России был близок к норме. При этом в различные сезоны наблюдались существенные региональные различия и отмечались рекорды сезонных и месячных сумм приходящей радиации. На европейской территории, кроме южных районов, практически во все сезоны доминировали пониженные значения прямой и суммарной радиации. Наибольшая по площади и устойчивая отрицательная аномалия сформировалась в зимний сезон. В АЧР условия были более разнообразными и контрастными. Особенно ярко это проявилось в весенний период, когда обширная и глубокая отрицательная аномалия, наблюдавшаяся в марте в Средней и Восточной Сибири, сменилась в апреле интенсивной положительной аномалией. В центре этой области месячные суммы прямой радиации превысили норму на 80-85% и достигли рекордно-высоких значений. В среднем по территории России аномалии сезонных сумм прямой радиации в весенний сезон также оказались положительными.

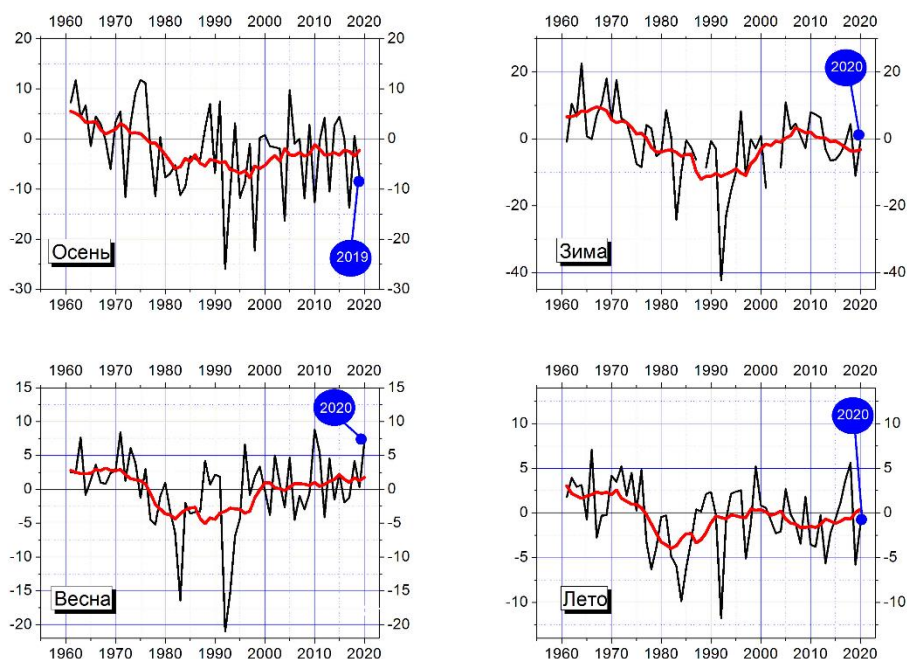


Рисунок 9.8 - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, осредненные по территории РФ.

Анализ многолетних изменений пространственно-осредненных аномалий годовых сумм радиации показывает, что на территории ЕЧР сохраняется положительная тенденция в изменении прямой радиации. В Средней Сибири в начале XXI в. наметилась тенденция к снижению приходящей радиации. В последние годы наблюдались крупные отрицательные аномалии, сопоставимые с рекордно низкими значениями, которые проявляются на фоне сильной межгодовой изменчивости.

10. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

Данные. Приведенные в настоящем разделе оценки получены с использованием данных о продолжительности солнечного сияния, 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. Для каждой станции рассчитаны аномалии месячных сумм ПСС (отклонения от норм – средних многолетних значений за период 1981-2010 гг.), а по ним – суммарные аномалии за календарные сезоны, если присутствуют данные не менее чем за два месяца, и в целом за год (январь-декабрь) – при наличии данных не менее чем за 10 месяцев. Значения суммарной за сезон/год продолжительности солнечного сияния на станциях (*SS, часы*) восстанавливаются с использованием соответствующих норм и используются для расчета относительных аномалий (*RS, %*) – отношение к норме, выраженное в процентах. Расчет дополнительных характеристик аномалий (процентили, вероятности превышения, ранги) осуществляется по данным за период, начинающийся 1961-м г., когда с увеличением числа станций, представленных в информационной базе, существенно улучшилась территориальная освещенность данными, и заканчивающийся 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, ЕЧР и АЧР, девяти квази-однородных физико-географических регионов и восьми федеральных округов РФ (рис. 3, 2 Введения). Для получения региональных средних проводится арифметическое осреднение аномалий на метеостанциях по ячейкам географической сетки (1° широты $\times$ 2° долготы), а затем осреднение полученных средних с весовыми коэффициентами, зависящими от широты ячейки.

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

Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2020 г.

Для получения характеристик ПСС в 2020 г. за восемь месяцев (январь-август) использовалась режимная информация, а за четыре месяца (сентябрь-декабрь) — оперативные данные, поступившие от 307 метеорологических станций сети Росгидромета по каналам связи (сводки «КЛИМАТ»).

На рисунках 10.1 и 10.2 представлено распределение годовых и сезонных аномалий ПСС на территории России в 2020 г., а в таблице 10.1 – среднегодовые и средние сезонные аномалии ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. Региональные средние месячные аномалии приведены в таблице 10.2. Напомним, что относительные аномалии менее 100% соответствуют отрицательным аномалиям, более 100% – положительным.

Как видно на рисунке 10.1, в 2020 г. на территории России существенных аномалий годовых сумм ПСС не наблюдалось. Средняя для РФ годовая ПСС была несколько выше нормы ($RS=102\%$). Положительные аномалии преобладали практически во всех регионах (за исключением двух). Особенно солнечно было на юге ЕЧР – ПСС трех южных регионов, где относительные аномалии составили более 115%, попала в максимумы и получила ранг 1 (в убывающих рядах).

Средние сезонные аномалии в целом для территории РФ были положительными, за исключением зимы, когда RS составила 98%. Аналогичные аномалии наблюдались в среднем для ЕЧР. Средняя для АЧР суммарная за год ПСС оказалась равна норме, но для зимы и весны средняя аномалия была положительной, а для лета и весны – отрицательной.

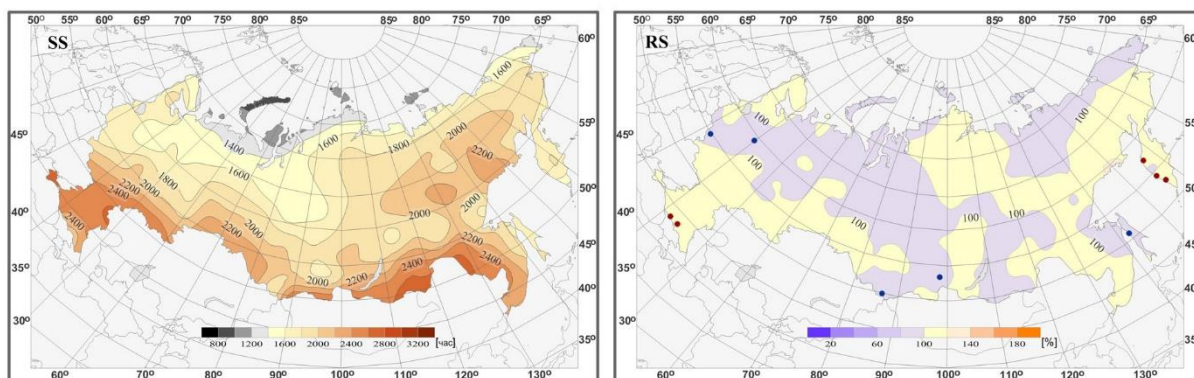


Рисунок 10.1 – Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (SS, часы) и ее относительных аномалий (RS, %) на территории РФ в 2020 г. (январь-декабрь). Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля.

Таблица 10.1 – Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (RS, %) в регионах России и вероятность ее непревышения (P, %) в 2020 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	102	78	98	31	102	71	101	66	107	85
ЕЧР	106	88	84	7	102	61	106	85	124	100
АЧР	100	49	103	66	102	80	99	36	97	22
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Западной Сибири	100	51	55	5	95	25	105	63	104	61
Север Восточной Сибири и Якутии	102	64	127	88	101	53	98	32	110	75
Чукотка и север Камчатки	104	76	132	95	96	32	110	85	96	47
Центр ЕЧР	102	66	62	0	93	25	104	66	130	97
Центр и юг Западной Сибири	99	44	77	5	101	63	103	73	96	36
Центр и юг Восточной Сибири	100	53	105	81	102	68	100	42	95	20
Дальний Восток	101	68	113	97	106	83	91	12	100	47
Алтай и Саяны	100	36	98	36	108	90	98	24	91	15
Юг ЕЧР	116	100	117	90	122	100	111	97	121	98
Федеральные округа РФ										
Центральный	102	68	72	10	93	31	104	66	121	83
Южный	115	100	113	81	125	100	109	90	120	95
Северо-Западный	101	42	54	0	97	32	104	59	109	80
Дальневосточный	101	75	112	98	103	83	96	10	100	37
Сибирский	99	37	91	15	105	81	101	51	89	10
Уральский	100	53	74	2	93	15	104	75	113	81
Приволжский	103	64	59	2	92	24	104	71	141	100
Северо-Кавказский	116	100	117	88	117	97	114	98	123	100

Зимой 2019/20 гг. в ЕЧР положительные аномалии ПСС преобладали только на крайнем юге, а на всей остальной территории ЕЧР и в Западной Сибири наблюдался существенный дефицит солнечного сияния. На ряде станций центрального региона ЕЧР этот дефицит стал рекордным. Зима 2019/2020 в ЕЧР в целом, а также в ряде регионов попала в 5 минимумов. Солнечно было на востоке АЧР – дальневосточные регионы попали в 5 максимумов, преобладание положительных аномалий отмечалось здесь в течение всех трех зимних месяцев. В **декабре** 2019 г. средняя для территории России ПСС была близка к норме. В ЕЧР преобладали отрицательные аномалии, при этом СЗФО попал в пять минимумов, а на юге сформировался очаг положительных аномалий со значениями на отдельных станциях более 140%. Существенные положительные аномалии ПСС наблюдались на востоке АЧР. В **январе** дефицит солнечного сияния в ЕЧР увеличился. ПСС этого региона в целом (а также его центральной части) оказалась рекордно низкой. Наиболее значительные отрицательные аномалии сформировались на юго-востоке ЕЧР –

аномалия для ПФО в целом составила 32% от нормы (получила ранг 1), а на ряде станций – менее 20%. В АЧР при дефиците солнечного сияния в юго-западных районах сформировались очаги значительных положительных аномалий в Западной Сибири и на Дальнем Востоке. ПСС Дальневосточного региона попала в 5 максимумов, а на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. В *феврале* очаги наиболее значительных отрицательных аномалий наблюдались на северо-востоке ЕЧР. ПСС северного региона и СЗФО попала в 5 минимумов. Вся Западная Сибирь также была занята отрицательными аномалиями, а ПСС УФО попала в 5 минимумов. На севере и юге Восточной Сибири преобладали положительные аномалии. Наиболее значительные положительные аномалии отмечались на крайнем северо-востоке ($RS=141\%$).

Таблица 10.2 – Относительные аномалии (%) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, в 2020 г. Желтым цветом выделены значения, попавшие в 5 максимальных, серым – в 5 минимальных.

Регион	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Российская Федерация	98	96	97	108	101	103	100	101	111	105	99	115
ЕЧР	71	85	110	100	98	110	105	103	128	126	108	144
АЧР	108	101	92	111	103	99	98	99	101	95	93	106
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	83	50	91	80	110	100	110	104	120	79	64	100
Север Вост. Сиб. и Якутии	125	126	96	101	105	115	82	95	115	112	79	150
Чукотка и север Камчатки	100	141	87	100	98	134	80	114	95	107	71	117
Центр ЕЧР	40	68	103	88	93	112	101	97	134	134	113	182
Центр и юг Зап. Сибири	83	72	89	103	108	98	103	107	110	81	84	109
Центр и юг Вост. Сибири	113	102	86	123	96	104	96	100	103	89	90	95
Дальний Восток	117	113	100	110	107	81	102	92	92	105	106	111
Алтай и Саяны	99	97	94	129	104	97	102	93	96	87	89	104
Юг ЕЧР	104	122	133	141	103	109	108	116	121	127	110	116
Федеральные округа РФ												
Центральный	40	94	116	103	73	106	98	108	129	123	83	175
Южный	96	116	139	154	97	105	105	115	119	120	123	148
Северо-Западный	60	55	101	84	104	112	103	96	127	79	83	183
Дальневосточный	117	111	96	111	102	99	95	91	99	102	98	108
Сибирский	92	89	84	124	105	99	96	110	100	77	82	93
Уральский	83	64	90	83	104	100	109	100	122	106	104	135
Приволжский	32	63	97	83	97	107	106	96	136	156	125	191
Северо-Кавказский	107	125	124	125	106	115	111	115	124	136	101	94

Весной значительные аномалии ПСС на территории России не отмечались. Несколько больший вклад в среднюю сезонную аномалию внесли положительные аномалии – весенняя аномалия для ЕЧР и АЧР составила 102%. Наиболее солнечно было на юге ЕЧР. На отдельных станциях положительные аномалии составили более 135% от нормы, а аномалия для ЮФО в целом – 125%. ПСС региона «Юг ЕЧР» и ЮФО получила ранг 1 среди максимумов. В *марте* территория ЕЧР, занятая положительными аномалиями, по сравнению с февралем, увеличилась. Интенсивность аномалий на юге ЕЧР достигла более 150%, а аномалия для ЮФО возросла до 139% (ранг 2 среди максимумов). В АЧР преобладал существенный дефицит солнечного сияния, и ПСС этого региона попала в 5 минимумов. Наиболее значительные отрицательные аномалии наблюдались в СФО. На отдельных станциях аномалии составляли менее 50% от нормы. ПСС СФО и региона «Центр и юг Восточной Сибири» попали в 5 минимумов. Положительные аномалии ПСС, наблюдавшиеся на востоке АЧР, не превышали 130%. В *апреле* положительные аномалии на юге ЕЧР сохраняются и на отдельных станциях достигают более 170% от нормы. ПСС южных регионов по-прежнему попадает в 5 максимумов. Однако на большей части европейской территории страны наблюдаются отрицательные аномалии. В АЧР, напротив, территория с дефицитом солнечного сияния существенно сокращается. Аномалия для региона в целом составляет 114% от нормы и

получает ранг 1 среди максимумов. Отрицательные аномалии сохраняются в северных районах и в Западной Сибири. На остальной территории АЧР преобладают положительные аномалии, наиболее значительные на юге Красноярского края и в Иркутской обл. (более 150% от нормы). На многих станциях оказались превышены наблюдавшиеся ранее месячные максимумы, а ПСС в регионах «Центр и юг Восточной Сибири» и «Алтай и Саяны» получила ранг 1. В *мае* в ЕЧР по-прежнему заметно преобладание отрицательных аномалий, в АЧР – положительных, при этом интенсивность аномалий обоих знаков по сравнению с апрелем существенно уменьшилась. Тем не менее, ПСС ЦФО попадает в 5 минимумов. Наиболее заметные положительные аномалии сформировались в северных районах: в ЕЧР - на Кольском полуострове, в АЧР - в устье реки Колымы.

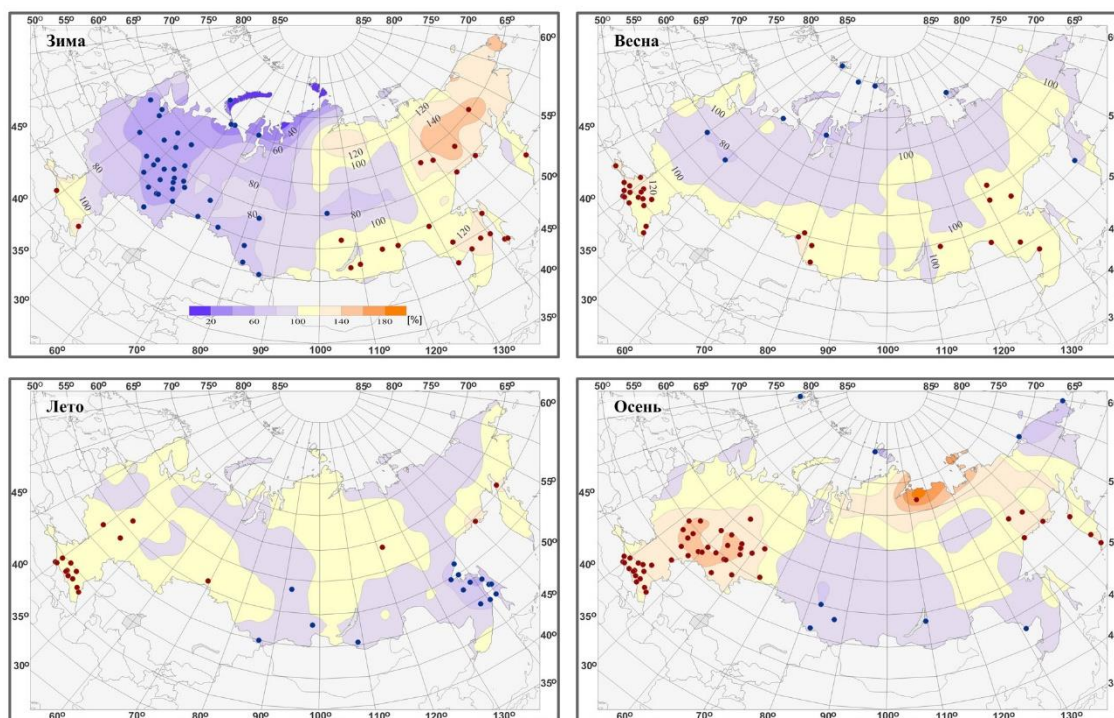


Рисунок 10.2 – Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния (RS, %) на территории РФ в 2020 г. Кругжками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля.

Лето, по сравнению с весной, на территории ЕЧР было более солнечным, аномалия для региона в целом составила 106% от нормы. ПСС для Центрального региона и СКФО, как и весной, попала в 5 максимумов. Наибольший дефицит солнечного сияния отмечался на юго-востоке страны, особенно в Хабаровском крае, где на ряде станций был обновлен сезонный минимум. В *июне* на территории страны преобладали положительные аномалии ПСС. В ЕЧР площадь, занятая положительными аномалиями, была наибольшей по сравнению с другими летними месяцами, а сами аномалии по величине наиболее значительными. Отрицательные аномалии отмечались только на крайнем северо-востоке региона. Аномалия для региона в целом составила 110% от нормы, а для СКФО – 115%. В АЧР наиболее существенные положительные аномалии наблюдались на севере Красноярского края и Якутии (аномалия для региона «Север Восточной Сибири» попала в 5 максимумов), а также вблизи побережья Берингова моря (ПСС региона «Чукотка и Колыма» получила ранг 1 среди максимумов). Отрицательные аномалии преобладали в Западной Сибири. Очаг значительных отрицательных аномалий (с минимумом 14% от нормы) сформировался на крайнем юго-востоке АЧР, включая о. Сахалин. В результате Дальневосточный регион получил ранг 3 среди минимумов. В *июле* ПСС в целом для

территории РФ была на уровне нормы. Очаг отрицательных аномалий сформировался на северо-западе ЕЧР, а в АЧР отрицательные аномалии занимали почти всю территорию. Аномалия для региона «Север Восточной Сибири» составила 84% от нормы и получила ранг 2 среди минимумов. Наиболее заметные положительные аномалии наблюдались на крайнем севере ЕЧР, на юго-западе Западной Сибири, в Приморском крае. В **августе** площадь, занятая отрицательными аномалиями, в ЕЧР несколько увеличилась, а в АЧР, напротив, существенно сократилась. В ЕЧР ПСС Южного региона (и ФО) попала в 5 максимумов. Мощный очаг положительных аномалий сформировался в Средней Сибири. На многих станциях ПСС попала в 95%-й квантиль. В районе Таймыра, где располагался очаг значительных положительных аномалий геопотенциала *H500*, аномалии на ряде станций составляли более 170% от нормы. В то же время на юге азиатского региона ПСС на некоторых станциях была существенно ниже нормы и попала в 5%-й квантиль. Наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС (менее 30% от нормы) наблюдались на севере вблизи побережья Восточно-Сибирского моря.

Осенью практически вся территория ЕЧР была занята положительными аномалиями ПСС. На отдельных станциях аномалии достигали более 150% от нормы. Аномалия для региона в целом составила 124% и стала рекордной с 1961 г. Ранг 1 получила также ПСС в ПФО и СКФО. Очаг значительных положительных аномалий наблюдался и на севере Средней Сибири вблизи Арктического побережья. Значительная часть территории Западной и Средней Сибири была занята слабыми отрицательными аномалиями. **Сентябрь** для территории РФ в целом получил ранг 4 среди максимумов, а для ЕЧР стал самым солнечным с 1961 г. Положительные аномалии ПСС наблюдались на всей территории ЕЧР, на многих южных станциях были превышены наблюдавшиеся ранее месячные максимумы. ПСС в четырех ФО попала в 5 максимумов. В АЧР очаг наиболее значительных положительных аномалий (до 200% от нормы) располагался в северных широтах, вблизи побережья моря Лаптевых, куда сместился очаг положительных аномалий геопотенциала *H500*. Небольшие отрицательные аномалии ПСС наблюдались только на юге АЧР и на Чукотке. В **октябре** в распределении аномалий ПСС произошли изменения. В ЕЧР положительные аномалии сохранились только в юго-восточных районах. ПСС в ПФО и СКФО, как и в сентябре, попала в 5 максимумов, а на северо-западе ЕЧР сформировался очаг существенных отрицательных аномалий (до 40% от нормы). Отрицательные аномалии занимали большую часть азиатской территории, на юге

Сибири они составляли менее 50% от нормы. В то же время на Дальнем Востоке сформировался мощный очаг положительных аномалий (до 188% от нормы). В **ноябре** очаг положительных аномалий на юго-востоке ЕЧР сохранился, но интенсивность его существенно уменьшилась. Территория страны, занятая отрицательными аномалиями, расширилась, а величина аномалий возросла. На крайнем севере наступила полярная ночь. Но и на некоторых более южных станциях АЧР солнечного сияния не наблюдалось. В **декабре** (рисунок 10.3) почти вся территория ЕЧР была занята положительными аномалиями ПСС. Средняя аномалия для ЕЧР составила 144% от нормы и получила ранг 2 среди максимумов. В 5 максимумов попала ПСС ЦФО, ЮФО и ПФО. Значительная часть азиатской территории была занята

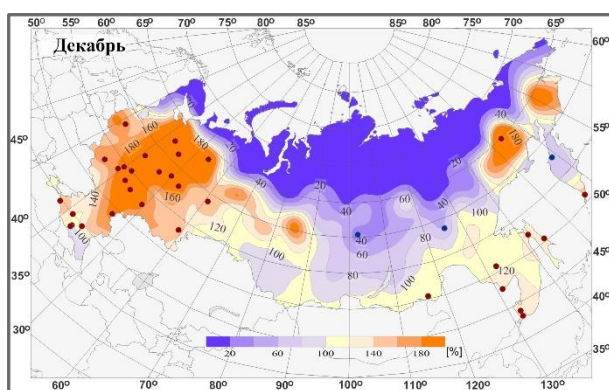


Рисунок 10.3 – Пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния (*RS*, %) на территории РФ в декабре 2020 г. Кругами синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля.

