



Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2022 ГОД



Москва
2023

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 2022 ГОД

Москва, 2023 г.

УДК 551.5
ББК 26.2
Д 63

**Д 63 Доклад об особенностях климата на территории
Российской Федерации за 2022 год. – Москва, 2023. –
104 стр.**

ISBN 978-5-906099-58-7

В Докладе представлены результаты мониторинга климата Российской Федерации за 2022 г., выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе. Приводятся данные о наблюдавшихся в 2022 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, 2023

RUSSIAN FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING
(ROSHYDROMET)

A REPORT
ON CLIMATE FEATURES
ON THE TERRITORY
OF THE RUSSIAN FEDERATION
IN 2022

Moscow, 2023

Настоящий ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ», головной)	М.Ю. Бардин, С.А. Громов, Е.Н. Козлова, Т.В. Платова, Э.Я. Ранькова, О.Ф. Самохина У.И. Антипина
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»)	Г.В. Алексеев, Н.Е. Иванов, В.Ф. Радионов, В.М. Смоляницкий
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)	Т.В. Дементьева, С.Г. Давлетшин, Н.Н. Коршунова, Л.К. Клещенко, А.С. Лавров, А.М. Стерин, А.В. Хохлова, А.Б. Шерстюков
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии» (ФГБУ «ВНИИСХМ»)	А.Д. Клещенко Н.М. Аржанова А.А. Карачёноква, В.Н. Павлова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)	О.А. Анисимов, И.И. Борзенкова, А.А. Ершова, Е.Л. Жильцова К.О. Шаповалова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова» (ФГБУ «ГГО»)	В.А. Задворных, В.М. Ивахов, Н.Н. Парамонова, В.И. Привалов, В.В. Стадник, Е.И. Хлебникова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)	Н.С. Сидоренков, В.А. Акилина В.М. Колий
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория» (ФГБУ «ЦАО»)	Ю.Н. Потанин, Н.С. Иванова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ»)	Б.А. Ашабоков, Л.А. Кешева, А.А. Ташилова, Н.В. Теунова, М.Д. Докукин
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение "Тайфун"» (ФГБУ НПО «Тайфун»)	А.Ф. Нерушев Е.Л. Баранова, В.Н. Вишератин
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)	Т.Р. Жемчугова

с участием и при координации Управления государственной наблюдательной сети и научных исследований (УГСН) Росгидромета.

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
TABLE OF CONTENTS	
ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....	6
OPENING ADDRESS	
ВВЕДЕНИЕ	8
INTRODUCTION	
1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА	11
SURFACE AIR TEMPERATURE	
2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ	18
PRECIPITATION	
3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2021/2022 гг.	25
SNOWCOVER IN WINTER 2021/2022	
4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК	32
RIVER FREEZE-UP AND SPRING BREAK	
5. ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ	33
GLAZE-ICE AND RIME DEPOSITION	
6. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ	39
NORTH POLAR REGION	
7. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА	43
PERMAFROST	
8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	46
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS	
9. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	51
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS	
10. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ.....	54
SOLAR RADIATION	
11. ДЕГРАДАЦИЯ ДОЛИННЫХ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА.....	59
DEGRADATION OF VALLEY GLACIERS OF THE NORTH CAUCASUS	
12. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ.....	61
SUNSHINE DURATION	
13. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ.....	70
TEMPERATURE IN FREE ATMOSPHERE	
14. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА.....	76
WIND	
15. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ	80
WIND IN FREE ATMOSPHERE	
16. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ	85
GREENHOUSE GASES	
17. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ	91
SOIL TEMPERATURE	
18. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ	93
OZONE LAYER	
19. СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ.....	95
STRATOSPHERIC AEROSOL	
ВЫВОДЫ	98
CONCLUSIONS	
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	106
LIST OF ABBREVIATIONS	

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО



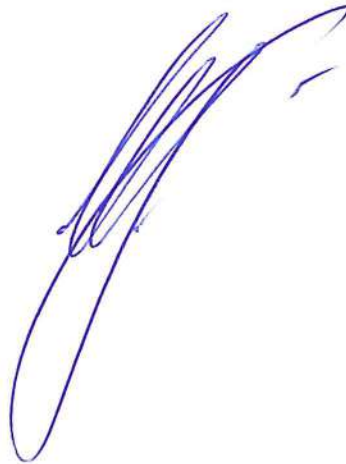
Одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, является глобальное потепление, вызванное растущими выбросами в атмосферу парниковых газов при сжигании углеводородного топлива, как основного источника энергии на современном этапе технологического развития, и связанные с ним неблагоприятные и опасные последствия.