отрицательными аномалиями, но на востоке Дальневосточного региона сформировались очаги положительных аномалий.

На рисунке 10.4 видно, что для территории РФ в целом только в первые три месяца 2020 г. (январь-март) наблюдался дефицит солнечного сияния. Для пяти месяцев ПСС в среднем оказалась близка к норме. Наиболее значительные положительные аномалии отмечались в сентябре (111% от нормы) и декабре (115%). ПСС этих месяцев попала в 5 максимумов (с 1961 г.). В ЕЧР в начале года наблюдались значительные отрицательные аномалии: в январе 71% от нормы (ранг 1 среди минимумов), в феврале 85%. С июня до конца года в этом регионе преобладали положительные аномалии. Наибольшие из них наблюдались в сентябре (128% от нормы), октябре (126%) и декабре (144%). Все они попали в 5 максимумов, причем ПСС сентября стала рекордной с 1961 года. В АЧР наиболее существенные положительные аномалии наблюдались в январе (108% от нормы) и апреле (111%, ранг 1 среди максимумов), а отрицательные – в марте (92% от нормы), октябре (95%) и ноябре (93%).

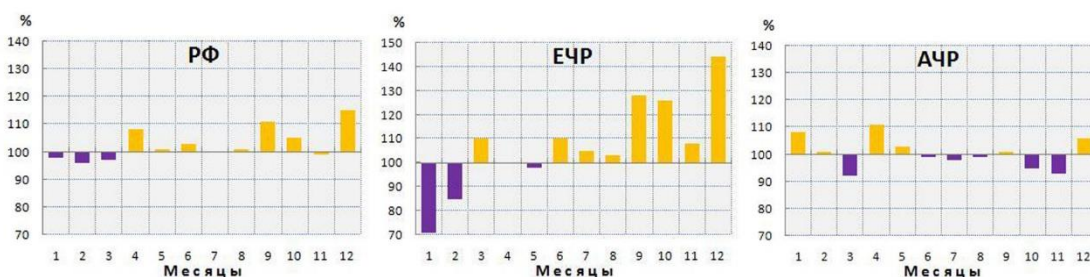


Рисунок 10.4 – Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР; 2020 г.

Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Географическое распределение коэффициентов линейного тренда годовых сумм ПСС, рассчитанных для периода 1976-2020 гг., и их оценки мало отличаются от полученных годом ранее. По-прежнему изменения ПСС почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом (рисунок 10.5). На многих станциях этот тренд является статистически значимым (рассматривается 5%-й уровень значимости). Средняя

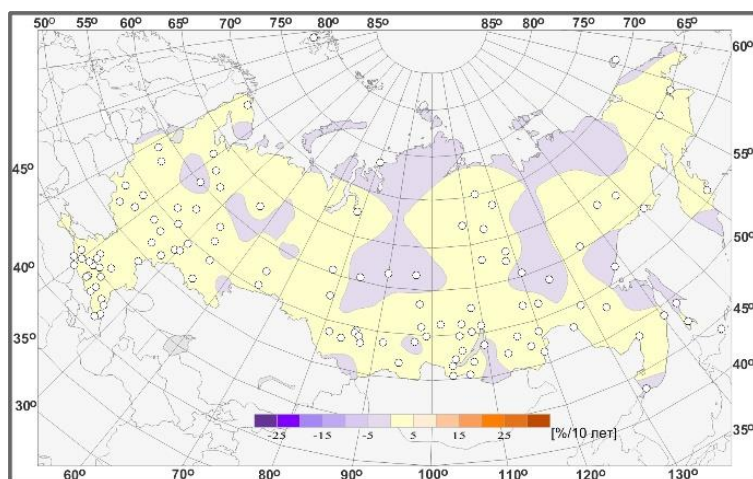


Рисунок 10.5 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий годовой продолжительности солнечного сияния на территории России, по данным за 1976-2020 гг. (%/10 лет). Белыми кружками выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-м уровне.

скорость роста ПСС (коэффициент линейного тренда b) для территории России в целом составляет 1.2% в 10 лет, вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 31% (табл. 3). Положительный тренд для России в целом наблюдается во все сезоны и является статистически значимым на 5%-м уровне (за исключением осени). Статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС и отдельно для ЕЧР и АЧР, однако его скорость в ЕЧР более чем в 2 раза больше ($b_{ЕЧР}=1.9\%/10$ лет, $b_{АЧР}=0.8\%/10$ 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 (3.3%/10 лет в ЮФО).

На рисунке 10.6 представлено географическое распределение коэффициентов линейного тренда сезонных сумм ПСС, а на рисунке 10.7 показан многолетний ход средних годовых и сезонных аномалий ПСС для территории РФ в целом и отдельно для ЕЧР и АЧР. В таблице 10.3 приведены оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния за период 1976-2020 гг., а в таблице 10.4 – за 30-летние периоды 1990-2019 гг. и 1991-2020 гг.

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

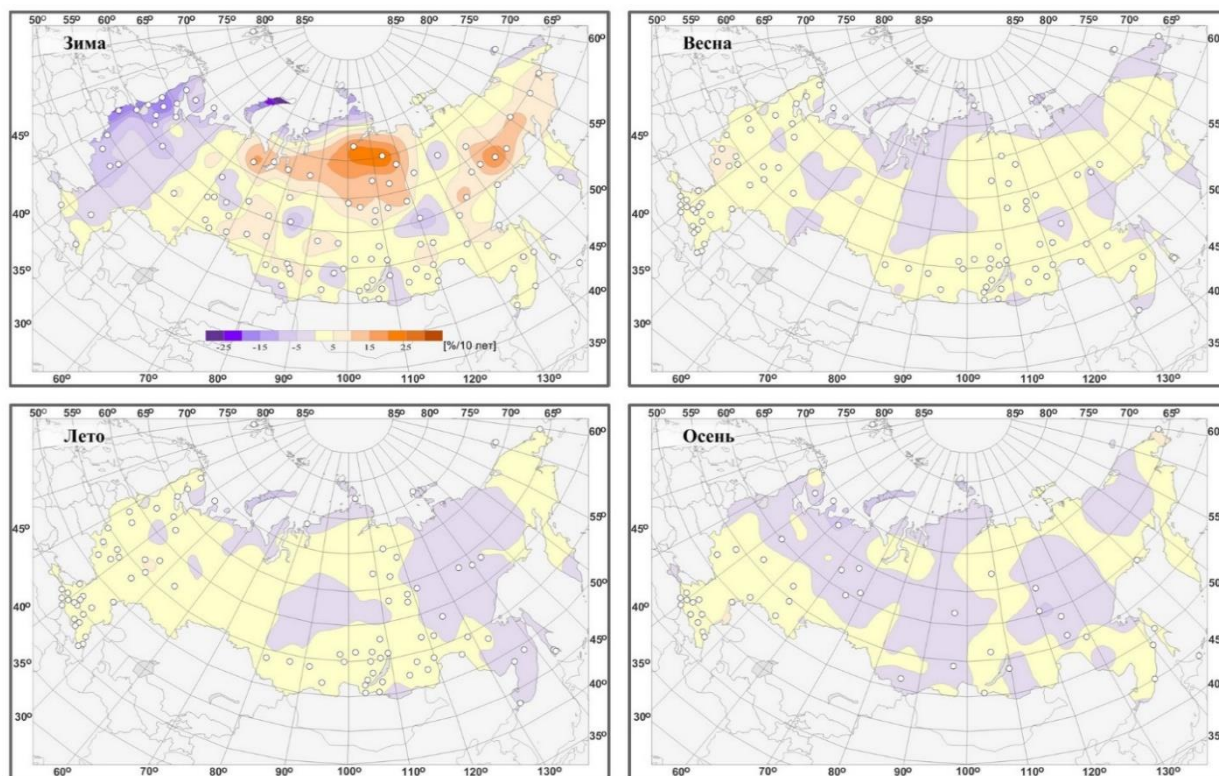


Рисунок 10.6 – См. рис. 10.5, но для коэффициентов линейного тренда относительных аномалий **сезонной** продолжительности солнечного сияния

Зимой на большей части территории России наблюдается рост продолжительности солнечного сияния, который в среднем составляет 1.8%/10 лет. По сравнению с прошлым годом тренд несколько уменьшился, поскольку замедлился рост ПСС в АЧР. Наиболее значительное увеличение ПСС в АЧР отмечается в регионе «Север Восточной Сибири и Якутии» (9.8%/10 лет), вклад тренда в дисперсию ряда составляет 36%. В то же время на западе ЕЧР наблюдается существенный отрицательный тренд зимних сумм ПСС, в результате чего для ЕЧР в целом тренд зимнего сезона является отрицательным (но статистически незначимым) и составляет -1.0%/10 лет. В ЦФО и СЗФО тренд составляет около -6%/10 лет.

Весной на территории России преобладает рост ПСС. Для РФ в целом весенний тренд составляет 1.2%/10 лет, что существенно меньше зимнего. При этом в ЕЧР тренд в 3.5 раза больше, чем в АЧР. Наибольший тренд наблюдается в ЦФО (3.8%/10 лет) и ЮФО (4.8%/10 лет). Статистически значимый отрицательный тренд наблюдается на Чукотке (-2.5%/10 лет).

В **летний** сезон средняя для территории РФ в целом скорость роста ПСС составляет 1.1%/10 лет – почти столько же, как и весной.

Таблица 10.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России; 1976-2020 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	
	<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>
Российская Федерация	1.2	31	1.8	11	1.2	20	1.1	27	0.6	3
ЕЧР	1.9	32	-1.0	1	2.0	19	2.4	35	1.6	6
АЧР	0.8	17	2.8	29	0.8	11	0.2	1	0.0	0
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	-0.1	0	-2.8	2	-0.2	0	0.3	0	-2.0	3
Север Вост. Сибири и Якутии	0.6	6	9.0	36	0.7	3	-0.2	0	-0.7	1
Чукотка и север Камчатки	0.2	0	4.1	5	-2.5	9	1.8	5	0.6	0
Центр ЕЧР	1.9	16	-1.7	1	1.7	8	2.6	24	1.9	3
Центр и юг Зап. Сибири	0.6	2	3.8	8	0.4	1	0.4	1	-0.7	1
Центр и юг Вост. Сибири	1.2	24	2.9	28	1.6	26	0.6	4	-0.1	0
Дальний Восток	0.4	5	1.9	15	0.7	3	-1.2	6	0.7	4
Алтай и Саяны	1.0	11	1.5	6	1.4	9	0.9	6	-0.0	0
Юг ЕЧР	2.8	47	0.7	0	3.6	26	3.2	49	2.2	11
Федеральные округа РФ										
Центральный	2.7	22	-6.0	10	3.8	21	3.4	28	2.3	3
Южный	3.3	51	0.9	1	4.2	26	3.4	46	2.8	14
Северо-Западный	0.4	1	-5.9	10	1.0	3	0.9	2	-2.0	4
Дальневосточный	0.7	17	2.6	27	0.8	12	-0.2	1	0.3	1
Сибирский	0.9	13	3.2	13	1.2	8	0.5	4	-0.1	0
Уральский	0.7	3	3.6	7	-0.1	0	1.1	3	-0.5	0
Приволжский	2.1	16	0.3	0	1.2	3	3.0	23	2.8	5
Северо-Кавказский	2.5	38	0.5	0	2.9	20	3.2	41	2.0	8

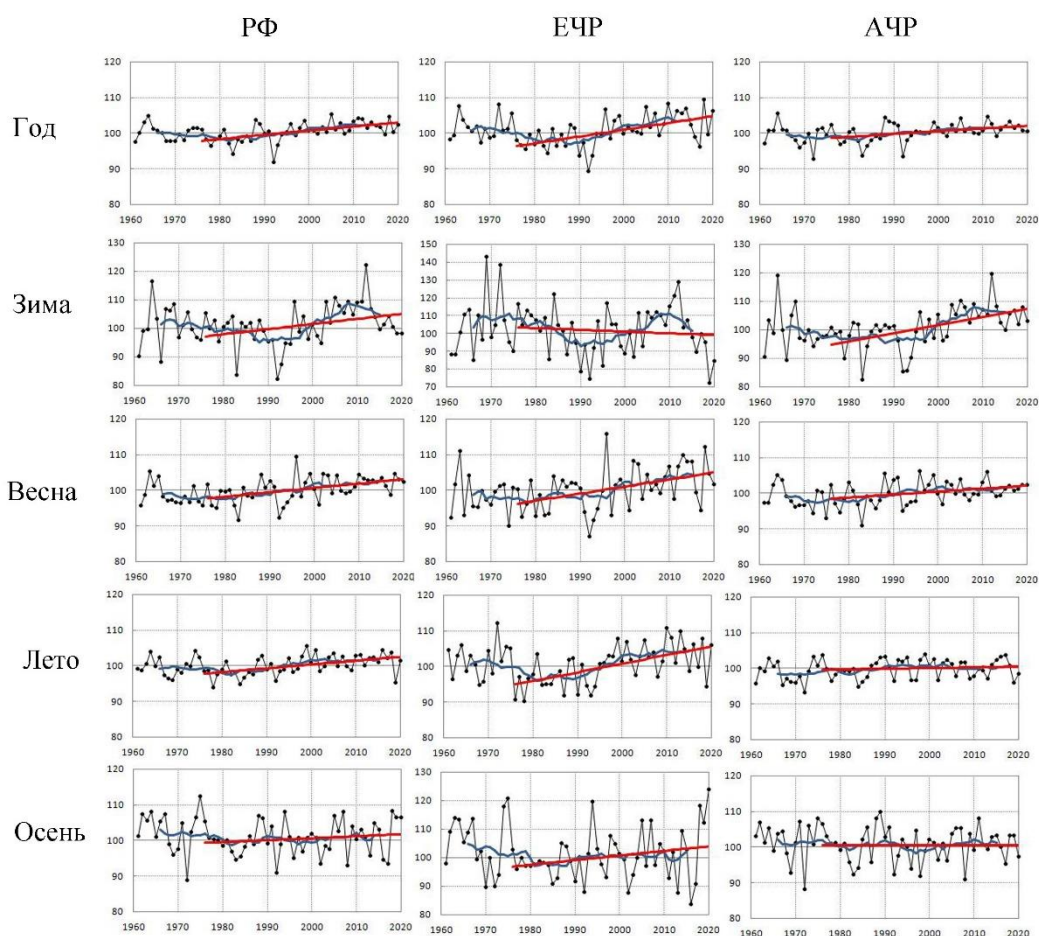


Рисунок 10.7 – Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР

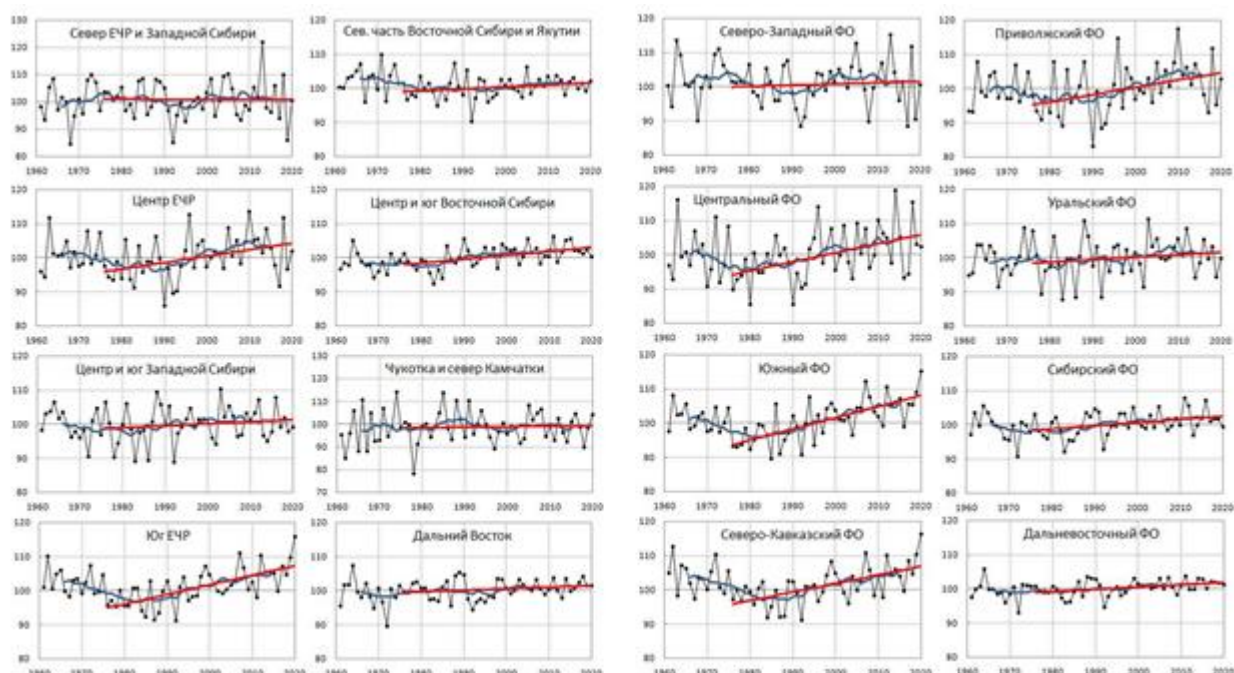


Рисунок 10.8 – Относительные аномалии (%) суммарной за год продолжительности солнечного сияния, осредненной по квази-однородным физико-географическим регионам и федеральным округам РФ

Для ЕЧР в целом тренд, по сравнению с весной, несколько увеличивается, поскольку к значительному тренду в центре и на юге ЕЧР добавляется существенный (3.0%/10 лет) тренд в ПФО. В АЧР летом заметно увеличивается территория с отрицательным трендом, которая становится сопоставима с площадью, занятой положительным трендом. В результате в целом для АЧР тренд летом практически отсутствует (составляет 0.2%/10 лет, вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 1%). В Дальневосточном регионе наблюдается слабый (-1.2%/10 лет), статистически незначимый отрицательный тренд.

В осенний сезон отрицательным трендом занята существенная часть территории страны. Отрицательный тренд является результирующим для целого ряда регионов и ФО как ЕЧР, так и АЧР. Тем не менее, для территории РФ в целом и для ЕЧР средний тренд получается положительным (хотя и статистически не значимым). Статистически значимый положительный тренд сохраняется осенью только на юге ЕЧР: в регионе «Юг ЕЧР» (2.2%/10 лет) и в ЮФО (2.8%/10 лет).

Для того чтобы уточнить роль 2020 г. в многолетних изменениях ПСС, дополнительно проведено сопоставление оценок трендов для двух 30-летних периодов (таблица 10.4).

Таблица 10.4 – Оценки линейного тренда аномалий годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР, b – коэффициент линейного тренда, D – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%)

Сезон	1990-2019			1991-2020		
	$b(ч/10л)$	$b(°/10л)$	D	$b(ч/10л)$	$b(°/10л)$	D
РФ						
Год	27.5	1.4	25	27.4	1.4	24
Зима	9.7	4.5	26	8.2	3.9	19
Весна	8.4	1.3	11	9.5	1.5	14
Лето	5.9	0.8	8	5.1	0.7	6
Осень	3.1	0.9	3	4.0	1.2	5
ЕЧР						
Год	47.4	2.6	24	43.4	2.4	21
Зима	5.8	3.7	5	1.8	1.2	1
Весна	19.5	3.4	20	19.2	3.3	19
Лето	19.1	2.4	17	15.9	2.0	13
Осень	2.8	0.9	1	5.5	1.8	3
Год	16.7	0.9	13	18.7	1.0	17
АЧР						
Зима	12.1	5.0	36	12.0	4.9	35
Весна	2.1	0.3	1	4.0	0.6	4
Лето	-1.7	-0.2	1	-1.1	-0.2	0
Осень	3.1	0.9	3	3.0	0.9	3

Во всех регионах и федеральных округах РФ тренд годовых сумм ПСС в период 1976-2020 гг. был положительный (рисунок 10.8), причем в большинстве из них статистически значимый (см. таблицу 10.3). Исключение составляет регион «Север ЕЧР и Западной Сибири», где отмечается слабый, статистически незначимый отрицательный тренд, но он присутствует во все сезоны, кроме летнего. Оценки для крупных регионов (РФ в целом и две ее части), по сравнению с полученными годом ранее, не изменились. В оценках годовых региональных трендов изменения незначительные. Обращает внимание лишь усиление тренда на юге ЕЧР: в регионе «Юг ЕЧР» от 2.5 до 2.8%/10 лет, в СКФО от 2.2 до 2.5%/10 лет, в ЮФО от 3.0 до 3.8%/10 лет.

Анализ таблицы 10.4 показал, что для территории РФ в целом параметры наблюдающегося положительного тренда суммарной за год ПСС не изменились, при этом зимний и летний тренд уменьшился, а весенний и осенний увеличился. Для ЕЧР отмечается некоторое ослабление тренда годовых сумм ПСС, поскольку уменьшение тренда отмечается для двух сезонов: зимнего и летнего, а усиление только в осенний. При этом следует обратить внимание, что для зимнего сезона в ЕЧР для обоих 30-летних периодов тренд положительный, тогда как для периодов, которые начинаются с 1976 г., имеет отрицательный знак. В АЧР при сравнении 30-летних периодов наблюдается противоположная тенденция: тренд годовых сумм ПСС в последнее 30-тилетие увеличился, на что повлияло усиление положительного тренда в весенний сезон и ослабление отрицательного тренда в летний сезон. Приведенные оценки трендов позволяют сделать вывод, что, несмотря на колебания в оценках сезонных региональных трендов, полученных для различных периодов, общая тенденция к увеличению ПСС на территории РФ в 2020 г. сохраняется неизменной.