Российская Федерация потенциально уязвима при неблагоприятных изменениях климата: рост среднегодовой температуры после середины 1970-х в два с половиной раза превосходит глобальный, что может повлечь высокий риск засухи в основных зернопроизводящих регионах, деградацию мерзлоты с ущербом зданиям и инфраструктуре, ускоренное таяние ледников с ростом опасности наводнений, лавин в горных районах. С другой стороны, имеются и положительные последствия: увеличенный вегетационный период и теплообеспеченность сельскохозяйственных культур, продолжительное судоходство по трассе Северного морского пути, и другие. Эти вопросы подробно освещены в опубликованном Третьем оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Необходим баланс в учете положительных и негативных последствий при выработке мер по адаптации и смягчения последствий изменения климата. В ряде случаев региональные изменения могут происходить очень быстро, а могут на масштабе десятилетий даже временно менять направление в связи с естественной изменчивостью в климатической системе: ускоренное потепление Арктики с 1990-х, быстрое потепление зим 1970-1995 и последующее похолодание вплоть до 2010 г. Необходима информация о таких колебаниях для своевременной корректировки адаптационных планов. Такая информация является результатом обобщения данных регулярного мониторинга климата, являющегося базовым элементом Глобальной рамочной основы климатического обслуживания под эгидой Всемирной метеорологической организации.

«Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2022 году» является авторитетным источником информации о состоянии и тенденциях изменения климата на территории РФ. Это официальное издание, обобщающее результаты текущих климатических исследований и оперативного климатического

мониторинга, проводимых НИУ Росгидромета. Материалы Доклада основаны на апробированных многолетних рядах данных государственной наблюдательной сети Росгидромета и утвержденных методиках обработки и анализа климатических данных. Доклад содержит сведения об основных особенностях климатических условий на территории РФ и ее регионов и о сложившихся на текущий момент тенденциях их изменения. Представленные в Докладе данные будут полезны широкому кругу пользователей, заинтересованных в актуальной климатической информации: центральным и региональным органам власти, научным организациям, лицам, принимающим решения в секторах народного хозяйства, бизнесе, при разработке мер по адаптации к изменению климата и смягчению их неблагоприятных последствий, при выработке и реализации единой государственной политики в области климата.

Руководитель Росгидромета

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long, sweeping stroke that curves upwards and to the right.

И.А. Шумаков

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 2022 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 двуокиси 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 2022 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: рисунок 1, федеральных округов (ФО): рисунок 2, квази-однородных климатических регионов: рисунки 3, 4.



Рисунок 1 – Физико-географические регионы России (используются в разделах: «Температура воздуха», «Атмосферные осадки»).

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 1991-2020 гг.; в некоторых случаях, когда это было по тем или иным причинам нецелесообразно или невозможно, выбор базового периода специально оговорен в тексте). В качестве дополнительных характеристик аномалий используются показатели, основанные на функции распределения (вероятности непревышения, процентиля) и порядковые статистики (ранги, т.е. порядковые номера в упорядоченном ряду значений); периоды для оценки этих статистик специально оговариваются в каждом случае.



Рисунок 2 – Федеральные округа Российской Федерации.



Рисунок 3 – Квази-однородные климатические регионы (используются в разделах: «Снежный покров», «Продолжительность солнечного сияния», «Режим приземного ветра»): **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.

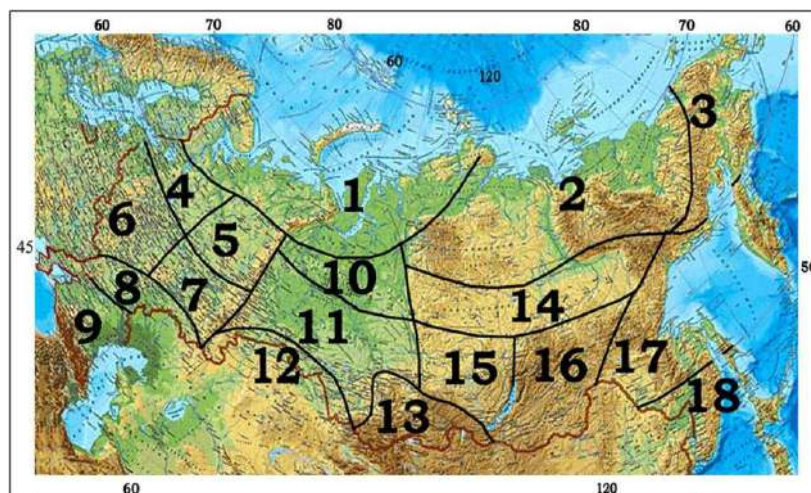


Рисунок 4 – Квази-однородные климатические регионы (используется в разделе «Гололедно-изморозевые отложения на территории России»): 1, 2, и 3— атлантическая, сибирская и тихоокеанская Арктика, соответственно; 4, 5, 6, 7, и 8— северо-запад, северо-восток, юго-запад, юго-восток и степная часть Восточно-Европейской равнины, соответственно; 9— степи и предгорье Северного Кавказа; 10 и 11— северная и южная части лесной зоны Западной Сибири, 12—степная зона Западной Сибири, 13—Алтайские и Саянские горы и предгорье, 14, 15, и 16—Восточная Сибирь: центральная часть, бассейн Ангары и Забайкалье, соответственно, 17 и 18—Дальний Восток между 50°N и 60°N и южнее 50°N, соответственно.

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://www.igce.ru/performance/publishing>), 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 «ГГО» (<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>).

1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Данные. В разделе использованы данные о температуре приземного воздуха месячного разрешения на сети 702 метеорологических станций России, стран СНГ и Балтии (<http://www.igce.ru/performance/publishing>, 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 (рисунки 1-5 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 сайте <http://www.igce.ru/performance/publishing>. 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 1936-2021 гг. Ранги приведены для ряда 1936-2022 гг.

Особенности температурного режима в 2022 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.

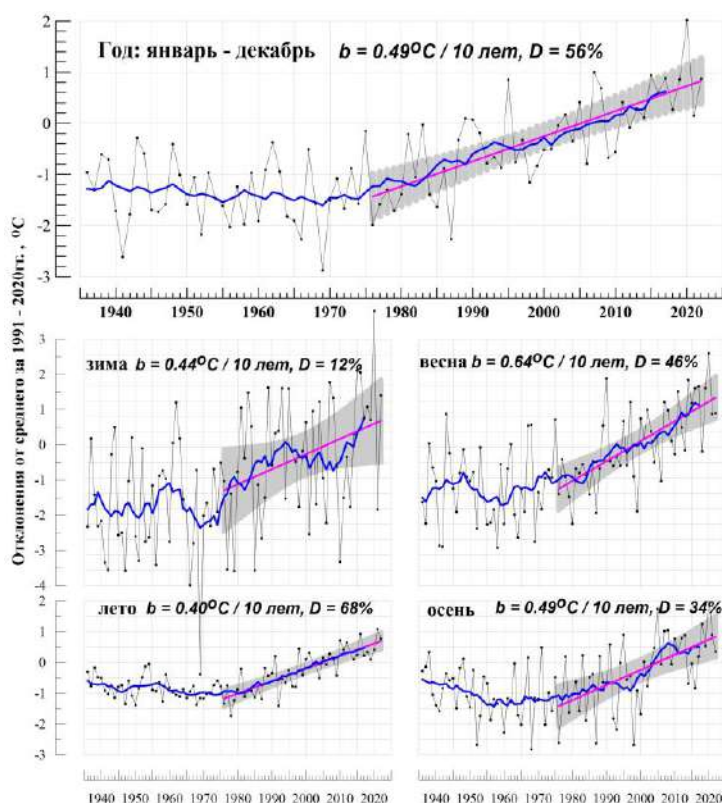


Рисунок 1.1 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные по территории России, 1936-2022 гг.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1991-2020 гг. Показаны также 11-летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2022 гг. с 95%-й доверительной полосой, b – коэффициент тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), D (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию

2022 год для России в целом занял 5-е место в ранжированном по убыванию ряду среднегодовых температур с 1936 года, аномалия среднегодовой температуры воздуха (отклонение от среднего за 1991-2020 гг.) составила $+0,87^{\circ}\text{C}$.

Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны (кроме Саян). Доля площади страны с аномалиями более 80-го перцентиля составила 92% (ранг 2: больше было только в 2020 г. (99%)). 95%-е экстремумы отмечены на севере страны, в Хабаровском крае, на Сахалине, на Камчатке; а также на юге ЕЧР (ранги средних температур по всем регионам и федеративным округам с третьего по седьмой, исключение регион Прибайкалье и Забайкалье). Аномально теплым сезоном было лето: осредненная по РФ аномалия температуры составила $+0,77^{\circ}\text{C}$ – третья

величина в ряду (после 2021 (+1,08°C) и 2016 (+0,93°C), особенно тепло в ЕЧР (+1,69°C – ранг 2) и в ДФО (+0,72°C – ранг 4).

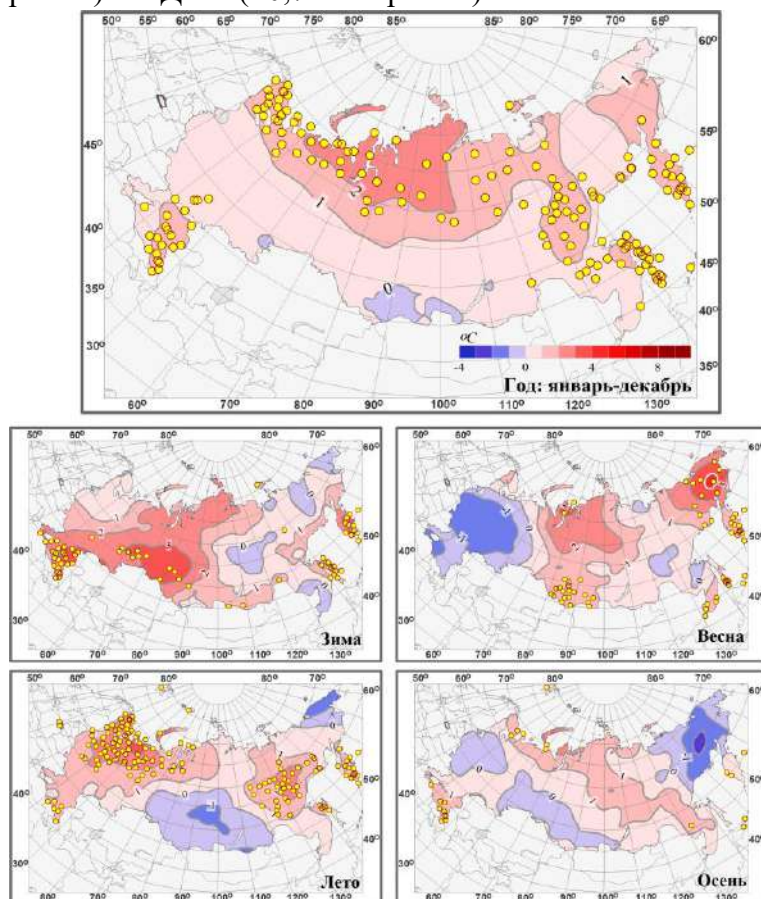


Рисунок 1.2 – Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2022 г. (отклонения от средних за 1991-2020 гг.) с указанием локализации 95%-х экстремумов (желтые кружки)