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 2020 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 30-летнего 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 2020 г. (зимний сезон включал декабрь 2019 г. и январь-февраль 2020 г.), а также для 2020 г. в целом.

Особенности температурного режима в свободной атмосфере в 2020 г.

В таблице 11.1 приведены значения аномалий температуры за 2020 г. для каждого из 12 месяцев, для двух широтных зон Северного полушария (30-60° с.ш. и 60-90° с.ш.)

Таблица 11.1 - Аномалии температуры за 2020 г. 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	1.78	1.33	0.98	0.42	0.05	-0.70	0.16	-0.81
Февраль	1.63	1.47	1.75	0.78	1.38	-0.37	-1.29	-3.17
Март	1.72	1.45	1.42	1.57	0.62	-0.18	-0.75	-0.53
Апрель	0.06	0.24	0.37	0.90	1.75	1.22	-0.22	-3.19
Май	0.20	0.66	0.62	0.02	1.68	1.42	-0.05	-0.40
Июнь	0.49	0.49	0.36	0.02	1.26	0.45	-0.65	0.16
Июль	0.65	0.71	0.73	-0.78	0.14	0.19	0.17	-0.21
Август	0.82	0.65	0.64	-0.52	0.90	0.20	-0.22	-0.49
Сентябрь	1.24	1.40	1.31	-1.14	1.47	0.77	0.27	-0.67
Октябрь	0.46	0.84	0.88	-0.73	1.28	0.71	0.13	0.15
Ноябрь	1.23	1.20	1.10	-0.95	1.88	1.12	0.43	-1.09
Декабрь	0.56	0.28	-0.07	-0.54	0.34	0.05	-0.49	-1.18

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 в 2020 году наблюдались только положительные аномалии температуры, за исключением декабря на высоте 300 гПа. Наибольшие аномалии наблюдались с января по март, а также в сентябре и ноябре.

Значения аномалий температуры в эти месяцы во всем слое тропосферы превышали

0.98°C и достигали 1.78°C. Наименьшие положительные аномалии температуры в умеренных широтах Северного полушария наблюдались в апреле. Во всем слое тропосферы они не превышали 0.37°C, а на высоте 850 гПа составляли всего 0.06°C. В нижней стратосфере положительные аномалии температуры наблюдались с января по июнь. В мае и июне они составляли всего 0.02°C, а в марте достигали 1.57°C. Наибольшие отрицательные аномалии температуры наблюдались в сентябре и составляли -1.14°C. Также в сентябре наблюдалось наибольшее изменение аномалий температуры с высотой: разность температур на поверхностях 850 гПа и 100 гПа составила 2.38°C.

В высоких широтах в нижних слоях тропосферы преобладали положительные аномалии температуры. На высоте 850 гПа аномалии температуры не превышали 1°C только в январе, марте, июле, августе и декабре. Наибольшие аномалии на высоте 850 гПа наблюдались в мае и ноябре и составляли 1,68°C и 1,88°C соответственно. На высоте 500 гПа с января по март наблюдались отрицательные аномалии температуры, достигавшие 0.70°C в январе. Наибольшие положительные аномалии наблюдались в апреле и мае и достигали 1.42°C. В верхних слоях тропосферы, на высоте 300 гПа, преобладали отрицательные аномалии температуры с максимальным значением -1.29°C в феврале. Положительные аномалии не превышали 0.43°C. В нижней стратосфере высоких широт преобладали отрицательные аномалии температуры, достигавшие -3.17°C и -3.19°C в феврале и апреле соответственно. Положительные аномалии наблюдались только в июне и октябре и не превышали 0.16°C.

Столь существенные различия в величинах аномалий температуры от месяца к месяцу и по вертикали на отдельно рассматриваемых изобарических поверхностях сказываются и на результатах временного обобщения по отдельным сезонам, и на результатах пространственного вертикального обобщения по наиболее часто рассматриваемым слоям свободной атмосферы.

В Таблице 11.2 приведены аномалии температуры, обобщенные для каждого из четырех сезонов 2020 г. (зимний сезон включает период декабрь 2019-февраль 2020 гг.) 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. Более детально вертикально-широтная структура для годовых аномалий температуры в 2020 г. показана на рисунке 11.1, а для аномалий температуры отдельных сезонов 2020 г. – на рисунке 11.2. На них, в частности, видно, что весной 2020 г. в умеренных широтах

Таблица 11.2 – Аномалии температуры в тропосфере и нижней стратосфере от норм 1981-2010 гг., ΔT_{2020} - величина аномалии в градусах Цельсия, R (-R) – ранг (обратный ранг) в рядах, упорядоченных по возрастанию значений соответствующих аномалий за период 1958-2020 гг.

аномалии за период 1956-2020 гг.

Сезон	0-30 С.Ш.		30-60 С.Ш.		60-90 С.Ш.		Северное полушарие	
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
	ΔT_{2020}	-R	ΔT_{2020}	-R	ΔT_{2020}	-R	ΔT_{2020}	-R
Зима	0.96	1	1.35	1	0.09	29	1.13	1
Весна	0.72	2	0.75	4	0.83	3	0.74	3
Лето	0.63	1	0.63	5	0.35	18	0.61	4
Осень	0.86	1	1.09	1	0.95	4	1.01	1
Год	0.78	1	0.90	1	0.51	8	0.83	1
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа								
	ΔT_{2020}	R	ΔT_{2020}	R	ΔT_{2020}	R	ΔT_{2020}	R
Зима	-0.85	11	0.26	30	-1.45	11	-0.22	16
Весна	-0.29	24	0.75	48	-0.58	15	0.33	36
Лето	-2.21	1	-0.89	5	-0.09	21	-1.21	2
Осень	-1.41	6	-1.18	3	-0.71	2	-1.21	2
Год	-1.05	5	-0.23	21	-0.73	8	-0.52	13

положительные аномалии температуры наблюдались во всем слое атмосферы от 850 до 50 гПа. На рисунке 11.3 представлены посезонно ранги 10 самых теплых в тропосфере и 10 самых холодных в нижней стратосфере лет, причем отдельно выделено положение 2020 г. В тропосфере 2020 г. стал рекордно теплым в низких широтах как в среднем за год, так и в отдельные сезоны, за исключением весны. Весенняя положительная аномалия температуры составляет 0.72°C и уступает только 2010 году. В умеренных широтах рекордно большие аномалии температуры наблюдались зимой (1.35°C) и осенью (1.09°C), а также в среднем за год (0.90°C). Весна и лето 2020 г. в умеренных широтах вошли в

пятерку самых теплых соответствующих сезонов начиная с 1958 г. В высоких широтах большие значения положительных аномалий температуры наблюдались весной (0.83°C) и осенью (0.95°C), что позволило им стать 3 и 4 самыми теплыми сезонами. В среднем по северному полушарию рекордно большие аномалии температуры наблюдались зимой (1.13°C) и осенью (1.01°C).

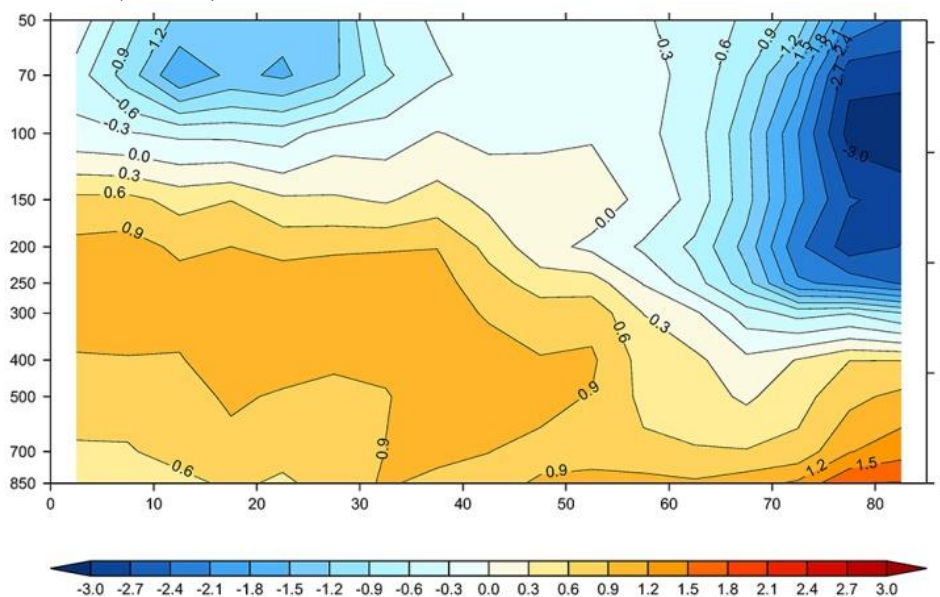


Рисунок 11.1 - Вертикально-широтная структура годовых аномалий температуры свободной атмосферы в 2020 г. Горизонтальная ось – широты, левая вертикальная ось – давление на стандартных изобарических поверхностях, правая вертикальная ось – высоты над уровнем моря, в км.

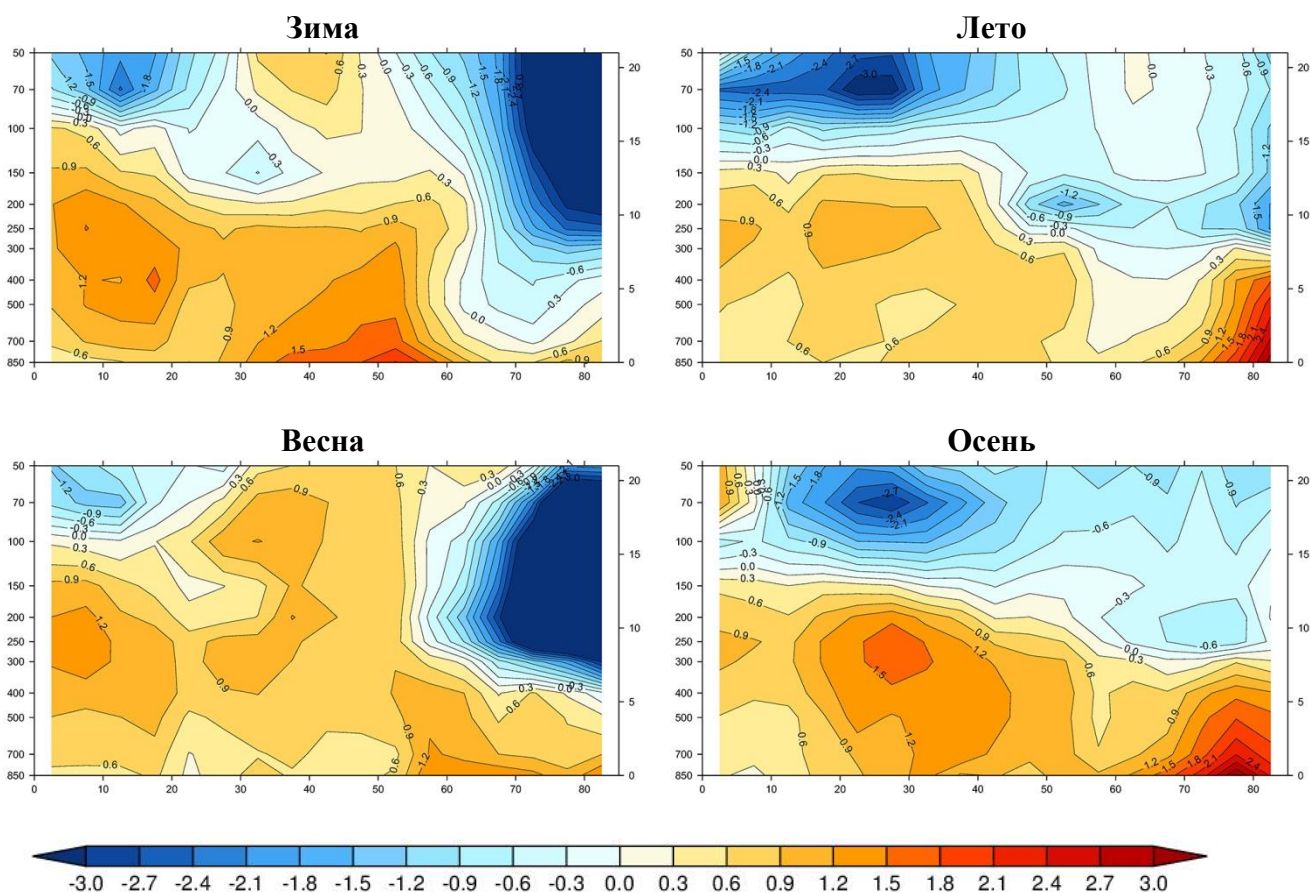


Рисунок 11.2 - То же, что на рис 11.1, но для отдельных сезонов (зима 2019-2020 гг., весна, лето и осень 2020 г.).

Весна и лето 2020 г. также заняли 3 и 4 место в рядах самых теплых сезонов. 2020 г. стал самым теплым в тропосфере всего Северного полушария за период начиная с 1958 г. Аномалия температуры составила 0.83°C , что на 0.18°C больше предыдущего рекорда 2016 г.

В нижней стратосфере в низких и высоких широтах наблюдались только отрицательные аномалии температуры. Лето 2020 г. в низких широтах стало рекордно холодным с 1958 г. Аномалия температуры составила -2.21°C . Осень 2020 г. в высоких широтах стала второй самой холодной с 1958 г. с аномалией температуры -0.71°C , уступающей только осени 2012 г. В умеренных широтах зимой и весной наблюдались положительные аномалии температуры, достигавшие 0.75°C , а лето и осень вошли в пятерку самых холодных сезонов. В среднем по северному полушарию лето и осень стали вторыми в рядах самых холодных сезонов, а весной наблюдалась положительная аномалия температуры, составляющая 0.33°C . Несмотря на холодные лето и осень, 2020 г. в целом для нижней стратосферы не вошел в 10 самых холодных лет, а годовая аномалия температуры составила -0.52°C .

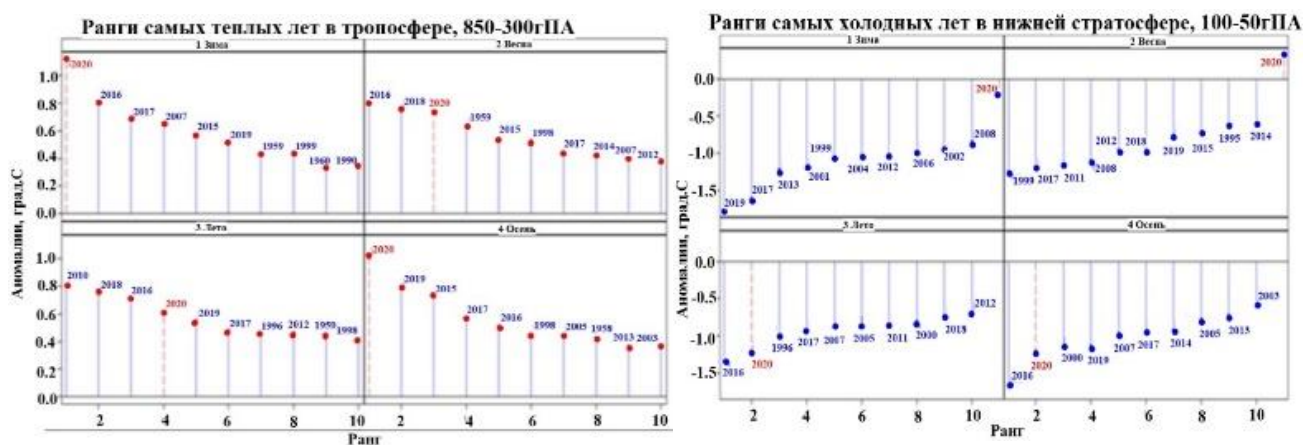


Рисунок 11.3 - Ранги самых значительных сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1958-2020 гг. Левая панель – положительные аномалии, тропосфера (850-300 гПа), правая панель – отрицательные аномалии, нижняя стратосфера (100-50 гПа). Обозначения сезонов по аналогии с рис. 11.2, 2020 г. 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 рисунке 11.4, где наряду с рядами сезонных аномалий представлены линии трендов.

Таблица 11.3 содержит значения линейных трендов, вычисленных за период 1981-2020 гг. на основе рядов сезонных и годовых аномалий отдельных широтных зон и Северного полушария в целом для тропосферы и нижней стратосферы соответственно.

Как следует из таблицы 11.3, в тропосфере тенденции потепления во всех широтных зонах всех сезонов статистически значимы.

По сравнению с 2019 годом тренды температуры во всех широтных зонах всех сезонов увеличились, за исключением зимы и лета в высоких широтах. Наибольшее увеличение значений тренда (на $0.04^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдалось зимой в умеренных широтах, и это привело к тому, что тренд по обновленному ряду стал статистически значимым. В среднем по северному полушарию за счет удлинения рядов увеличились все положительные тренды за исключением летнего. При этом значения трендов изменения температуры составили от $0.17^{\circ}\text{C}/10$ лет зимой до $0.20^{\circ}\text{C}/10$ лет осенью. Среднегодовой

тренд температуры в тропосфере увеличился, по сравнению с прошлым годом, и составил $0.19^{\circ}\text{C}/10$ лет.

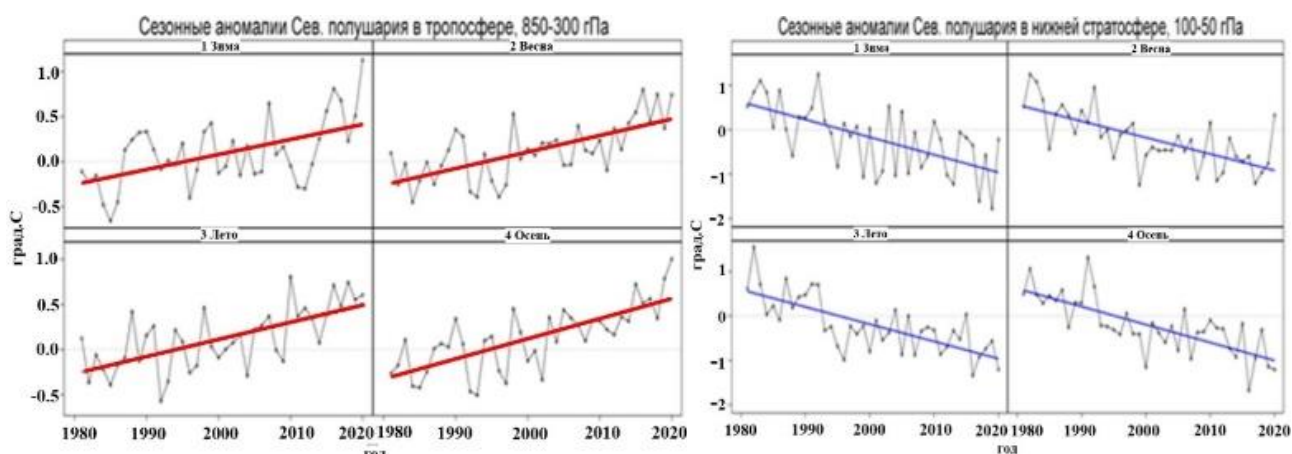


Рисунок 11.4 - Ряды сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1981-2020 гг. Левая панель – тропосфера (850-300 гПа), правая панель – нижняя стратосфера (100-50 гПа). Линии трендов построены методом наименьших квадратов для тропосферы (красный цвет) и нижней стратосферы (синий цвет). Обозначения сезонов по аналогии с рис. 11.2.

Для нижней стратосферы очевидное статистически значимое похолодание имеет место для всех осуществленных вариантов оценки тренда, за исключением зимнего сезона в высоких широтах. Зимние тренды уменьшились по абсолютному значению в низких и умеренных широтах, а в высоких широтах зимний тренд увеличился с $-0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет до $-0.06^{\circ}\text{C}/10$ лет. Весенние тренды уменьшились во всех широтных зонах. Летний тренд в низких широтах увеличился с $-0.50^{\circ}\text{C}/10$ лет до $-0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет, а в высоких широтах уменьшился. Осенний тренд вырос по сравнению с 2019 г. в низких широтах. В среднем по северному полушарию уменьшились абсолютные значения зимнего и весеннего трендов, а абсолютные значения летнего тренда увеличились. В северном полушарии скорость стратосферного похолодания составляла от $-0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет зимой до $-0.37^{\circ}\text{C}/10$ лет весной. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере уменьшилось, по сравнению с предыдущим годом, и составило $-0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет. Скорость уменьшения температуры воздуха в нижней стратосфере убывает с увеличением широты.

Таблица 11.3 – Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2020 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	0.21	38	0.15	13	0.15	24	0.17	28
Весна	0.12	17	0.22	42	0.17	19	0.18	45
Лето	0.10	19	0.23	44	0.23	34	0.19	44
Осень	0.13	21	0.22	43	0.25	36	0.20	49
Год	0.14	34	0.22	55	0.20	45	0.19	54
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа								
Зима	-0.65	49	-0.32	20	-0.06	0	-0.40	39
Весна	-0.52	53	-0.30	27	-0.34	13	-0.37	47
Лето	-0.54	54	-0.34	43	-0.21	31	-0.39	53
Осень	-0.59	47	-0.32	46	-0.21	36	-0.39	55
Год	-0.57	67	-0.32	54	-0.22	18	-0.39	66

Выводы

В тропосфере северного полушария 2020 г. принес несколько рекордов. В целом 2020 г. в тропосфере всего северного полушария стал рекордно теплым годом с 1958 г. Среднегодовая аномалия температуры составила 0.83°C , что на 0.18°C больше предыдущего рекорда 2016 г. Таким образом, подряд идущие 2015-2020 гг. являются

шестью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере северного полушария.