Февраль. Средняя по РФ аномалия составила +2,76°C (ранг 7), а по ЕЧР: +5,23°C (ранг 5). Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части территории страны (кроме района Байкала и северо-востока страны). 95%-е экстремумы отмечались на большей части ЕЧР (осредненные по федеральным округам ЕЧР аномалии температуры среди семи самых высоких), в УФО (+6,86°C – ранг 5), в Хабаровском крае, на Сахалине, на юге Камчатки. Зона максимальных положительных аномалий месячной температуры воздуха (более +8°C) протянулась от Полярного Урала до Нижней Волги (рисунок 1.3). В Уфе февраль 2022 года оказался одним из самых теплых за период с 1888 года, разделяя второе место с 2020 годом и уступая только 2002 г. Среднесуточная температура в течение всего месяца значительно превышала климатическую норму не только средней температуры, но и максимальной. Особенно теплой выдалась последняя декада месяца,

Зимой 2021/22 г. осредненная по территории РФ сезонная аномалия +1,40°C (ранг 9). На большей части страны температуры были выше климатической нормы. 95%-е экстремумы отмечались на юге ЕЧР (в ЮФО средняя по региону аномалия +2,96°C – ранг 2, в СКФО: +2,48°C – ранг 2), на юге Западной Сибири и Средней Сибири, на Сахалине, на Камчатке. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в некоторых областях Дальнего Востока.

Январь. Средняя по РФ аномалия составила +1,84°C. Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (на севере Средней Сибири аномалии до +6,9°C). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в среднем течении Лены, в Приморье (аномалии около -4°C).

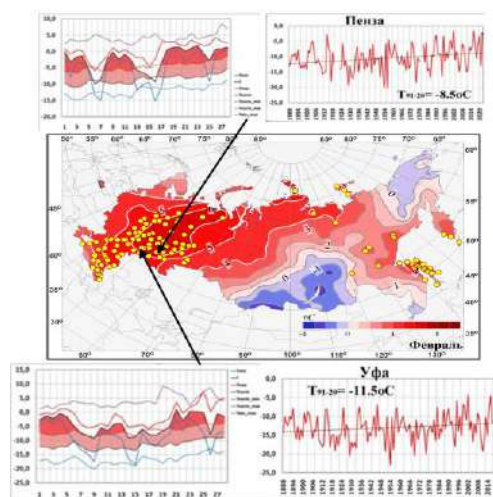


Рисунок 1.3 – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в феврале 2022. На врезках ряды среднемесячной февральской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в феврале 2022 года на метеостанциях Пенза и Уфа в очаге максимальных температурных аномалий

дважды обновлялись суточные рекорды максимальной температуры воздуха (25 и 28 февраля).

Температуры ниже климатической нормы в феврале наблюдались в Прибайкалье и Забайкалье, на северо-востоке страны (аномалии до $-2,4^{\circ}\text{C}$).

Весной средняя по РФ аномалия составила $+0,59^{\circ}\text{C}$ (ранг 13). На большей части АЧР температуры были выше климатической нормы; 95%-е экстремумы отмечались в Восточной Сибири ($+1,68^{\circ}\text{C}$ – ранг 4), на юге СФО, в Приморье, на Сахалине. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР ($-0,84^{\circ}\text{C}$, так холодно в ЕЧР весной после 2000 г. было лишь в 2005 г.), в отдельных районах ДФО.

В марте средняя по РФ аномалия составила $+0,32^{\circ}\text{C}$. Температуры выше климатической нормы наблюдались вдоль побережья Северного Ледовитого океана, на большей части ДФО (осредненная по Восточной Сибири аномалия температуры составила $+3,32^{\circ}\text{C}$ – ранг 5). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР (кроме Карелии, Кольского полуострова, побережья Баренцева моря), в центре и на юге УФО ($-1,31^{\circ}\text{C}$) и СФО ($-0,84^{\circ}\text{C}$).

Апрель. Средняя по РФ аномалия составила $+0,87^{\circ}\text{C}$. Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге и юго-востоке ЕЧР (особенно в СКФО: $+2,49^{\circ}\text{C}$ – ранг 5), на Урале, в СФО, на Чукотке, на Камчатке, на Сахалине. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в центре и на севере ЕЧР, в ряде районов ДФО.