Также в 2020 г. имели место рекордно большие аномалии температуры тропосферы для отдельных сезонов и отдельных широтных зон северного полушария. В 2020 г. наблюдались рекордно большие аномалии температуры зимой (1.13°C) и осенью (1.01°C). Весна и лето заняли 3 и 4 место в рядах самых теплых сезонов. Рекордные аномалии температуры наблюдались и в отдельных широтных зонах. В низких широтах каждый сезон, за исключением весны, был рекордно теплым. Весна 2020 г. в низких широтах стала второй самой теплой весной с начала инструментальных наблюдений.

В нижней стратосфере рекордно низкие аномалии температуры наблюдались летом 2020 г. в низких широтах (-2.21°C). Зима и весна 2020 г. не вошли в 10 самых холодных сезонов для нижней стратосферы ни в одной широтной зоне. В умеренных широтах зимой и весной наблюдались положительные аномалии температуры, достигавшие 0.75°C . В среднем по северному полушарию весной наблюдались положительные аномалии температуры (0.33°C), а лето (-1.21°C) и осень (-1.21°C) стали вторыми самыми холодными сезонами с начала инструментальных наблюдений. Годовая аномалия температуры при этом составила -0.52°C и не вошла в 10 самых холодных лет с 1958 г.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 г. по 2020 г., подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере. Добавление оценок аномалий за 2020 г. к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2019 г. включительно, привело к увеличению абсолютных значений зимнего, весеннего и осеннего трендов в тропосфере, а также летнего тренда в нижней стратосфере. Абсолютные значения зимнего и весеннего трендов в нижней стратосфере уменьшились, по сравнению с предыдущим годом. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере увеличился на $0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет и составил $0.19^{\circ}\text{C}/10$ лет. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере уменьшилось, по сравнению с предыдущим годом, на $0.01^{\circ}\text{C}/10$ и составило $-0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет.

12. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА

Мониторинг скорости приземного ветра подготовлен на основе данных из архива Госфонда и данных оперативного потока, собираемых по каналам связи ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с метеорологических станций и постов (≈ 1550 пунктов наблюдений). Нормативные характеристики, используемые для определения аномальности и экстремальности режима ветра в 2020 г., рассчитаны за 30-летний период с 1981 г. по 2010 г. Анализ многолетних изменений режима приземного ветра проводился по осредненным для 9 квазиоднородных климатических регионов характеристикам ветра. Регионы обозначены на рисунке 3 (Введения).

Пространственное распределение максимальной скорости ветра, полученной из средних за 10-минутный интервал времени, представлено на рисунке 12.1а. Максимальная из средних скоростей ветра 15 м/с и выше наблюдалась в 2020 г. по всей территории страны, кроме обширной зоны на ЕЧР, которая протянулась от западных границ до Прикамья, и на АЧР в Эвенкии, Тыве, верхнем и среднем течении реки Лены. На арктических островах, арктическом побережье Таймыра, побережье Анадырского залива максимальная из средних скоростей ветра превысила 20 м/с. Наибольшее число дней со средней скоростью ветра ≥ 15 м/с (рисунок 12.1в), как и в предыдущие годы, отмечалось на метеостанции (далее – мс) Мыс Лопатка. В 2020 г. это число равно 156, что на 4 дня больше, чем 2019 г. На о. Новая Земля (мс Малые Кармакулы) было 88 дней с сильным ветром (≥ 15 м/с), что на 2 дня меньше, чем 2019 г. На рисунке 12.1в можно заметить, что наиболее высокая повторяемость дней с сильным ветром среди пунктов, удаленных от

морских побережий, наблюдалась на Алтае (мс Кара-Тюрек) – 54 дня, что на 10 дней больше значения предыдущего года.

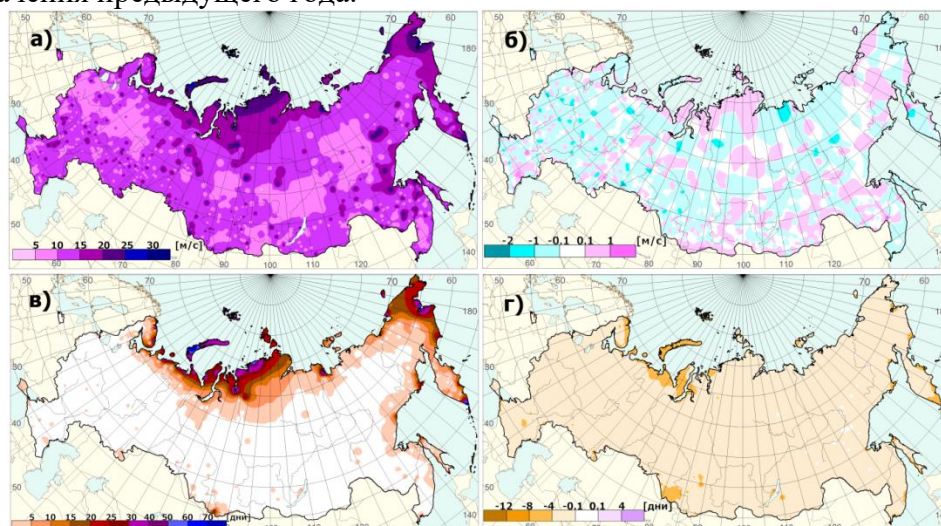


Рисунок 12.1 - а) Максимальная скорость ветра за 2020 г. (без учета порывов); б) Аномалии среднегодовой скорости ветра в 2020 г.; в) Число дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2020 г.; г) Аномалии (отклонение от средних многолетних значений) числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2020 г.

На всей территории страны преобладали отрицательные аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с (рисунке 12.1г). Наибольшая отрицательная аномалия числа дней с сильным ветром в 2020 г. получена на мс Малокурильское (Курильские острова) и составила -12.15 дня. Также значительные отклонения от средних многолетних значений наблюдались на Камчатке (мс Петропавловский Маяк), на о. Итуруп (мс Курильск), в Республике Хакасия (мс Ненастная), во Владивостоке, на Сахалине (мс Мыс Крильон) и на острове Монерон. Положительные аномалии числа дней со скоростью ветра больше (или равно) 15 м/с, наблюдались исключительно в Дальневосточном федеральном округе и не превышали значения в 0.23 дня.

Отклонения среднегодовой скорости ветра от среднемноголетних значений в 2020 году на территории РФ преимущественно отрицательные (рисунке 12.1б). Максимальные по абсолютной величине отрицательные значения, так же, как и в прошлом году, отмечаются на мс Невельск и Курган (-2.26 и -2.02 м/с соответственно). Наиболее обширная зона положительных аномалий протянулась вдоль побережья Карского моря. Максимальные положительные аномалии наблюдались на мс Воейково (1.7 м/с) Ленинградской области и в Хабаровске (1.67 м/с).

Распределение аномалий скорости ветра по сезонам отражено на рисунке 12.2. Весной преобладают положительные аномалии, летом – отрицательные. Во все сезоны, кроме лета, максимальные положительные аномалии скорости ветра отмечены на побережье Таймыра. Значительные отрицательные аномалии отмечались на мс Невельск зимой (-2.65 м/с), весной (-2.29 м/с), осенью (-2.26 м/с) и на мс Тюмети (Якутия) летом (-2.14 м/с). Наибольшее положительное отклонение от среднемноголетних значений отмечалось зимой на мс Воейково (Ленинградская область) и составило 2.74 м/с. Весной, летом и осенью наибольшие аномалии отмечались на мс Моржовец Архангельской области (2.24 м/с), Южно-Сухокумск (1.91 м/с) и остров Тюлений (Дагестан) со значением 2.36 м/с.

Количество дней с экстремальным ветром (скорость ветра выше значения, соответствующего 95-му процентилу) в 2020 г. на территории РФ отмечено цифрами на рисунке 12.2. Наибольшее количество таких дней наблюдались на метеостанции Саняхтат (Якутия): зимой, весной и летом – по 6 дней в каждом календарном сезоне. Осенью наибольшее число дней с экстремальным ветром отмечается на мс Борогонцы (Якутия) – 6 дней.

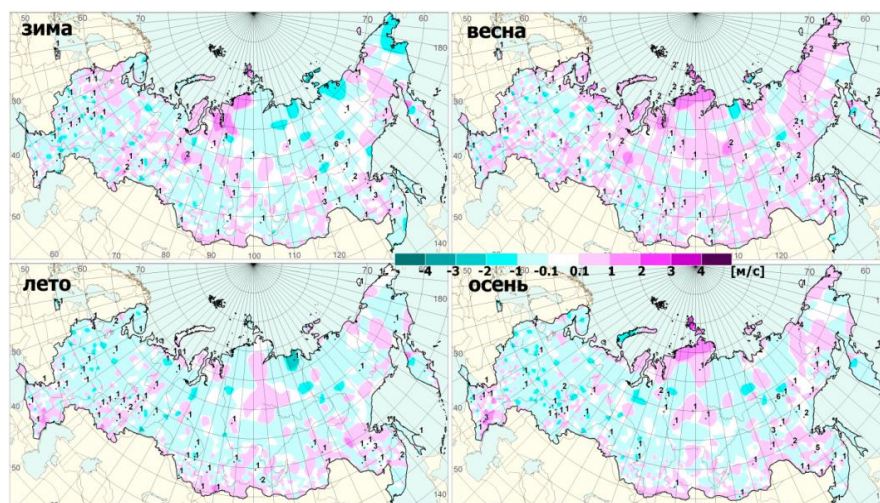


Рисунок 12.2 - Аномалии средней скорости ветра. Точками и цифрами обозначены станции, на которых скорость ветра превышала 95-й процентиль и число дней с такой экстремальной скоростью ветра.

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 1976-2020 гг., которые рассчитаны, по данным станционных наблюдений, показано на рисунках 12.3 и 12.4. Тренд выражен в м/с за 10 лет и в днях за 10 лет соответственно.

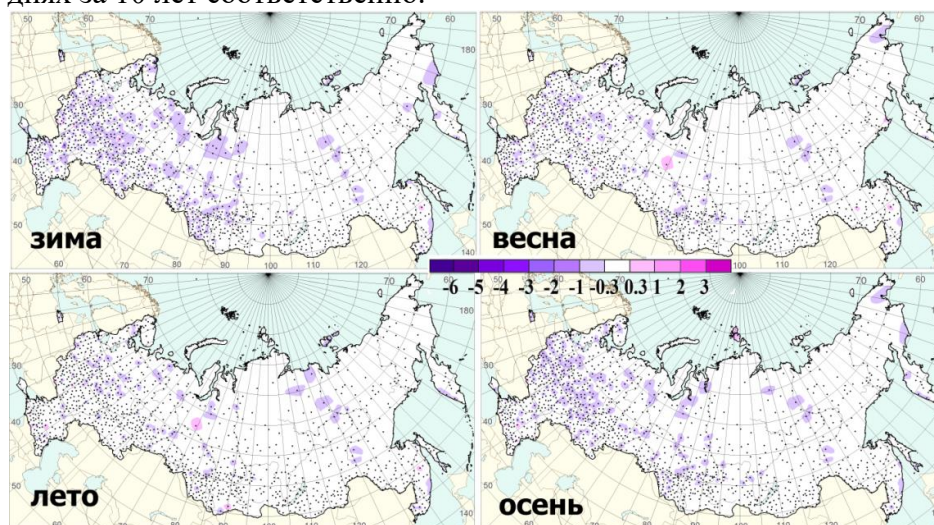


Рисунок 12.3 – Коэффициенты линейного тренда ((м/с)/10 лет) в рядах средней скорости ветра (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2020 гг.

Тенденции изменения средней скорости ветра практически не изменились во все сезоны по сравнению с периодом 1976-2019 гг. Можно отметить только тенденцию уменьшения средней скорости ветра, которая проявилась зимой и осенью на севере Камчатского края. 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 Волгоградской области 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 территории РФ (рисунок 12.4). Наибольшие изменения по сравнению с периодом 1976-2019 гг. выявлены зимой. Значительно усилилась тенденция уменьшения числа дней с сильным ветром на севере Камчатского

края и южных районах Чукотского АО, а в северных районах Западной Сибири и на востоке Таймыра уменьшение замедлилось. Только в 7 пунктах наблюдений для всех сезонов отмечается положительный коэффициент линейного тренда. Наибольшие значения получены за осенне-зимний период для метеостанции Улья (Хабаровский край), весной – для мс Певек (Чукотский АО). Максимальный по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда (-5.8 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).

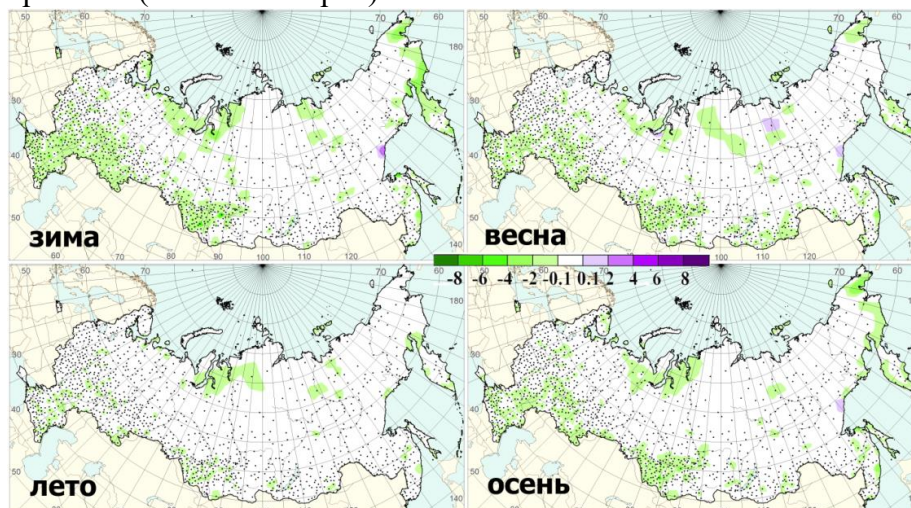


Рисунок 12.4 – Коэффициенты линейного тренда (день/10 лет) в рядах числа дней со скоростью больше 15 м/с (статистически значимые на 5%-м уровне значимости). 1976-2020 гг.

При оценке региональных изменений получено, что во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается (таблица 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. По двум представленным характеристикам положительные значимые оценки линейного тренда получены для зимнего периода на севере Восточной Сибири и Якутии.

Таблица 12.1 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-м уровне значимости) регионально осредненных характеристик ветра для регионов России за 1976-2020 гг.: bV , (м/с)/10 лет – средней сезонной скорости ветра; bNd , дни/10 лет – числа дней со скоростью ветра больше 15 м/с.

Регион	bV				bNd			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Россия	-0.16	-0.11	-0.11	-0.15	-0.28	-0.12	-0.12	-0.29
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0.23	-0.18	-0.18	-0.21	-0.74	-0.32	-0.32	-0.76
Север Восточной Сибири и Якутии	-0.11	-0.13	-0.13	-0.10	0.35			
Чукотка и север Камчатки	-0.24			-0.18	-1.39			-0.93
Центр ЕЧР	-0.24	-0.15	-0.15	-0.24	-0.91	-0.20	-0.20	-0.41
Центр и юг Западной Сибири	-0.22	-0.12	-0.12	-0.18	-1.06	-0.32	-0.32	-0.94
Центр и юг Восточной Сибири	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05				
Дальний Восток	-0.12	-0.09	-0.09	-0.13	-0.82	-0.37	-0.37	-0.87
Алтай и Саяны	-0.08			-0.06				
Юг ЕЧР	-0.17	-0.08	-0.08	-0.12	-1.68	-0.37	-0.37	-0.58

Выводы. На всей территории страны преобладали отрицательные аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с. Отклонения среднегодовой скорости ветра от

среднемноголетних значений в 2020 г. на территории РФ преимущественно отрицательные. При этом весной преобладают положительные аномалии, летом – отрицательные. Во все сезоны, кроме лета, максимальные положительные аномалии скорости ветра отмечены на побережье Таймыра.

Тенденции изменения средней скорости ветра практически не изменились во все сезоны по сравнению с периодом 1976-2019 гг. В изменении числа дней с сильным ветром (более 15 м/с) наибольшие изменения по сравнению с периодом 1976-2019 гг. выявлены зимой.

13. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Ветровой режим является одной из важнейших характеристик метеорологических параметров атмосферы. Ветер определяет погодно-климатические условия и их изменения, а также перенос количества движения, тепла и влаги. Ветер в свободной атмосфере входит в число основных параметров, рекомендованных Всемирной метеорологической организацией для климатического мониторинга.

Для анализа ветрового режима свободной атмосферы 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 2020 г. включал декабрь 2019 г. и январь-февраль 2020 г.) и для 2020 г. 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 рисунках 13.1 и 13.2 изображены годовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в тропосфере. В целом за 2020 г. над всей территорией России в тропосфере аномалии скорости ветра были в пределах от -1 до 1 м/с. Положительные аномалии преобладали над европейской частью России, Западной Сибирью и над Чукотским автономным округом. Аномалии скорости ветра больше 1 м/с наблюдались только на северо-западе европейской части России. Аномалий направления ветра в среднем за год не наблюдалось.

Зимой 2020 г. в тропосфере над европейской частью России преобладали положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 4 м/с на северо-западе. На юге Уральских гор наблюдались небольшие отрицательные аномалии скорости ветра. Над азиатской частью России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра, достигавшие -2 м/с севернее 65° с.ш. Положительные аномалии скорости ветра наблюдались на юге Дальнего Востока, а также в районе восточного побережья Чукотки и Камчатки. Направление ветра над всей территорией России соответствовало климатическому.

Весной 2020 г. в тропосфере положительные аномалии скорости ветра преобладали над всей территорией России. На юго-западе европейской части России они достигали 4 м/с. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на юге Сибири, на юге Приморья и на севере Охотского моря. На востоке европейской части России наблюдались значительные положительные аномалии меридионального ветра, а над Восточной Сибирью – отрицательные аномалии меридионального ветра. Аномалии направления вызваны аномалиями меридионального ветра в апреле и мае. В марте направление ветра соответствовало климатическому, но при этом наблюдались большие положительные аномалии зонального ветра на востоке европейской части России.

Летом 2020 г. над большей частью территории России в тропосфере преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. Наибольшие отрицательные аномалии, достигавшие -2 м/с, наблюдались над Восточной Сибирью и на Юге России. Наибольшие положительные аномалии (до 2 м/с) наблюдались на северо-западе европейской части России и на севере Чукотского автономного округа. Также положительные аномалии скорости ветра наблюдались в Приморье и над Западной Сибирью. Направление ветра в среднем за сезон соответствовало климатическому, но над Восточной Сибирью из-за отрицательных аномалий зонального ветра доминирующее направление ветра отсутствовало. В отдельные месяцы направление ветра отличалось от среднего: в июне и августе над европейской частью России преобладало северо-западное направление, а в июле – юго-западное. Также в августе на северо-западе Дальнего Востока наблюдалось северное направление ветра.

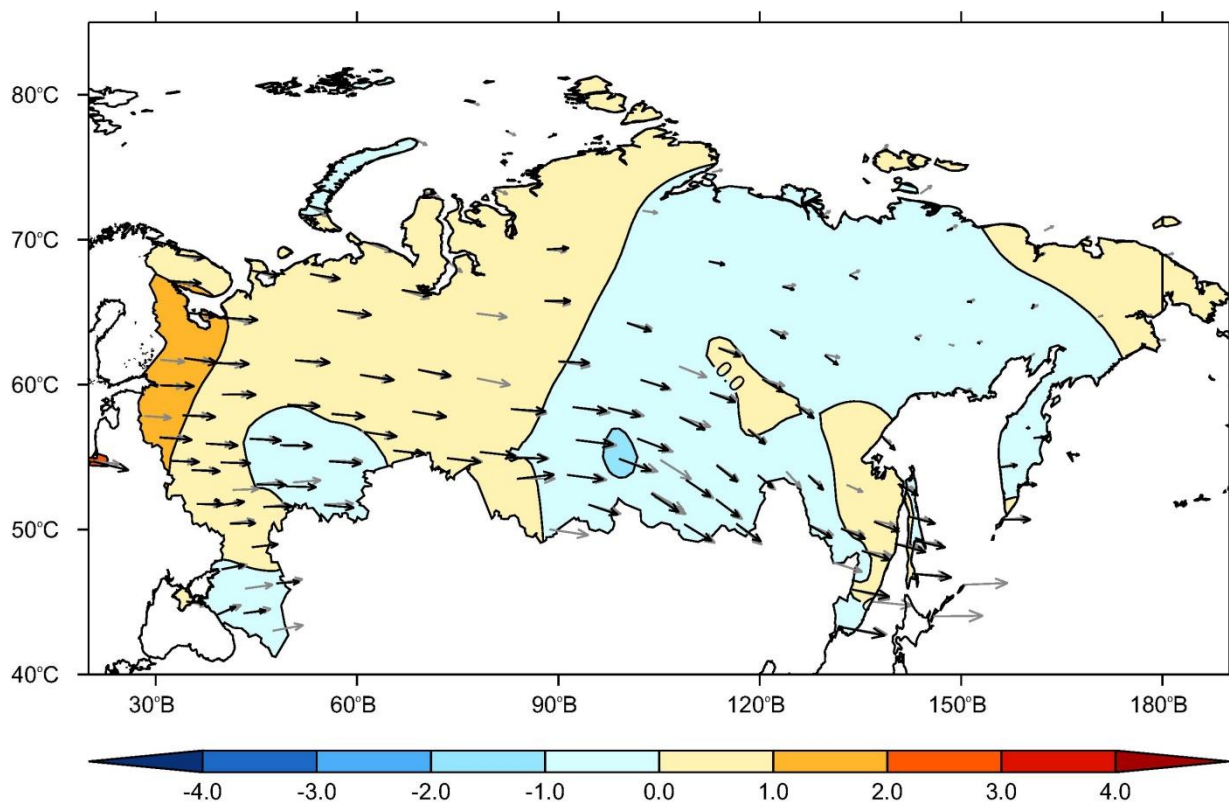


Рисунок 13.1 – Аномалии скорости ветра в 2020 г. в тропосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2020 г., серые – за период 1985-2014 гг.

Осенью 2020 г. отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались над большей частью территории России. Над Восточной Сибирью и на юге России они достигали -2 м/с. Положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 2 м/с, наблюдались на западе европейской части России и севернее 70° с.ш. Небольшие положительные аномалии наблюдались также на севере Дальнего Востока, на юге Приморья и на юге Камчатки. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но на юге Уральских гор наблюдалось северо-западное направление ветра. Такое же направление наблюдалось в

сентябре и октябре. В октябре наблюдалось юго-западное направление ветра на западе европейской части России.

На рисунках 13.3 и 13.4 показаны среднегодовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в нижней стратосфере. В целом за 2020 г. практически над всей территорией России преобладали положительные аномалии скорости ветра, превышавшие 3 м/с севернее 60° с.ш. Отрицательные аномалии наблюдались только на юге России. Значительных аномалий направления ветра в среднем за год не наблюдалось.

Зимой 2020 г. в нижней стратосфере небольшие отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались только на юге России и в районе моря Лаптевых. Над остальной территорией России наблюдались большие положительные аномалии скорости ветра. В широтной полосе 60–70° с.ш. они превышали 6 м/с, а над северо-западом европейской части России и над Восточно-Сибирским морем 9 м/с. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но на севере Дальнего Востока из-за положительных аномалий зонального ветра направление ветра было смещено восточнее от среднего направления.

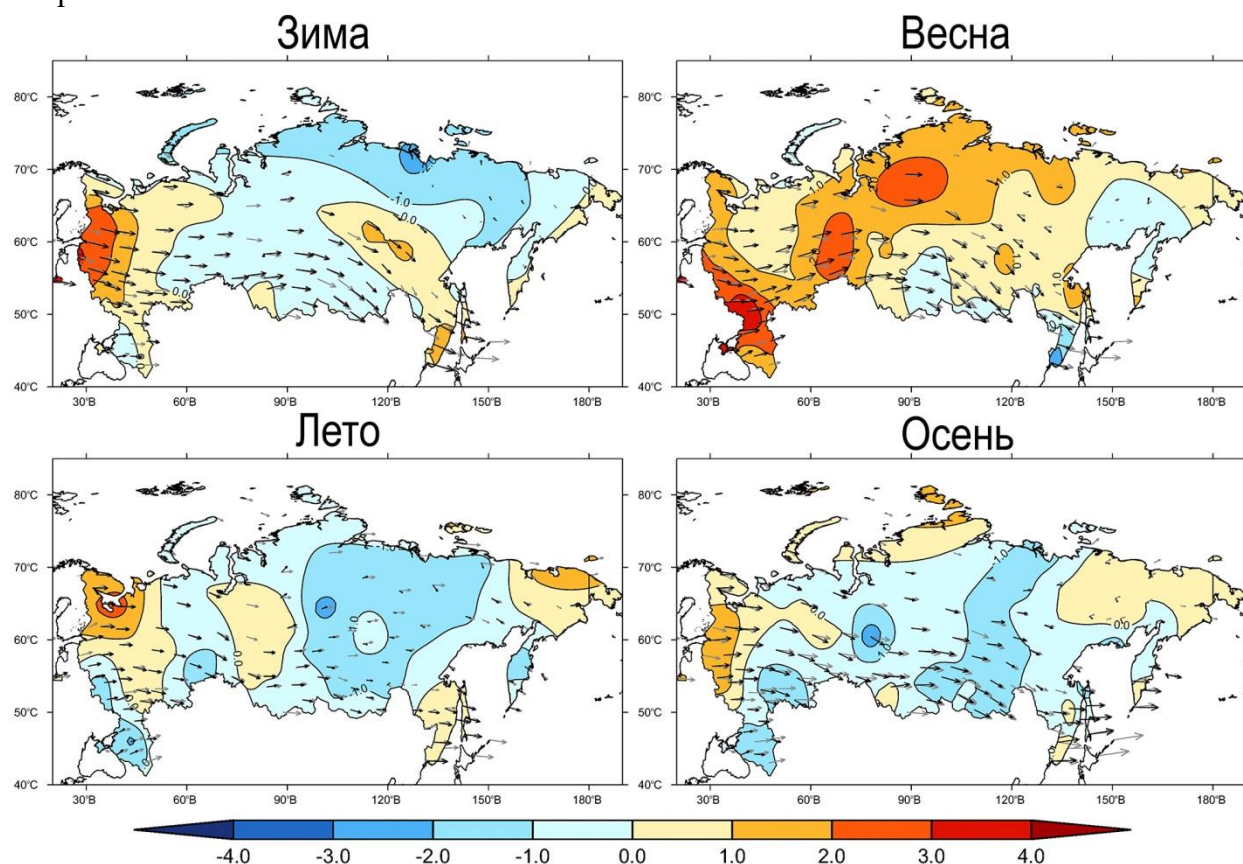


Рисунок 13.2 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2019-2020 гг., весна, лето и осень 2020 г.) в тропосфере.

Весной 2020 г. в нижней стратосфере небольшие отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались только на юге Приморья и над Кавказскими горами. Над остальной территорией России наблюдались большие положительные аномалии скорости ветра. На севере Западной Сибири и над Восточно-Сибирским морем они превышали 12 м/с. Большие весенние аномалии скорости ветра вызваны большими аномалиями за март и апрель. В марте аномалии скорости ветра превышали 10 м/с над всей территорией России севернее 63° с.ш., а над Карским морем они превышали 20 м/с. В апреле аномалии скорости ветра, превышавшие 10 м/с, наблюдались в широтной полосе 55–70° с.ш. В мае аномалии скорости ветра над большей частью России не превышали 5 м/с. Большие аномалии наблюдались только над Центральной Сибирью. Направление ветра весной на северо-востоке европейской части России и над Западной Сибирью было смещено

севернее от климатического, и наблюдался западный ветер. На севере Дальнего Востока наблюдался юго-западный ветер.

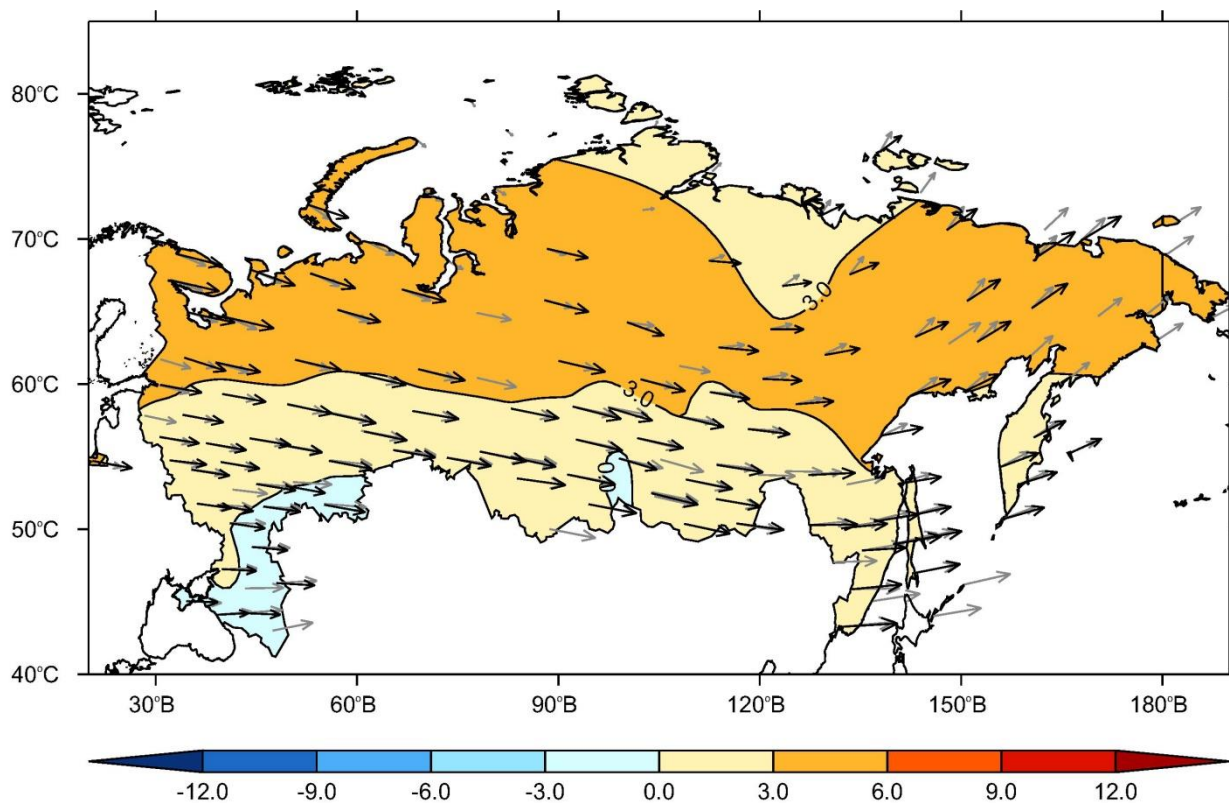


Рисунок 13.3 – Аномалии скорости ветра в 2020 г. в нижней стратосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2020 г., серые – за период 1985-2014 гг.

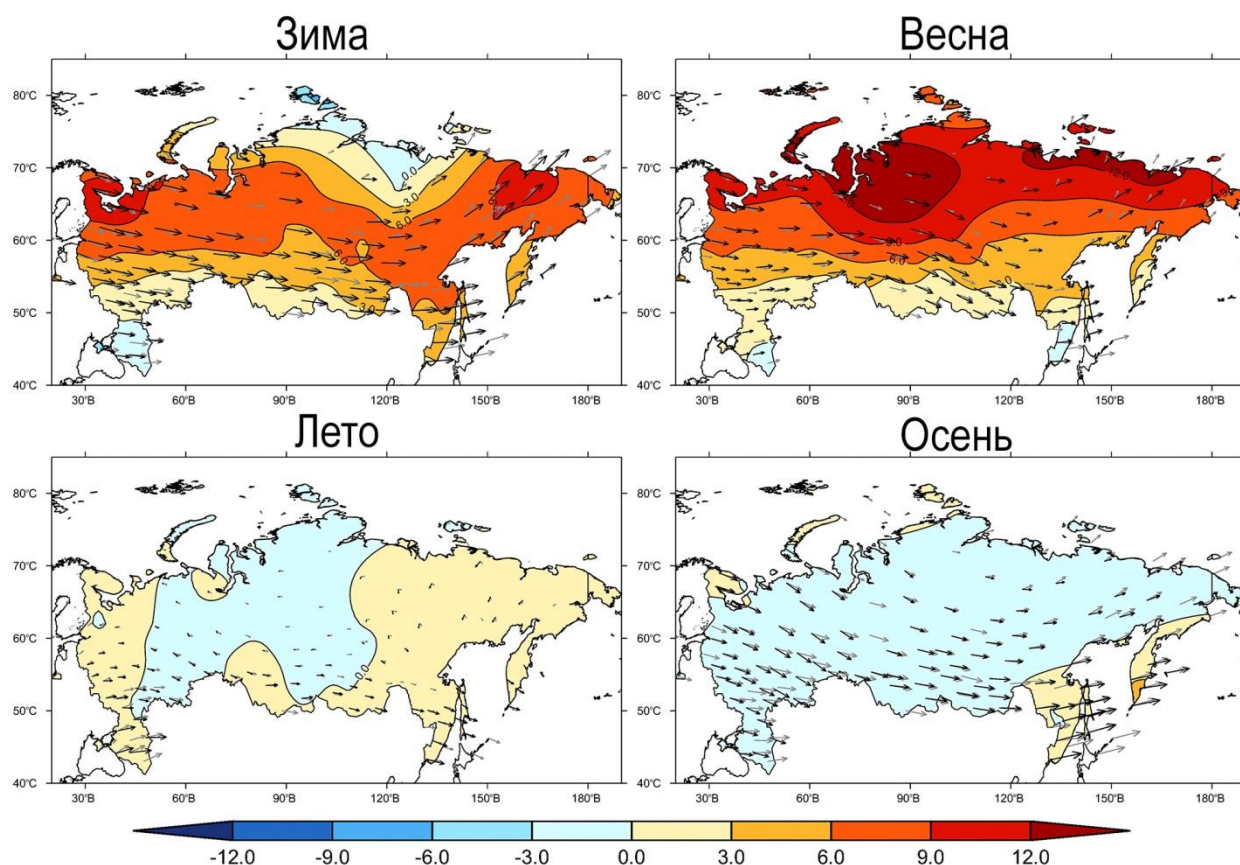


Рисунок 13.4 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2019-2020 гг., весна, лето и осень 2020 г.) в нижней стратосфере.

Летом 2020 г. в нижней стратосфере аномалии скорости ветра не превышали 3 м/с по модулю. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на востоке европейской части России и над Сибирью. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, только на Юге России направление было смещено южнее среднего, и наблюдался западный ветер.

Осенью 2020 г. в нижней стратосфере практически над всей территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, не превышавшие -3 м/с. Положительные аномалии скорости ветра наблюдались только над Камчаткой, Приморьем, над Кольским полуостровом и над Карским морем. На востоке европейской части России и на западе Западной Сибири из-за отрицательных аномалий меридионального ветра наблюдалось северо-западное направление ветра. Над остальной территорией России направление ветра соответствовало климатическому.

Таким образом, в 2020 г. в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались на северо-западе европейской части России. Там наблюдалась область максимальных аномалий скорости ветра в зимний, летний и осенний периоды. Весной области максимальных аномалий скорости ветра наблюдались на Юге России, на западе и на севере Сибири. Зимой, летом и осенью над большей частью территории России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому, но весной на востоке европейской части России наблюдались значительные положительные аномалии меридионального ветра, а осенью в этом же районе – отрицательные аномалии меридионального ветра. Также отрицательные аномалии меридионального ветра наблюдались весной над территорией Восточной Сибири.

В нижней стратосфере в среднем за год над Россией преобладали положительные аномалии скорости ветра. На широтах выше 60° с.ш. они превышали 3 м/с. Такие аномалии объясняются большими положительными аномалиями скорости ветра над большей частью территории России в зимний и весенний периоды. Зимой аномалии скорости ветра достигали 12 м/с, а весной в отдельных регионах превышали 12 м/с. Летом и осенью аномалии скорости ветра не превышали 3 м/с по абсолютному значению. Осенью практически над всей территорией России преобладали отрицательные аномалии. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но на севере Дальнего Востока из-за положительных аномалий зонального ветра среднегодовое направление ветра было смещено восточнее от среднего направления. Такая же аномалия направления наблюдалась зимой, весной и осенью.

14. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Анализ изменчивости концентрации парниковых газов выполнен на основе результатов измерений в приземном слое атмосферы на пяти станциях. Три станции (Териберка, Тикси, Новый порт) расположены в Арктической зоне РФ. Программу измерений на этих станциях курирует ФГБУ «ГГО», выполняя измерения в соответствии с требованиями ВМО, что подтверждено результатами официальных сравнений ВМО по парниковым газам (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/wmorr/>). Две станции расположены в центральном районе ЕЧР: Обнинск (ФГБУ «НПО «Тайфун») и Приокско-Тerrasный биосферный заповедник – ПТБЗ (ФГБУ «ИГКЭ»). На станции Обнинск, кроме измерений ПГ в приземном слое атмосферы, выполняются измерения общего содержания во всей толще атмосферы, представлены также данные измерений закиси азота. Характеристики станций приведены в таблице 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 центр данных по

Таблица 14.1 - Станции мониторинга концентрации парниковых газов в приземном слое и общего содержания 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	OC CO ₂ и CH ₄

парниковым газам (WDCGG). Станции Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ подвержены влиянию региональных источников, которое было рассмотрено в Докладе об особенностях климата на территории РФ за 2019 г.

Для сравнения полученных результатов привлечены данные станции Национального Управления США по вопросам Океана и Атмосферы (НУОА) Барроу, расположенного в Арктической зоне (71.32° с.ш., 156.6° з.д.).

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 пяти лет наблюдений показано на рисунке 14.1. Среднегодовые значения и межгодовой рост для станций Териберка и Тикси приведены в таблице 14.2.

Уровень концентрации CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2020 г. очередного максимума. Среднегодовое значение на фоновых станциях превысило 415 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.

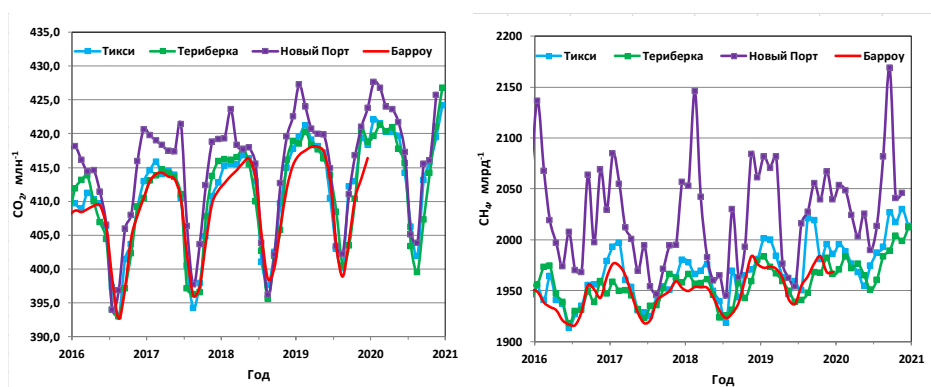


Рисунок 14.1 - Временной ход концентрации CO₂ и CH₄ на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу (НУОА, США).

Вместе с тем, скорость изменения концентрации CO₂ в 2020 г. снизилась и составила 1.7 млн⁻¹/год и 2.2 млн⁻¹/год для станций Териберка и Тикси соответственно. Эти значения являются минимальными за последние 5 лет наблюдений на рассматриваемых станциях. Изменение CO₂ за 2020 г. меньше среднего за десятилетний период для этих станций (2.4 млн⁻¹/год и 2.5 млн⁻¹/год для станций Териберка и Тикси

соответственно), а также средне-глобального значения за период с 2009 г. по 2019 г., составившего 2.37 млн⁻¹/год (Бюллетень ВМО по парниковым газам № 16 от 23 ноября 2020 г.).

Таблица 14.2 - Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации CH_4 и CO_2 .

Год	Териберка				Тикси			
	CH_4 , млрд ⁻¹	ΔCH_4 , млрд ⁻¹	CO_2 , млн ⁻¹	ΔCO_2 , млн ⁻¹	CH_4 , млрд ⁻¹	ΔCH_4 , млрд ⁻¹	CO_2 , млн ⁻¹	ΔCO_2 , млн ⁻¹
2016	1946.7	22.3	405.5	3.5	1946.4	6.3	406.1	2.9
2017	1947.1	0.4	409.0	3.5	1956.7	10.3	408.7	2.6
2018	1950.4	3.3	411.1	2.1	1960.4	3.7	411.3	2.6
2019	1965.1	14.7	413.9	2.8	1983.7	23.3	414.3	3.0
2020*	1980.4	18.6	415.6	1.7	1993.6	9.9	416.5	2.2

* Данные 2020 г. могут быть уточнены за счет дополнения и отбраковки.

Целый ряд работ посвящен исследованию влияния ограничений, связанных с COVID-19, на содержание CO_2 в атмосфере. Их результаты обобщены в Бюллетене ВМО по парниковым газам № 16 от 23 ноября 2020 г. Непосредственные измерения потоков CO_2 в промышленных районах и инвентаризационные оценки свидетельствуют о сокращении выбросов CO_2 в атмосферу. Предварительные оценки показывают, что сокращение ежегодных глобальных выбросов (от 4.2% до 7,5%) могут приводить к замедлению темпов роста CO_2 , на величину (0.08-0.23 млн⁻¹/год), не превышающую пределы естественной межгодовой изменчивости в 1 млн⁻¹. Это означает, что в краткосрочной перспективе воздействие ограничений, связанных с COVID-19, трудно отличить от естественной изменчивости.

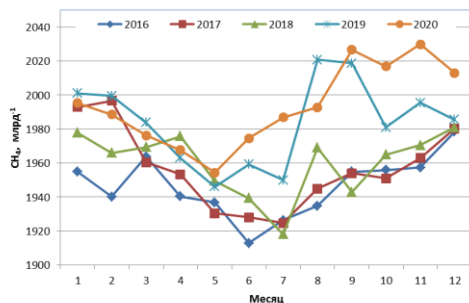


Рисунок 14.2 – Сезонный ход концентрации CH_4 на станции Тикси

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. 2020 г. характеризуется значительным возрастанием CH_4 на станции Териберка (18.6 млрд⁻¹) и Тикси (9.9 млрд⁻¹). Указанные значения межгодового роста не выходят за пределы вариаций на этих станциях за последние 5 лет наблюдений. Обращает на себя внимание трансформация от года к году сезонного хода метана, особенно ярко проявляющаяся на станции Тикси (см. рис. 14.2). С 2018 г. появляются повышенные концентрации метана в августе, когда ожидается максимальная природная эмиссия метана. В 2019 г. такие значения наблюдаются в августе и сентябре, а в 2020 г. увеличение CH_4 начинается с июня и продолжается до конца года.

Особенности сезонного хода концентрации CO_2 и CH_4 на станции Новый Порт связаны с влиянием региональных, как естественных, так и антропогенных источников.

Динамика содержания парниковых газов над центром Европейской территории России

Для анализа уровня содержания и изменчивости парниковых газов в атмосфере в центральном районе Европейской территории России использовались данные систематических измерений, выполняемых на станциях Обнинск и ПТБЗ.

Динамика многолетней изменчивости средних годовых значений для CO_2 , CH_4 и N_2O на станции Обнинск приведена на рисунке 14.3.

Наблюдаемая глобальная тенденция роста парниковых газов в приземном слое (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/) характерна и для расположенной в центре ЕЧР ст.

«Обнинск». Так, за последние 5 лет с 2016 г. по 2020 г. среднегодовая концентрация CO_2 увеличилась на 11 млн^{-1} , CH_4 на 11 млрд^{-1} , N_2O на 7 млрд^{-1} . За время наблюдений с 1998 г. по 2020 г. величина положительного линейного тренда среднегодовых концентраций CO_2 равна $2.5 \pm 0.6 \text{ млн}^{-1}$ в год. Для CH_4 тренд равен $1.8 \pm 0.8 \text{ млрд}^{-1}$ в год для всего периода измерений и $6.4 \pm 2.1 \text{ млрд}^{-1}$ в год для периода роста с 2007 г. Линейный тренд N_2O за период с 2015 г. по 2020 г. составил $1.8 \pm 0.9 \text{ млрд}^{-1}$ в год.