Таблица 1.1 – Средние годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2022 г. vT – отклонения от средних за 1991-2020 гг.; s – среднее квадратическое отклонение за 1991-2020 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	
	$vT, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$vT, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$vT, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$vT, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$vT, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$
Россия	0,87	0,75	1,40	1,62	0,59	1,17	0,77	0,51	0,35	1,12
Физико-географические регионы										
ЕЧР	0,87	0,77	1,75	2,07	-0,84	1,08	1,69	1,00	0,44	1,31
АЧР	0,87	0,80	1,26	1,65	1,12	1,35	0,43	0,48	0,31	1,15
Западная Сибирь	0,95	1,05	2,72	2,77	1,27	1,93	0,34	0,96	0,22	1,60
Средняя Сибирь	1,05	1,09	0,97	2,57	1,00	1,69	0,48	0,67	0,92	1,53
Прибайкалье и Забайкалье	0,19	0,75	0,90	1,97	0,65	1,31	0,39	0,62	0,48	1,13
Приамурье и Приморье	0,73	0,51	0,52	1,37	0,46	1,10	0,63	0,62	0,80	0,94
Восточная Сибирь	1,04	0,88	0,77	1,41	1,68	1,45	0,82	0,60	-0,52	1,37
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	1,16	0,98	0,96	2,59	-0,28	1,45	2,31	0,81	0,51	1,60
Центральный	0,59	0,80	1,42	2,22	-1,40	1,06	1,62	1,13	-0,13	1,44
Приволжский	0,62	0,80	2,43	2,40	-1,33	1,35	1,19	1,16	0,33	1,41
Южный	0,94	0,89	2,96	1,82	-0,88	1,02	1,15	1,23	0,94	1,38
Северо-Кавказский	1,00	0,83	2,48	1,46	-0,58	0,96	1,14	1,05	1,49	1,26
Уральский	1,27	1,22	2,64	2,95	1,06	2,15	0,97	1,13	0,38	1,83
Сибирский	0,69	1,00	1,79	2,73	1,31	1,62	-0,38	0,63	0,47	1,48
Дальневосточный	0,86	0,71	0,68	1,14	1,02	1,26	0,72	0,51	0,22	1,03

Май. Средняя по РФ аномалия составила $+0,62^{\circ}\text{C}$. В мае сложились контрастные температурные условия, осредненная по ЕЧР аномалия температуры составила $-2,08^{\circ}\text{C}$ (среди 20-ти самых холодных), по АЧР: $1,62^{\circ}\text{C}$ (ранг 2). Температуры выше климатической нормы (на большинстве станций отмечались 95-е экстремумы) наблюдались в УФО ($2,64^{\circ}\text{C}$ – ранг 4) и в СФО ($3,29^{\circ}\text{C}$ – ранг 2), на северо-востоке страны. Очаг максимальных положительных аномалий находился в Ямало-Ненецком АО. На метеорологических станциях Надым и Тарко-Сале май 2022 года стал вторым самым теплым, уступая только 2020 году. Превышение климатической нормы на $7-10^{\circ}\text{C}$ наблюдалась в регионе во второй и третьей декадах (рисунок 1.4). Температуры ниже

климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР (на многих станциях ЦФО отмечены 5%-е экстремумы, средняя по округу аномалия $-3,18^{\circ}\text{C}$ – минимальная величина

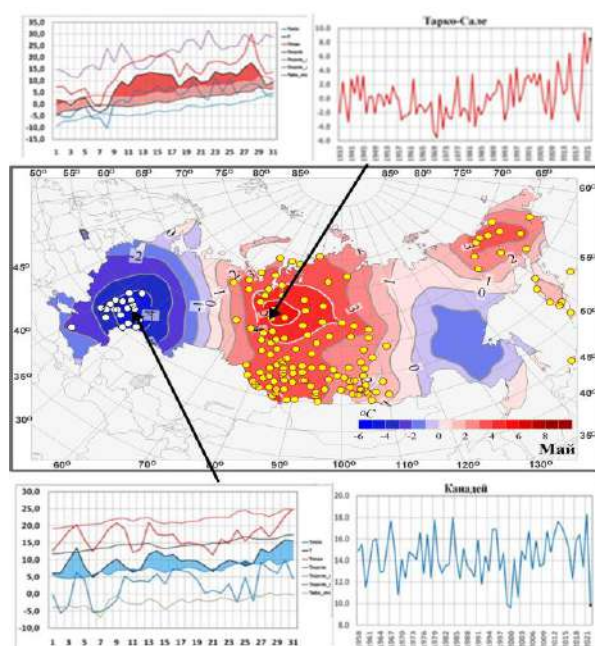


Рисунок 1.4 – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в мае 2022. На врезках ряды среднемесячной майской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха года на метеорологических станциях Тарко-Сале (в очаге максимальных температурных аномалий) и Канадей (в очаге отрицательных температурных аномалий)

центральных и южных районах СФО, в районе Байкала, на Чукотке (аномалии до -2°C).