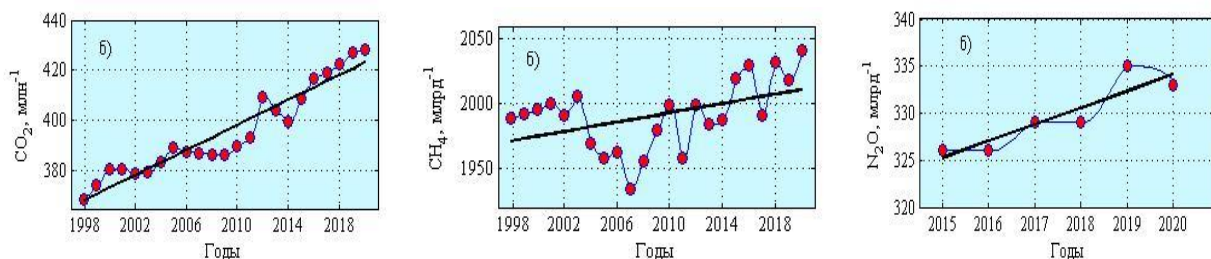


Рисунок 14.3 – Изменения среднегодовых концентраций CO_2 , CH_4 и N_2O в приземном слое атмосферы на станции Обнинск.

Результаты измерений общего содержания парниковых газов во всей толще атмосферы, выполняемые на станции Обнинск, также демонстрируют рост концентрации парниковых газов. Динамика изменчивости среднемесячных значений средней по высоте концентрации CO_2 , CH_4 , N_2O приведены на рисунке 14.4.

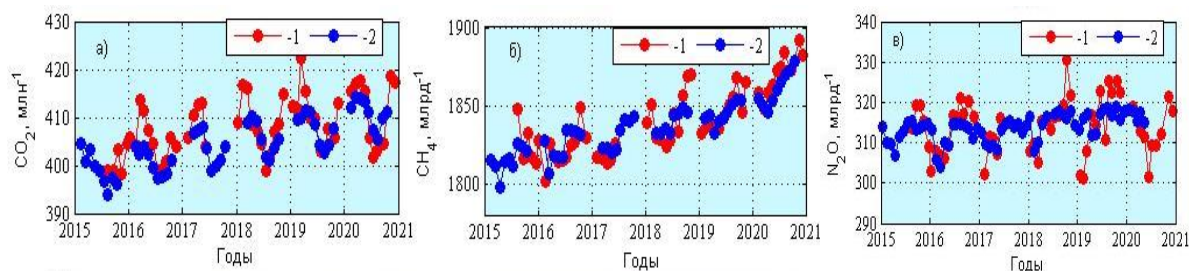


Рисунок 14.4 – Средняя по высоте объемная концентрация CO_2 (а), CH_4 (б), N_2O (в). 1 – ст. «Обнинск», 2 – спутниковые данные GOSAT (CO_2 и CH_4) и данные ст. Карлсруэ (N_2O).

Среднеквадратическое отклонение среднемесячных значений составляет в среднем для $\text{CO}_2 \pm 3.3 \text{ млн}^{-1}$, $\text{CH}_4 \pm 15 \text{ млрд}^{-1}$, $\text{N}_2\text{O} \pm 5.7 \text{ млрд}^{-1}$. Для CO_2 , CH_4 и N_2O характерен значимый положительный тренд: $1.8 \pm 0.5 \text{ млн}^{-1}$ в год, $11 \pm 2 \text{ млрд}^{-1}$ в год, $0.8 \pm 0.5 \text{ млрд}^{-1}$ в год соответственно. Данные станции Обнинск сопоставлены на рисунке 14.4 с результатами измерений средней по высоте объемной концентрации CO_2 и CH_4 спутниковым прибором GOSAT (The Greenhouse Gases Observing Satellite, <https://data2.gosat.nies.go.jp>). Спутниковые данные, имеющие пропуски по времени и в пространстве, были усреднены для области (34° - 38°) в.д. и (53° - 57°) с.ш. Для сопоставления результатов измерений N_2O для примера использовались последние доступные данные (по 05.2020 г.) станции «Карлсруэ», Германия (49.1° с.ш., 8.44° в.д.), входящей в сеть TCCON (Total Carbon Column Observing Network, <https://tcccon.org>). Результаты сопоставления показывают достаточно хорошее согласие данных станции Обнинск со спутниковыми данными и измерениями на ближайшей европейской станции, как для внутригодовых вариаций (сезонного хода), так и для длиннопериодной изменчивости (трендов).

Одновременные наблюдения изменчивости парниковых газов в приземном слое и во всей толще атмосферы позволяют оценить влияние местных источников. Усредненный за период наблюдений с 2015 г. по 2020 г. сезонный ход парниковых газов в приземном слое и во всей толще атмосферы показан на рисунке 14.5.

Наибольшие превышения приземных концентраций над концентрациями в толще атмосферы наблюдаются в зимний период. Если для углекислого газа минимальные

концентрации в летний период совпадают, то для метана превышение сохраняется для всех сезонов, что предположительно свидетельствует о наличии значительных приземных источников. Для закиси азота данные измерений на станции Обнинск представлены впервые и носят предварительный характер.

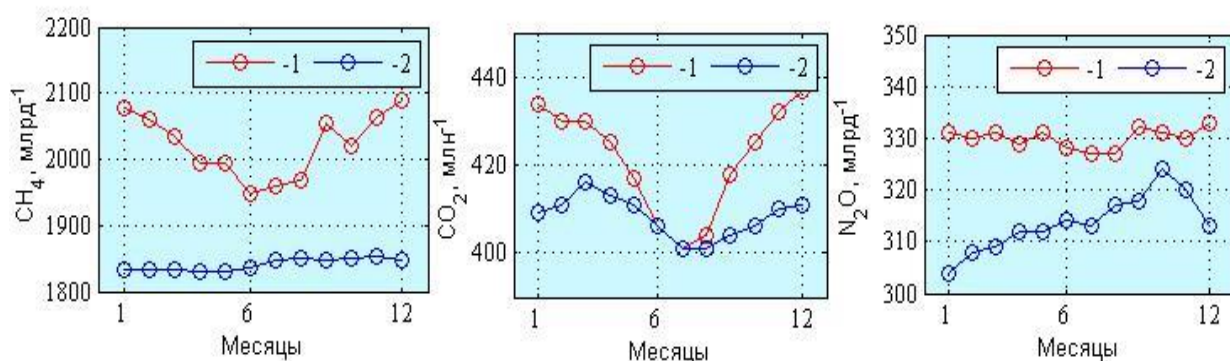


Рисунок 14.5 – Приземные (1) и средние по высоте (2) концентрации CH_4 , CO_2 , N_2O за 2015-2020 гг.

Динамика многолетней изменчивости средних годовых значений CO_2 и CH_4 на станции ПТБЗ приведена на рисунке 14.6.

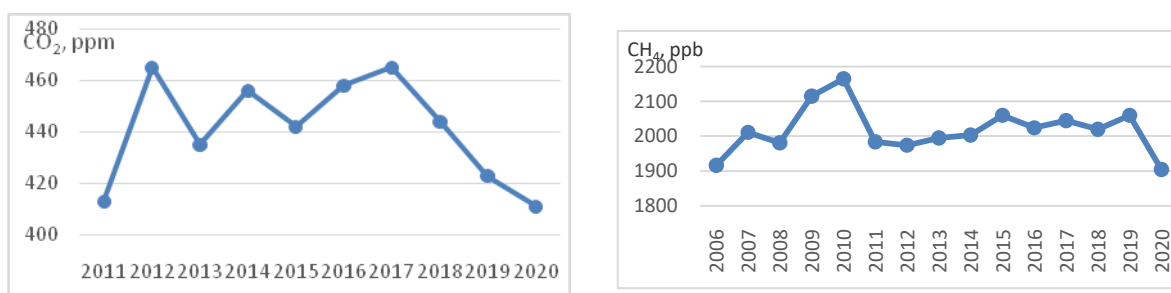


Рисунок 14.6 - Изменения среднегодовых концентраций CO_2 и CH_4 в приземном слое атмосферы на станции ПТБЗ.

В период с 2011 по 2017 годы отмечалась тенденция роста содержания диоксида углерода в приземном слое атмосферы. Подобная тенденция регистрируется на других станциях РФ и в целом на сети станций Глобальной службы атмосферы ВМО (ГСА ВМО), условия наблюдений на которых близки к фоновым. В 2018-2020 гг. на станции ПТБЗ наблюдается снижение концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы. Среднегодовая концентрация в 2020 г. на этой станции составила 411 млн⁻¹.

В целом за период измерений метана в 2006-2018 гг. наблюдается общая тенденция его роста в приземном слое атмосферы в районе станции ПТБЗ. Наиболее высокие значения регистрировались в 2010 г. и были связаны с его поступлением за счёт атмосферного переноса из зоны крупномасштабных лесных и торфяных пожаров в район проведения наблюдений. В 2020 г. отмечается снижение концентрации CH_4 на станции ПТБЗ. Среднегодовая концентрация CH_4 в 2020 г. на этой станции составила 1904 млрд⁻¹. Закономерности изменения концентрации ПГ в последние годы на этой станции заметно отличаются от общих тенденций и требуют специального изучения.

Заключение

Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2020 г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ, расположенных в фоновых условиях, превысило 415 млн⁻¹. Станции, подверженные

влиянию региональных источников, также демонстрируют рост концентрации CO_2 . Значения концентраций на этих станциях, как правило, выше фоновых (в 2020 г. 419 млн^{-1} и 428 млн^{-1} на станциях Новый Порт и Обнинск соответственно), в то время как тренд концентрации CO_2 , оцененный по длительному периоду наблюдений, совпадает с полученным для фоновых условий (2.4 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$ на станции Новый Порт и 2.5 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$ на станции Обнинск).

Вместе с тем, скорость изменения концентрации CO_2 в 2020 г. снизилась и составила 1.7 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$ и 2.2 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$ для станций Териберка и Тикси соответственно. Эти значения являются минимальными за последние 5 лет наблюдений на рассматриваемых станциях. Изменение CO_2 за 2020 г. меньше среднего за десятилетний период для этих станций (2.4 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$ и 2.5 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$ для станций Териберка и Тикси соответственно), а также среднеглобального значения за период с 2009 г. по 2019 г., составившего 2.37 $\text{млн}^{-1}/\text{год}$. Предварительные оценки показывают, что сокращение ежегодных глобальных выбросов в результате ограничений, связанных с COVID-19, могут приводить к замедлению темпов роста CO_2 , на величину, не превышающую пределы естественной межгодовой изменчивости в 1 млн^{-1} .

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. В 2020 г. уровни фоновых значений концентрации CH_4 составили 1980.4-1993.6 млрд^{-1} , возрастание за 2020 г. произошло на 18.6 млрд^{-1} и 9.9 млрд^{-1} (станции Териберка и Тикси соответственно). Для станций Новый Порт и Обнинск концентрации CH_4 примерно на 60 млрд^{-1} выше фоновых, а увеличение CH_4 за 2020 г. составило 14 млрд^{-1} и 22 млрд^{-1} соответственно. Трансформация сезонного хода CH_4 с 2018 г. по 2020 г. на станции Тикси указывает на активизацию эмиссии метана природного происхождения в районе расположения станции.

15. 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 466 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 2020 г.

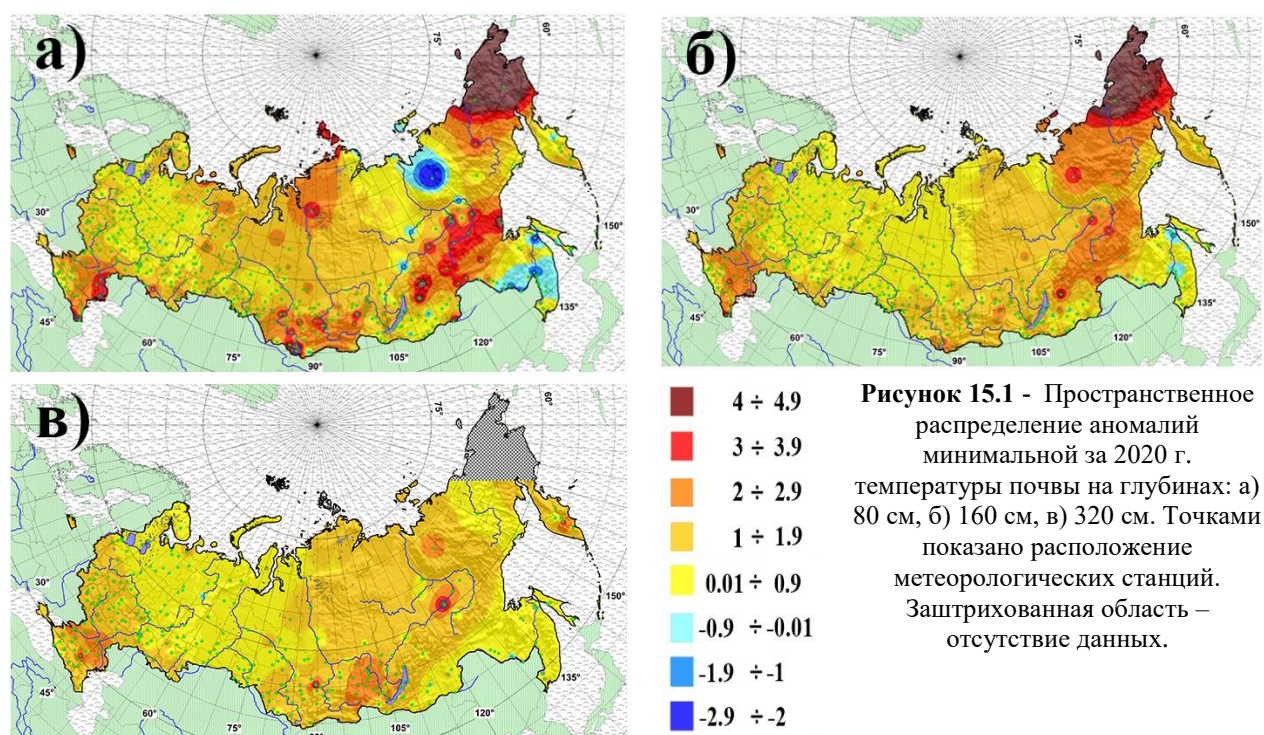
Пространственное распределение аномалий минимальной температуры почвы за 2020 г. (от нормы за период 1971-2000 гг.) на глубинах 80, 160, 320 см представлено на рисунке 15.1.

На глубине 80 см (рисунок 15.1а) на преобладающей части территории России аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют 1-2°C. В Средней Сибири аномалии достигают 2-3°C. Высокие значения аномалий наблюдаются на юге Восточной Сибири 2-4°C и северо-восточной части Дальнего Востока 3-5°C. Исключением является долина реки Яны с отрицательными аномалиями. На юге Дальнего Востока (Амуро-Сахалинская часть) аномалии отрицательные в пределах -1 – -2°C.

На глубине 160 см (рисунок 15.1б) 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. Положительные аномалии 2-3°C наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, а также на востоке Средней Сибири и в Северо-Восточной Сибири. Более высокие значения аномалий 3-5°C наблюдаются на крайней северо-восточной части Дальнего Востока.

На глубине 320 см (рисунок 15.1в) отток тепла в холодный сезон, так же, как приток тепла в теплый сезон, и межгодовые изменения температуры почвы ослаблены. На этой глубине преобладают слабые положительные аномалии минимальной за год температуры почвы. В Средней и в Северо-Восточной Сибири аномалии составляют 1-2°C.

Из сопоставления трех карт (рисунок 15.1) 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 2°C. Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Северо-Восточной Сибири.

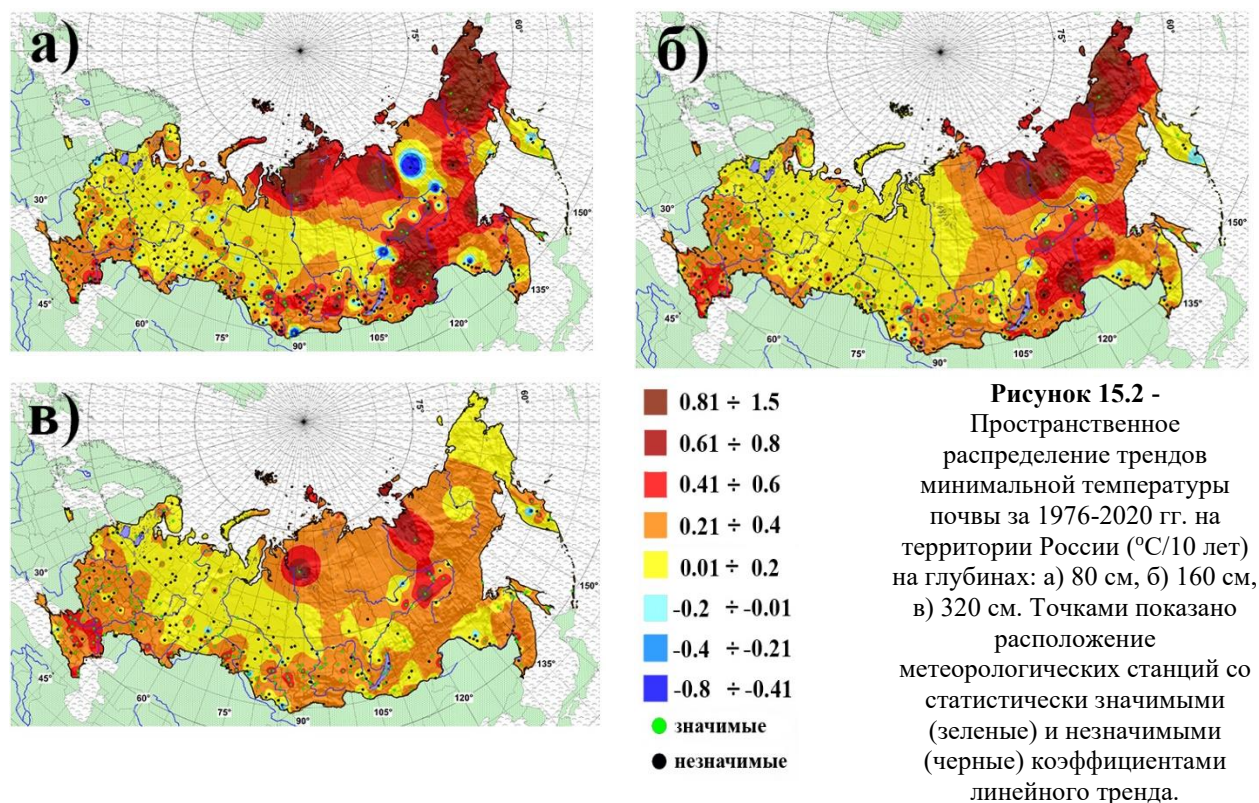


Тенденции изменений температуры почвы

Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвы на глубинах до 320 см показано на рисунке 15.2.

На глубине 80 см (рисунок 15.2а) 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 Яны и Алдана с отрицательными трендами около $0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет. В южной части ЕЧР потепление составило $0.2-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет, а на остальной части ЕЧР и в Западной Сибири преобладают слабые положительные тренды.



На глубине 160 см (рисунок 15.2б) по всей России преобладают положительные тренды, но область повышенных значений ($>0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет) в высоких широтах смещена к Востоку. Положительные тренды $0.2-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет охватывают север Восточной Сибири и Дальнего Востока. Статистически достоверное потепление ($>0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) также наблюдается в южной половине ЕЧР и в Средней Сибири. На остальной части ЕЧР и в Западной Сибири слабые положительные тренды. Отрицательные тренды не наблюдаются.

На глубине 320 см (рисунок 15.2в) 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 южной половине ЕЧР, на севере Средней и в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, а также в Прибайкалье и Забайкалье.

Из сопоставления трех карт (рисунок 15.2) можно сделать вывод, что в 1976-2020 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 Яны.

16. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ

Анализ выполнен, по данным отечественной сети фильтровых озонметров М-124 с привлечением результатов измерений мировой озонметрической сети, поступающих в Мировой центр данных ВМО по озону и ультрафиолетовой радиации (WOUDC) в Канаде, а также данных спутниковой аппаратуры ОМІ (США). Обобщены основные данные наблюдений общего содержания озона (ОСО) за 2020 г. Более подробная информация о поведении ОСО над территорией Российской Федерации и прилегающими территориями ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология». Основные результаты наблюдений за 2020 г. детально описаны в №№ 6, 8, 11 2020 г. и № 2 2021 г.

В I квартале 2020 г. средние за квартал значения ОСО над большей частью контролируемой территории были ниже средних многолетних значений за период 1974-1984 гг. Над островами и побережьем Северного Ледовитого океана, в Центральной и Восточной Сибири это снижение достигало 25-28 %. Во втором квартале средние за квартал значения ОСО практически над всей контролируемой территорией также были ниже средних многолетних значений. Над северными районами Европейской части территории России и Сибири дефицит во II квартале достигал 10-18%. В III и IV кварталах 2020 г. средние за квартал значения ОСО над контролируемой территорией были в основном близки к средним многолетним значениям.

Приведённые выше данные за I и II кварталы 2020 г. отражают аномальное поведение озона в северных регионах страны в этот период. Аномальными будем считать отклонения, превышающие 2.5 единицы среднеквадратического отклонения (ед. СКО). В течение 2020 г. отдельные существенные аномалии ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в январе-мае:

- с 27 по 29 января пониженные на 35-46% среднесуточные значения ОСО над северными районами Европейской части территории России (190-232 ед. Д.);
- 5 и 6 февраля пониженные на 30-45% среднесуточные значения ОСО над северными районами Красноярского края и Эвенкии (238-322 ед. Д.);
- 9 и 10 февраля пониженные на 28-43% среднесуточные значения ОСО над северными районами Красноярского края, Эвенкии и Якутии (255-332 ед. Д.);
- с 18 февраля по 15 марта пониженные на 27-60% среднесуточные значения ОСО над северными районами Красноярского края, Якутии, Эвенкии и Магаданской области (187-367 ед. Д.);
- с 27 марта по 14 мая пониженные на 19-51% среднесуточные значения ОСО над севером Европейской части территории России, островами Северного Ледовитого океана, Западной Сибирью, северными районами Красноярского края, Якутией, Эвенкией, Магаданской и Иркутской областями (221-361 ед. Д.);
- с 18 по 27 мая пониженные на 17-27% среднесуточные значения ОСО над Западной Сибирью, северными районами Красноярского края, Якутией, Эвенкией, Уралом и севером Казахстана (265-346 ед. Д.);

Интересно поведение первой из перечисленных аномалий – январской. Она быстро перемещалась с запада на восток, что было зафиксировано спутниковыми измерениями ОСО (avdc.gsfc.nasa.gov/). Минимальные среднесуточные значения ОСО были зарегистрированы: в Осло – 186 ед. Д. 25.01 и 182 ед. Д. 26.01; в Стокгольме – 173 ед. Д. 25.01 и 187 ед. Д. 26.01; в Хельсинки – 184 ед. Д. 26.01 и 206 ед. Д. 27.01; в Санкт-Петербурге – 184 ед. Д. 26.01 и 206 ед. Д. 27.01; в Плесеце – 211 ед. Д. 28.01. Спутниковой аппаратурой так же, как на наземных станциях, регистрировались значения ОСО менее 220 ед. Д. Эта величина международным научным сообществом принята в качестве границы, определяющей территорию «озоновой дыры» в Антарктике. Появление озоновой «мини-дыры» в зимне-весенний период над высокими широтами Северного полушария уже регистрировалось в 2016 году (Звягинцев и др., Метеорология и

гидрология, 2017, № 2; Никифорова и др., Труды Гидрометцентра России, 2016, № 360; Никифорова и др., Оптика атмосферы и океана, т. 30).

Следует остановиться и на аномалии, которая наблюдалась с 18 февраля по 15 марта. Во время этой аномалии на отдельных озонметрических станциях регистрировались максимальные значения дефицита озона. И опять необходимо отметить, что на станциях Тикси и о. Котельный в первой половине марта были зарегистрированы среднесуточные значения ОСО менее 220 ед. Д. Спутниковая аппаратура также фиксировала значения ОСО менее 220 ед. Д. в начале марта над станциями Тикси и Оленек.

Как отмечалось в (Иванова и др. Метеорология и гидрология, 2020, № 6, № 8), подобные аномалии в зимне-весенние периоды в северных районах страны регистрировались ранее в 1997 и 2011 гг. Но череда отрицательных аномалий 2020 г. была особенно продолжительной и закончилась на месяц позже, чем аномалия 2011 г. Для сравнения на рисунке 16.1 приведены результаты измерений ОСО на станции Оленек в

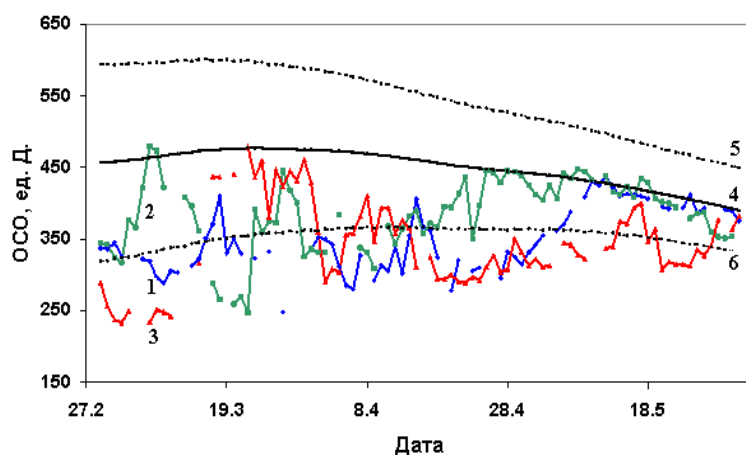


Рисунок 16.1 - Общее содержание озона на станции Оленек (68.5° с.ш., 112.4° в.д.) в марте-мае 1997 г. (1), 2011 г. (2) и 2020 г. (3); средние многолетние значения ОСО (4) и они же ± 2.5 стандартных отклонений (5 и 6).

значения УФ индекса (Иванова: <http://method.meteorf.ru/methods/pollut/uv/uv.html>; meteorf.ru/publ/sb/sb47/09.pdf; труды Гидрометцентра России, 2017, Вып. 365) не достигали опасных для населения значений и не превышали 1. Во второй половине мая 2020 г., когда над северными районами Красноярского края, Эвенкией и Якутией снижение ОСО достигало 24%, превышение УФ-Б облученности территории над климатической нормой составляло около 80%, а значения УФ индекса в зоне аномалии не превышали 4. Уровень УФ радиации считается опасным для человека при значениях индекса 6 и более (Technical Report WHO/ENG 17. 1995).

В результате образования перечисленных выше аномалий отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2020 г. (рисунок 16.2) на большинстве отечественных сетевых станций отрицательные. Для всех анализируемых станций они лежат в интервале от -14 до 3%. Наибольшие отклонения зафиксированы на островах Северного Ледовитого океана, севере Красноярского края и Якутии, что явилось следствием продолжительного аномального поведения озона в зимне-весенний период в этих регионах. Максимальный дефицит среднегодового значения ОСО (14%) зарегистрирован на станциях Тура, Оленек и о. Котельный. Максимальное превышение среднегодового значения ОСО над нормой (3%) зарегистрировано в Цимлянске.

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 рисунке 16.3.

первой декады мая скорость зонального ветра приблизилась к средним многолетним значениям.

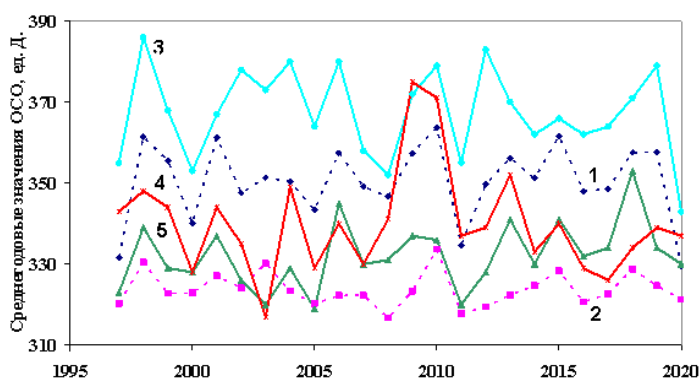


Рисунок 16.3 - Межгодовая изменчивость среднегодовых значений ОСО в интервалах широт 60°-90° с.ш. (1), 30°-60° с.ш. (2) и на станциях Якутск (3, 62° с.ш., 130° в.д.), Екатеринбург (4, 57° с.ш., 61° в.д.) и С.-Петербург (5, 60° с.ш., 30° в.д.)

24-27 апреля обновила абсолютные минимумы для этих дней. Средних многолетних значений она достигла только в первых числах мая.

По данным NASA облака NAT (облака, сформированные из nitric acid trihydrate) на изэнтропической поверхности 460 К появились в конце ноября 2019 г., что на три недели раньше среднего срока их появления, и просуществовали до третьей декады марта, что почти на полтора месяца позже среднего срока их исчезновения. При этом их площадь весь период существования значительно превышала средние многолетние значения, а с 25 февраля по 21 марта обновила абсолютные максимумы, наблюдавшиеся до этого. Ледяные стратосферные облака появлялись на поверхности 460 К в периоды с 23 января по 1 февраля, 19 и 20 февраля и с 1 по 3 марта. Продолжительное существование большого количества стратосферных облаков способствует разрушению озона и приводит к снижению его общего содержания в полярной атмосфере.

Всё это сказалось на поведении полярного арктического озона (среднее зональное значение ОСО в зональном поясе 63°-90° с.ш.) в зимне-весенний период 2020 г. По наблюдениям NASA, в этот период полярный озон был ниже средних многолетних значений. 15-19 января, с 11 февраля по 13 марта (за исключением двух дней 24 февраля и 7 марта), с 28 марта и весь апрель (за исключением 19, 21 и 22 апреля), 11, 12 мая и 19-22 июня значения полярного озона были ниже абсолютных минимумов, зарегистрированных для этих дней за все годы наблюдений. Среднемесячные значения арктического полярного озона в феврале, марте и апреле 2020 г. оказались минимальными за все годы наблюдений (соответственно 340.2, 330.4 и 344.3 ед. Д.). Следует особо отметить, что 18, 19 февраля, 3-16 марта (за исключением 14 марта) и с 27 марта по 29 апреля, а также 10-12 мая ежедневные значения полярного озона были аномально низкими (отклонения от средних многолетних значений 1979-2019 гг. превышали 2.5 ед. СКО). Более того, среднее за апрель 2020 г. значение среднеширотного общего содержания озона в полосе широт 60°-90° с.ш. (349 ед. Д.) впервые за все годы наблюдений оказалось меньше, чем в полосе широт 30°-60° с.ш. (353 ед. Д.). Среднегодовое значение полярного арктического озона в 2020 г. также было минимальным за все годы наблюдений 322.7 ед. Д.

Продолжительные низкие значения полярного арктического озона объясняются высокой интенсивностью циркумполярного вихря, сильными зональными ветрами, низкими температурами стратосферы и большим количеством стратосферных облаков, о чем говорят приведенные выше данные. В этом году циркумполярный вихрь менял форму, вращался как целое, но в основном был сконцентрирован над Северным полюсом, что и способствовало его активному развитию. Такое поведение циркумполярного вихря

Полярная температура (средняя зональная температура севернее 60° с.ш.) на уровне 70 гПа в начале января опустилась ниже средних многолетних значений и весь первый квартал 2020 г. оставалась низкой. 17-20 февраля, с 26 февраля по 6 марта и 10-12 марта она опускалась ниже ранее зафиксированных минимумов. В апреле полярная температура постепенно росла, но практически весь месяц оставалась на уровне минимальных ранее наблюдаемых в этот период значений, а 13-15 и

закономерно отразилось на состоянии поля ОСО над территорией России в зимне-весенний период, так как северные регионы страны расположены в высоких широтах и попадают под влияние вихря.

Если 2019 г. отличился тем, что и в Арктике, и в Антарктике были зарегистрированы положительные аномалии полярного озона, то в 2020 г. над обоими полюсами наблюдались отрицательные аномалии полярного озона. Особенно удивительно и замечательно то, что в 2020 г. отрицательная аномалия полярного озона (снижение от многолетнего среднего более чем на 2.5 СКО) над Антарктикой зарегистрирована впервые за все годы наблюдений с 1979 г. 17 и 19-24 декабря 2020 г. дефицит полярного антарктического озона превысил 2.5 СКО, а 20 и 21 декабря – превысил даже 3 ед. СКО. Как ни парадоксально, все аномалии полярного озона (если понимать их в указанном выше смысле как маловероятные события), которые регистрировались в Антарктике в период 1979-2019 гг., были только положительными.

В 2020 г. весенняя Антарктическая озоновая аномалия (ВАОА) появилась в начале августа (как и в 2017-2019 гг.), что соответствует среднему времени её появления, и закончилась в последних числах декабря, что почти на три недели позже среднего срока исчезновения ВАОА. Площадью, занятой ВАОА, считают площадь территории, на которой ОСО меньше 220 ед. Д. Количественные показатели ВАОА заимствованы с сайта NASA, США (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>). С 18 ноября по 2 декабря и с 8 декабря до завершения ВАОА её площадь превышала ранее зафиксированные максимумы.

Средняя зональная температура в полосе широт 60° - 90° ю.ш. на уровне 70 гПа. 27-29 октября, 1 ноября и с 11 ноября по 26 декабря (за исключением 8 и 9 декабря) обновила ранее зарегистрированные минимумы для этих дней. Площадь стратосферных NAT облаков, как и площадь ледяных стратосферных облаков, на изэнтропической поверхности 460 К в 2020 г. практически всё время их существования превышала средние многолетние значения, а их разрушение затянулось примерно на две недели из-за низких стратосферных температур. Сильный зональный ветер на 60° ю.ш. на уровне 70 гПа с августа до конца декабря часто обновлял ранее зарегистрированные максимумы.

Полярный антарктический озон (среднее значение ОСО в поясе южнее 63° ю.ш.) был ниже средних многолетних значений с конца апреля. В конце августа он их превышал всего три дня, а затем стал быстро снижаться и к 27 сентября 2020 г. достиг своего минимума (170 ед. Д.). Рост полярного антарктического озона в 2020 г. проходил очень медленно, при этом 13-30 ноября и 12-25 декабря его значения обновили ранее зарегистрированные минимумы для этих дней. Среднемесячные значения полярного озона в Антарктике в ноябре и декабре 2020 г. были минимальными за все годы наблюдений (212.67 и 263.04 ед. Д. соответственно). Похожее поведение полярного антарктического озона наблюдалось в 2015 г.

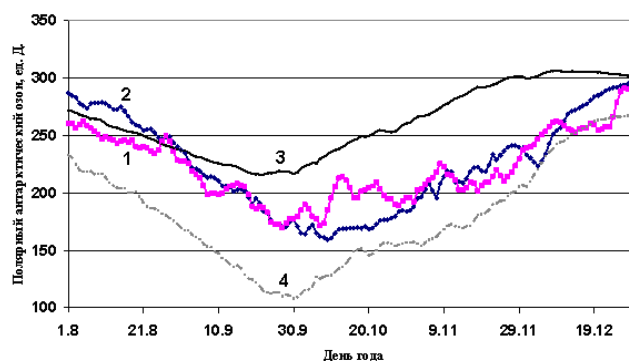


Рисунок 16.4 - Полярный антарктический озон в августе-декабре 2020 г. (1) и 2015 г. (2), его средние многолетние значения (3) и они же минус 2.5 ед. СКО (4).

На рисунке 16.4 представлены значения полярного озона в Антарктике в августе-декабре 2015 и 2020 гг. и для сравнения ход средних многолетних значений и средних многолетних значений минус 2.5 ед. СКО. Чётко видно, что в конце декабря 2020 г. в Антарктике зарегистрирована первая отрицательная аномалия полярного озона (если под аномалией понимать отклонение от среднего на величину, превышающую 2.5 ед. СКО).

Поведение полярного антарктического озона в зимне-весенний период 2020 г. повторило в некоторой степени поведение полярного арктического озона в зимне-

весенний период этого же года. На обоих полюсах в указанный период возникшие отрицательные отклонения полярного озона от средних многолетних значений постепенно нарастали, а, достигнув максимума абсолютных значений, исчезали очень медленно и долго (Иванова и др., Метеорология и гидрология, 2020, № 6, 8, 11; 2021 № 2).

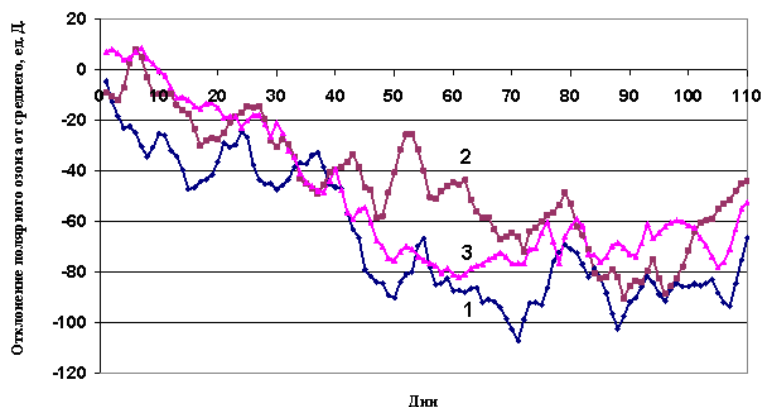


Рисунок 16.5 - Отклонения от средних многолетних значений: 1 – полярного арктического озона с 1 января по 20 апреля 2020 г.; 2 и 3 – полярного антарктического озона с 22 августа по 9 декабря 2020 и 2015 гг. соответственно.

На рисунке 16.5 для сравнения приведены отклонения полярного арктического озона от средних многолетних значений с 1 января по 20 апреля 2020 г. и отклонения полярного антарктического озона от средних многолетних значений в 2015 и 2020 годах с 22 августа по 9 декабря (110 дней). В Антарктике потери озона во время ВАОА 2020 г. близки к максимальным значениям, а потери озона в Арктике в

начале 2020 г. значительно больше и продолжительнее, чем в конце года в Антарктике. Коэффициент корреляции между представленными на рисунке отклонениями от средних значений полярного арктического озона в 2020 г. и аналогичными отклонениями полярного антарктического озона в том же году равен 0.83. Между отклонениями полярного антарктического озона в 2015 и 2020 годах в период с 22 августа по 9 декабря коэффициент корреляции равен 0.81.

На рисунке 16.6 представлены усредненные за различные периоды значения полярного озона в Арктике и Антарктике в 1979-2020 гг. и их тренды, аппроксимированные полиномами третьей степени. В Арктике средние значения полярного озона за январь-апрель выше среднегодовых значений в среднем на 53 ед. Д., в Антарктике наоборот средние значения за август-ноябрь ниже среднегодовых значений, хотя и не всегда. Видно, как изменчивость полярного озона в зимне-весенние месяцы влияет на его среднегодовые значения над обоими полюсами (коэффициенты корреляции 0.94 и 0.95 для Арктики и Антарктики соответственно). Все четыре кривые имеют одинаковый тип хода: до конца 90-х годов прошлого века они снижаются, затем виден подъем.

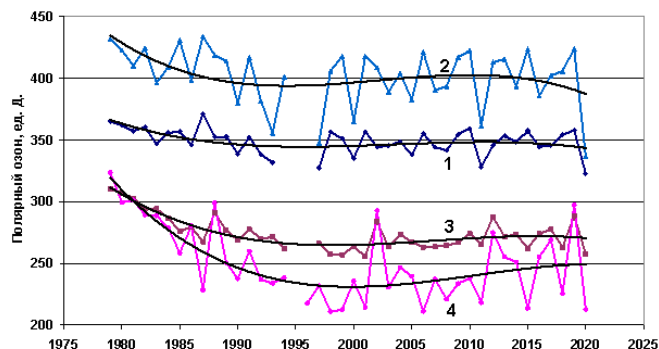


Рисунок 16.6 - Межгодовая изменчивость полярного озона в Арктике (1 – среднегодовые значения, 2 – средние значения в январе-апреле) и Антарктике (3 – среднегодовые значения, 4 – средние значения в августе-ноябре) и кривые трендов.

Однако из-за большой изменчивости величин трудно однозначно определить тенденцию дальнейшего развития. Линейные тренды полярного озона, по данным 1997-2020 гг., следующие: в Арктике для среднегодовых значений тренд равен 0.09 ед. Д. в год, а для средних значений за январь-апрель он составляет 0.19 ед. Д. в год; в Антарктике для среднегодовых значений тренд равен 0.48 ед. Д. в год, а для средних значений за август-ноябрь он составляет 1.03 ед. Д. в год. Все линейные тренды положительные и в Антарктике они больше, чем в Арктике, но значимость их мала.

Выводы

Над северными регионами территории России в зимне-весенний период 2020 г. наблюдались продолжительные отрицательные аномалии ежедневных значений общего содержания озона. Дефицит достигал 60 %. Результатом стало снижение среднегодовых значений ОСО. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2020 г. на большинстве отечественных сетевых станций отрицательные. Причина этого – образование и динамика сильно развитого циркумполярного вихря над Арктикой, что привело к продолжительной отрицательной аномалии полярного арктического озона. В 2020 г. впервые за все годы наблюдений с 1979 г. зарегистрированы отрицательные аномалии ежедневных значений полярного озона и в Арктике, и в Антарктике, причем в Антарктике отрицательная аномалия полярного озона наблюдалась впервые. Отклонения полярного арктического озона от многолетнего среднего в зимне-весенний период 2020 г. по абсолютной величине превышали аналогичные отклонения антарктического полярного озона. Из-за большой межгодовой изменчивости невозможно получить значимые оценки трендов полярного озона и ОСО в высоких и средних широтах Северного полушария и однозначно определить тенденции дальнейшего поведения озонового слоя.

ВЫВОДЫ

- 2020 год в России был необычайно теплым: максимальные значения за все время наблюдений отмечены не только для среднегодовой температуры, но и для всех сезонов, кроме лета. Осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-90 гг.) составила $+3.22^{\circ}\text{C}$ – это более чем на 1 градус выше предыдущего максимума 2007 г. Осредненные по всем регионам и федеральным округам среднегодовые аномалии – максимальные величины в соответствующих рядах (кроме региона Приамурье и Приморье, ЮФО и СКФО, где они были вторыми в рядах). Осредненные по РФ аномалии температуры в январе, феврале, марте, апреле, мае, сентябре, ноябре были среди двух самых крупных (ранг 1 или 2).

Зимой 2019/20 гг. средняя по России аномалия составила $+5.00^{\circ}\text{C}$. Это сразу на 1.5°C выше предыдущего максимума 2015 г. Особенно тепло было в ЕЧР: средняя аномалия $+6.82^{\circ}\text{C}$ – почти на 2.5°C больше предыдущего максимума 2016 г. В АЧР несколько холоднее: $+4.30^{\circ}\text{C}$ – но также максимум в ряду. В Западной Сибири экстремально тепло: аномалия $+7.04^{\circ}\text{C}$, ранг 1. Лишь на небольших территориях севера ДФО наблюдались температуры немного ниже климатической нормы. **Весной** средняя по РФ аномалия составила $+3.94^{\circ}\text{C}$; также рекордная температура отмечена в АЧР (аномалия $+4.61^{\circ}\text{C}$), а в ЕЧР аномалия $+2.20^{\circ}\text{C}$: ранг 9, на западе температуры близки к норме. Наиболее высокие температуры наблюдались в Западной Сибири (аномалии в северной части превышали $+9^{\circ}\text{C}$; в среднем по региону $+6.54^{\circ}\text{C}$). **Летом** средняя по РФ аномалия температуры составила $+1.34^{\circ}\text{C}$ (ранг 5). Почти на всей территории страны температуры были выше климатической нормы; лишь в нижнем течении Амура и на севере Сахалина наблюдались пониженные температуры (до -1.9°C). **Осенью** осредненная по России аномалия температуры составила $+3.29^{\circ}\text{C}$, а по АЧР $+3.53^{\circ}\text{C}$ – максимальные величины в рядах. Осредненные по всем регионам и федеральным округам (кроме ПФО) аномалии температуры – среди трех наибольших в соответствующих рядах. Аномально тепло на севере Средней Сибири (на Таймыре аномалии $+8$ - $+10^{\circ}\text{C}$). На станциях Северного Кавказа летом и осенью наблюдались 95%-е экстремумы во всех высотных зонах от степной до горной.

Аномалия среднегодовой температуры воздуха Северной полярной области в 2020 году составила $+3.2^{\circ}\text{C}$ – вторая величина в ряду. При этом в широтной зоне 70 - 85° с.ш. (аномалия $+3.6^{\circ}\text{C}$) 2020 г. стал вторым, а в широтной зоне 60 - 70° с.ш. (аномалия $+2.9^{\circ}\text{C}$) – наиболее теплым в ряду убывающих температур. В 2020 г. области крупных

положительных аномалий температуры располагались преимущественно в азиатском секторе. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Западно-Сибирского (аномалия $+5.9^{\circ}\text{C}$) и Восточно-Сибирского (аномалия $+4.7^{\circ}\text{C}$) районов – это наибольшие значения по рангу теплых лет за период с 1936 г.

Приповерхностная температура воздуха зимой 2020 г. в области распространения морского льда в Арктике составила -20.9°C – 12-е место в ряду «тёплых» зимних ПТВ, а летом ПТВ ($+5.8^{\circ}\text{C}$) – на уровне самых высоких летних температур.

Средняя за месяц площадь морского льда в Северном Ледовитом океане в сентябре 2020 г. составила 3.92 млн. кв. км, что является вторым после абсолютного минимума 2012 года (3.51 млн. кв. км) значением.

В акватории арктических морей, по которым проходит трасса Северного морского пути в 2020 году летний морской ледяной покров сократился к сентябрю до рекордно низкого уровня (26 тыс. кв. км).

- Потепление продолжается на всей территории России в целом за год и во все сезоны. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за период 1976-2020 гг. составила $0.51^{\circ}\text{C}/10$ лет (вклад в общую изменчивость 55%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной ($0.66^{\circ}\text{C}/10$ лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет: описывает 64% суммарной дисперсии). Тренды среднесезонных температур за указанный период все значимы на 1% уровне, хотя предыдущая (1976-2019 гг.) оценка для зимы не была значима даже на 5% уровне. Последнее связано с сильно выделяющимся значением аномалии зимней температуры 2020 г., что резко (на 23%) изменило оценку тренда; поэтому к выводу о значимости следует относиться с осторожностью: по-прежнему, он наблюдается на фоне исключительно сильных колебаний с периодом в несколько десятилетий. Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой все еще наблюдается область убывания температуры, хотя и на существенно меньшей территории и значительно более слабого, чем в период 1976-2014 гг. Летом и осенью рост температуры на юге Сибири (осенью также в центре) 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).

За период 1936-2020 гг. наблюдается статистически значимый (на 5%-м уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для широтных зон и 70-85, 60-70°с.ш. и в целом для СПО. В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры за 30 лет (1991-2020 гг.) составил около 2.64°C ($0.88^{\circ}\text{C}/10$ лет).

- Осадки в 2020 г. в целом по России составили 106% нормы (среднего за 1961-1990 гг.): ранг 12-15 в ряду с 1936 г. В АЧР осадки были выше нормы (109% – ранг 6), а в ЕЧР около нормы. Значительный избыток осадков наблюдался в СФО (118% нормы – максимальная величина в ряду, избыток осадков фиксировался во все сезоны, особенно, зимой и осенью), на юге ДФО (более 120% нормы). Дефицит осадков наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 71% нормы осадков – минимальная величина в ряду; в ЮФО и СКФО осадки были ниже нормы во все сезоны), на большей части Восточной Сибири (особенно летом – 75% нормы – вторая минимальная величина в ряду).

Из сезонов выделяются избыточные осадки **зимой**: в целом по РФ количество осадков составило 120% нормы – ранг 3, особенно много осадков выпало в АЧР (119% – ранг 4), в Европейской части – в СЗФО (149% – ранг 1), и **весной** (в целом по РФ выпало 121% (ранг 4), а по АЧР 119% (ранг 3-5). Кроме того, следует выделить сухое **лето** в Восточной Сибири и контрастную осень с чередующимися областями высокого и низкого увлажнения: особенно сухо на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 54% нормы: среди трех самых сухих осенних сезонов) и влажно на юге Средней Сибири (в СФО выпало 128% нормы: ранг 1). На Северном Кавказе в целом за 2020 г. дефицит осадков (ниже 5-го процентиля)

наблюдался на горных станциях Теберда и Терскол; в предгорье на станции Нальчик – в зимний и осенний периоды, на станции Теберда – в летний период.

В целом для СПО в 2019/20 гг. годовая сумма осадков была около нормы. Самое малое количество осадков за год выпало в Чукотском (на 17.8 % ниже нормы), а наибольшее – в Северо-европейском (на 26.1 % выше нормы).

На территории России преобладает тенденция к **увеличению годовых сумм осадков**: тренд составляет 2.2% /10 лет, вклад в дисперсию 39%. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается **весной** (5.8%/10 лет, вклад в дисперсию 39%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако **летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают**: в ЮФО: -5.4% в десятилетие.

Тренд годовых осадков за период 1976-2019 гг. на всех станциях Кавказского региона статистически незначим, но весной на горной станции Теберда наблюдался статистически значимый рост сумм осадков.

В многолетних изменениях годовых сумм осадков за период 1936-2020 гг. в СПО наблюдается тенденция их статистически значимого увеличения со средней скоростью около 3 мм/10 лет. При этом рост осадков преимущественно отмечается в европейском секторе, включая Атлантику, и, в основном, в холодный период года (так в южной части Северо-европейского района рост осадков составляет 17 мм/10 лет для годовых сумм).

Тенденция к убыванию осадков уверенно обнаруживается в Чукотском районе и в районах арктических морей азиатского сектора СПО (около 13-14 мм/10 лет для годовых сумм осадков) в течение всего года.

- В 2020 г. атмосферные засухи сильной интенсивности наблюдались в течение 13-15 декад во всех федеральных округах, кроме СЗФО. Наиболее сильные и продолжительные засухи наблюдались на юге и юго-западе ПФО, большей части ЮФО и СКФО, на юге УФО и на юго-западе СФО. В сентябре необычайно сильная засуха была зафиксирована на юге европейской части России. Она явилась продолжением периода засухи в июне-июле и связана с дефицитом осадков в центре и на юге ЕЧР.

- Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2019/20 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы (оцененной за период 1971-2000 гг.), отрицательная аномалия вошла в десятку наименьших за период с 1966 г. На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха на протяжении почти всего холодного периода. В центре ЕЧР отрицательная аномалия продолжительности залегания снежного покрова оказалась рекордной. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась близкой к климатической норме, при этом на севере ЕЧР и Западной Сибири, на Чукотке и на севере Камчатки и в центре и юге Западной Сибири максимальная высота снежного покрова вошла в десятку самых высоких значений. Максимальный за зиму запас воды в снеге, по данным маршрутных снегосъемок, в среднем по России оказался **ниже нормы** и в поле, и в лесу. На севере ЕЧР и в Западной Сибири величина максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте стала рекордной, а значения в Северной части Восточной Сибири и в Якутии, в центре и на юге Западной Сибири и на Алтае и Саянах попали в первую десятку наибольших значений. В лесу аномально **низкий** запас воды в снеге наблюдался в центре ЕЧР и на Дальнем Востоке. В то же время его значения на севере ЕЧР и Западной Сибири, в центре и на юге Западной Сибири, в центре и на юге Восточной Сибири и на Алтае и в Саянах попали в первую десятку наибольших значений.

На значительной части страны в период с 1976 по 2020 гг. сохраняется тенденция **уменьшения продолжительности залегания снежного покрова**. Продолжается **увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова** на большей части страны. Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге, 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.

- **Вскрытие ото льда** большинства рек европейской и азиатской части России происходило преимущественно **раньше нормы, местами в экстремально ранние сроки**. Зима и весна на ЕЧР отличалась малоснежностью и повышенным температурным режимом. Вскрытие и очищение рек центра ЕЧР проходило раньше нормы на 7-52 дней раньше среднемноголетних сроков: с марта по первую декаду апреля. В первой декаде февраля образовался затор льда на Горьковском водохранилище (р. Волга) у г. Ярославля (наблюдалось затопление пониженных участков городской территории), в начале апреля отмечался маломощный затор льда в нижнем течении р. Ветлуги у с. Марьино.

Вскрытие и очищение рек севера ЕЧР проходило раньше нормы на 8-22 дней раньше среднемноголетних сроков: во второй половине апреля – второй-третьей декаде мая.

Вскрытие и очищение рек АЧР проходило раньше нормы на 4-27 дней раньше среднемноголетних сроков (раньше или в близкие к экстремально ранним датам): март-вторая декада мая. На р. Томи в апреле в районе г. Томска наблюдался затор льда.

Вскрытие рек Сахалинской области произошло в сроки, близкие к норме.

Ледообразование на реках большей части страны осенью 2020 г. происходило **позже нормы**. Появление льда осенью 2020 г. началось в конце первой – в третьей декадах октября на реках Восточной Сибири (на 2-28 дней позже нормы). В первой декаде декабря появился лед на реках бассейна Оби, со второй декады ноября – на реках севера и центра ЕЧР. На 2-13 дней раньше нормы ледообразование началось на Волге ниже Волгограда, установление ледостава на Саратовском и Волгоградском водохранилищах.

- Основные показатели теплообеспеченности сельскохозяйственных культур: продолжительность периода вегетации ($T > 5^{\circ}\text{C}$), суммы температур $> 5^{\circ}\text{C}$ и $> 10^{\circ}\text{C}$ – превышали средние величины за период 2000-2019 г. Возобновление вегетации произошло раньше средних сроков во всех ФО, кроме Северо-Западного в среднем на 7 дней, в ЮФО на 18, а в СКФО на 26 дней. Особенностью агроклиматических условий 2020 года на территории России стала пониженная средняя температура в период вегетации яровых: максимальные отрицательные аномалии наблюдались в ЮФО и СКФО, -2.1 и -2.3°C соответственно, что связано с ранними сроками возобновления вегетации весной. Показатели увлажненности в теплый период были преимущественно ниже средних за предыдущие 20 лет, особенно в ЮФО и СКФО (выше среднего – только в СЗФО, ЦФО и ДФО). Осенние осадки на территории возделывания озимых зерновых культур были ниже средних в Южном (-35%), Приволжском (-40%) и в Центральном (-25%) ФО. Летом на территории ЮФО и СКФО отмечены низкие запасы продуктивной влаги в почве (в среднем за лето 25 и 21 мм соответственно).

Тенденции изменения теплообеспеченности с/х культур положительны на всей территории земледельческой зоны России, в особенности в ЮФО, СКФО и ЦФО. Весенние осадки растут во всех федеральных округах, летние убывают в ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО; здесь же (кроме СКФО) наблюдается значительный рост индекса сухости Будыко.

- В 2020 г. на территории России для измерения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты была задействована 41 площадка CALM. На всех без исключения площадках, располагающихся в Европейской части России и Западной Сибири, наблюдалось существенное увеличение мощности СТС. При этом на нескольких площадках европейского севера мощность СТС достигла рекордных значений с начала наблюдений. В Центральной Сибири мощность СТС по сравнению с 2019 годом практически не изменилась и остается достаточно высокой.

Тренды практически на всех площадках сохраняют положительные значения, что свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в XXI веке. ● В 2020 г. в целом на территории РФ отмечалось 1000 опасных гидрометеорологических явлений, включая агрометеорологические и гидрологические (на

97 явлений больше, чем в 2019 году). Из всех ОЯ, наблюдавшихся в 2020 г., 372 (ранг 11 из 23 лет) нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. В целом за год оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета было выпущено 2118 штормовых предупреждений, оправдываемость которых достигла 95.5%.

В 2020 г. на территории России было зарегистрировано 524 случая (ранг 9 из 23 лет), возникновения метеорологических ОЯ и комплексов метеорологических явлений. По-прежнему высокой была повторяемость сильного ветра, сильных осадков, КМЯ и заморозков (77% от всех опасных метеорологических явлений).

- В целом радиационный режим 2020 г. на территории России был близок к норме. При этом в различные сезоны наблюдались существенные региональные различия и отмечались рекорды сезонных и месячных сумм приходящей радиации. На европейской территории, кроме южных районов, практически во все сезоны доминировали пониженные значения прямой и суммарной радиации. Наибольшая по площади и устойчивая отрицательная аномалия сформировалась в зимний сезон. В АЧР условия были более разнообразными и контрастными. Особенно ярко это проявилось в весенний период, когда обширная и глубокая отрицательная аномалия, наблюдавшаяся в марте в Средней и Восточной Сибири, сменилась в апреле интенсивной положительной аномалией. В центре этой области месячные суммы прямой радиации превысили норму на 80-85% и достигли рекордно-высоких значений. В среднем по территории России аномалии сезонных сумм прямой радиации в весенний сезон также оказались положительными.

Анализ многолетних изменений пространственно-осредненных аномалий годовых сумм радиации показывает, что на территории ЕЧР сохраняется положительная тенденции в изменении прямой радиации. В Средней Сибири в начале XXI века наметилась тенденция к снижению приходящей радиации. В последние годы наблюдались крупные отрицательные аномалии, сопоставимые с рекордно низкими значениями, которые проявляются на фоне сильной межгодовой изменчивости.

- Средняя для РФ годовая продолжительность солнечного сияния была несколько выше нормы 1981-2010 гг. (относительная аномалия $RS=102\%$), существенных аномалий годовых сумм ПСС не наблюдалось. Солнечно было на юге ЕЧР: в ЮФО ($RS=115\%$) и СКФО ($RS=116\%$), где относительные аномалии – максимальные в рядах.

Средние сезонные аномалии в целом для территории РФ были положительными, за исключением зимы ($RS=98\%$). Зимой в ЕЧР наблюдались отрицательные аномалии ПСС ($RS=84\%$). Осенью практически вся территория ЕЧР была занята положительными аномалиями ПСС, RS для региона в целом составила 124% (максимальная величина с 1961 г.), экстремальные значения RS в ЕЧР зафиксированы в сентябре и октябре.

Средняя для АЧР суммарная за год ПСС оказалась равна норме, но для зимы и весны средняя аномалия была положительной, а для лета и весны – отрицательной.

Средняя скорость роста ПСС за период 1976-2010 гг. для территории России в целом составляет 1.2% 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 (1.9%/10 лет и 0.8%/10 лет).

- В целом 2020 г. в тропосфере всего Северного полушария стал рекордно теплым годом с 1958 г. Среднегодовая аномалия температуры (относительно норм 1981-2010 гг.) составила $+0.83^{\circ}\text{C}$, что на 0.18°C больше предыдущего рекорда 2016 г. 2015-2020 гг. являются шестью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария. Рекордно большие аномалии температуры отмечены зимой ($+1.13^{\circ}\text{C}$) и осенью ($+1.01^{\circ}\text{C}$). Весна и лето заняли 3 и 4 место в рядах самых теплых сезонов. В низких широтах каждый сезон, за исключением весны, был рекордно теплым. Весна 2020 г. в низких широтах стала второй самой теплой весной с начала инструментальных наблюдений.

В нижней стратосфере рекордно низкие аномалии температуры наблюдались летом в низких широтах (-2.21°C). В умеренных широтах в среднем по северному полушарию лето (-1.21°C) и осень (-1.21°C) стали вторым самыми холодными сезонами с начала инструментальных наблюдений.

Структура климатических трендов температуры за период с 1981 г. по 2020 г. подтверждает тенденции потепления в тропосфере ($+0.19^{\circ}\text{C}/10$ лет) и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере ($-0.39^{\circ}\text{C}/10$ лет).

- На всей территории страны преобладали отрицательные аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с. Отклонения среднегодовой скорости ветра от среднемноголетних значений в 2020 г. на территории РФ преимущественно отрицательные. При этом весной преобладают положительные аномалии, летом – отрицательные. Во все сезоны, кроме лета, максимальные положительные аномалии скорости ветра отмечены на побережье Таймыра.

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 в большинстве регионов (кроме Севера Восточной Сибири и Якутии зимой).

- В 2020 г. в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались на северо-западе европейской части России. Там наблюдалась область максимальных аномалий скорости ветра в зимний, летний и осенний периоды.

Весной области максимальных аномалий скорости ветра наблюдались на юге России, на западе и на севере Сибири. Зимой, летом и осенью над большей частью территории России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому, но весной на востоке ЕЧР наблюдались значительные положительные аномалии меридионального ветра, а осенью в этом же районе – отрицательные аномалии меридионального ветра. Также отрицательные аномалии меридионального ветра наблюдались весной над территорией Восточной Сибири.

В нижней стратосфере в среднем за год над Россией преобладали положительные аномалии скорости ветра. На широтах выше 60° с.ш. они превышали 3 м/с. Такие аномалии объясняются большими положительными аномалиями скорости ветра над большей частью территории России в зимний (до 12 м/с) и весенний (в отдельных регионах превышали 12 м/с) периоды. Летом и осенью аномалии скорости ветра не превышали 3 м/с по абсолютному значению. Осенью преобладали отрицательные аномалии. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, но на севере Дальнего Востока из-за положительных аномалий зонального ветра среднегодовое направление ветра было смещено восточнее от среднего направления. Такая же аномалия направления наблюдалась зимой, весной и осенью.

- Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2020 г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ, расположенных в фоновых условиях, превысило 415 млн $^{-1}$. Станции, подверженные влиянию региональных источников, также демонстрируют рост концентрации CO_2 . Значения концентраций на этих станциях, как правило, выше фоновых (в 2020 г. 419 млн $^{-1}$ и 428 млн $^{-1}$ на станциях Новый Порт и Обнинск соответственно), в то время как тренд концентрации CO_2 , оцененный по длительному периоду наблюдений, совпадает с полученным для фоновых условий (2.4 млн $^{-1}/\text{год}$ на станции Новый Порт и 2.5 млн $^{-1}/\text{год}$ на станции Обнинск).

Вместе с тем, скорость изменения концентрации CO_2 в 2020 г. (разность значений 2020 г. и 2019 г.) снизилась и составила 1.7 млн $^{-1}/\text{год}$ и 2.2 млн $^{-1}/\text{год}$ для станций Териберка и Тикси соответственно. Эти значения являются минимальными за последние 5 лет наблюдений на рассматриваемых станциях. Изменение CO_2 за 2020 г. меньше среднего за

десятилетний период для этих станций ($2.4 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ и $2.5 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ для станций Териберка и Тикси соответственно), а также среднеглобального значения за период с 2009 г. по 2019 г., составившего $2.37 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$. Предварительные оценки показывают, что сокращение ежегодных глобальных выбросов в результате ограничений, связанных с COVID-19, могут приводить к замедлению темпов роста CO_2 , на величину, не превышающую пределы естественной межгодовой изменчивости в 1 млн^{-1} .

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. В 2020 г. уровни фоновых значений концентрации CH_4 составили $1980.4\text{--}1993.6 \text{ млрд}^{-1}$, возрастание за 2020 г. произошло на 18.6 млрд^{-1} и 9.9 млрд^{-1} (станции Териберка и Тикси соответственно). Для станций Новый Порт и Обнинск концентрации CH_4 примерно на 60 млрд^{-1} выше фоновых, а увеличение CH_4 за 2020 г. составило 14 млрд^{-1} и 22 млрд^{-1} соответственно. Трансформация сезонного хода CH_4 с 2018 г. по 2020 г. на станции Тикси указывает на активизацию эмиссии метана природного происхождения в районе расположения станции.

- На большей части РФ в 2020 г. во всем слое до 320 см преобладают слабые положительные аномалии минимальной за год температуры почвы. В Средней и в Северо-Восточной Сибири аномалии составляют $1\text{--}2^\circ\text{C}$.

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 2°C . Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Северо-Восточной Сибири.

Тенденция повышения минимальной температуры почвы за период 1976–2020 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.

- Над северными регионами территории России в зимне-весенний период 2020 г. наблюдались продолжительные отрицательные аномалии ежедневных значений общего содержания озона. Дефицит достигал 60%. Результатом стало снижение среднегодовых значений ОСО. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2020 г. на большинстве отечественных сетевых станций отрицательные. Причина этого – образование и динамика сильно развитого циркумполярного вихря над Арктикой, что привело к продолжительной отрицательной аномалии полярного арктического озона. В 2020 г. зарегистрированы максимальные по величине за все годы наблюдений с 1979 г. отрицательные аномалии суточных значений полярного озона и в Арктике, и в Антарктике. В Антарктике аномально низкая концентрация (отклонение от средней многолетней более 2.5 стандартных отклонений) полярного озона вообще наблюдалась впервые. Отклонения полярного арктического озона от многолетнего среднего в зимне-весенний период 2020 г. по абсолютной величине превышали аналогичные отклонения антарктического полярного озона. Из-за большой межгодовой изменчивости невозможно получить значимые оценки трендов полярного озона и ОСО в высоких и средних широтах Северного полушария и однозначно определить тенденции дальнейшего поведения озонового слоя.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение	Полное название
WDCGG	World Data Centre for Greenhouse Gases
АЧР	Азиатская часть России
БКП	Биоклиматический потенциал
БКП	Биоклиматического потенциала
ВАОА	Весенняя Антарктическая озоновая аномалия
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ГСА	Глобальная служба атмосферы
ГТК	Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова
Доклад	Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации
ДФО	Дальневосточный федеральный округ
ЕЧР	Европейская часть России
ИС	Индекс сухости М.И. Будыко
КМЯ	Комплекс метеорологических явлений
ММГ	Многолетнемерзлые грунты
МПАБ	Международная программа арктических буёв
мс	Метеорологическая станция
ОСО	Общее содержание озона
ОЯ	Опасные гидрометеорологические явления
ПГ	Парниковые газы
ПСС	Продолжительность солнечного сияния
ПТБЗ	Приокско-Террасный биосферный заповедник
ПФО	Приволжский федеральный округ
СЗФО	Северо-Западный федеральный округ
СКФО	Северо-Кавказский федеральный округ
СЛО	Северный Ледовитый океан
СМП	Северный морской путь
СПО	Северная полярная область
СТС	Сезонно-талый слой
СФО	Сибирский федеральный округ
УФО	Уральский федеральный округ
ЦФО	Центральный федеральный округ
ЮФО	Южный федеральный округ