Июнь. Средняя по РФ аномалия составила $+0,69^{\circ}\text{C}$. Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме Поволжья, и юга Западной Сибири, Магаданской области, Чукотки, Приморья и Сахалина). 95%-е экстремумы отмечались в нижнем течении Енисея, в центральных районах ДФО ($+0,87^{\circ}\text{C}$ – ранг 5). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в Поволжье, на юге Западной Сибири (аномалии до -2°C); а также в отдельных районах ДФО.

В **июле** средняя по РФ аномалия составила $+0,79^{\circ}\text{C}$ (ранг 3). Температуры выше нормы наблюдались на севере и в центре ЕЧР (95%-е экстремумы на севере ЕЧР), на севере АЧР (до Чукотки) в центре и на юго-востоке ДФО (95%-е экстремумы на юге ДФО ($1,44^{\circ}\text{C}$ – ранг 3)). В целом по АЧР июль был аномально теплым: $+0,73^{\circ}\text{C}$, ранг 2). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в ЮФО, на юге СФО, на Чукотке.

Август. Средняя по РФ аномалия составила $+0,83^{\circ}\text{C}$, а по ЕЧР $+3,50^{\circ}\text{C}$ – максимальная величина в ряду. Температуры выше нормы наблюдались на ЕЧР, в Западной Сибири (на ЕЧР всюду отмечались 95% -е экстремумы, средние аномалии по всем федеральным округам ЕЧР среди четырех самых крупных); в Якутии, Магаданской области, на Камчатке (на большинстве станций Камчатки фиксировались 95%-е экстремумы). В СФО и на юге ДФО температуры были ниже климатической нормы (на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы). В целом по АЧР август попал лишь в конец третьего десятка при средней отрицательной аномалии $-0,15^{\circ}\text{C}$.

Осень. Средняя по РФ аномалия составила $+0,35^{\circ}\text{C}$ (в ряду в середине второго десятка). На большей части страны аномалии по модулю не превышали 1°C . 95%-е экстремумы наблюдались вдоль побережья Белого моря, на юге ЕЧР. Аномалии ниже -1°C наблюдались на северо-востоке страны.

Сентябрь был прохладным. Средняя по РФ аномалия составила $-0,28^{\circ}\text{C}$ (в ряду в конце третьего десятка), а в ЕЧР – в конце четвертого десятка ($-0,67^{\circ}\text{C}$). Отрицательные

в XXI веке), в центре и на юго-востоке ДФО. Рекорды холода, то есть новые суточные минимумы температуры, регистрировались от Вологодской области до Нижней Волги. На метеорологической станции Канадей (рисунок 1.4), где среднесуточная температура воздуха в течение месяца, за исключением одного дня, была ниже климатической нормы, май 2022 года оказался самым холодным за весь период наблюдений на станции. Суточные температурные рекорды минимальной температуры обновлялись 6 раз.

Лето осредненная по РФ в целом аномалия составила $+0,77^{\circ}\text{C}$, по ЕЧР: $+1,69^{\circ}\text{C}$ – третьи величины в соответствующих рядах. 95%-е экстремумы отмечались, в центре и на севере ЕЧР и на севере Западной Сибири, в предгорьях Кавказа; а также на юге Якутии, в Хабаровском крае, на Камчатке, на Сахалине. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в

аномалии температуры наблюдались на большей части страны, аномалии на западе ЕЧР до $-3,0^{\circ}\text{C}$, в центре Сибири около -2°C . Температуры выше климатической нормы наблюдались в южных районах страны, на северо-востоке Якутии, на Камчатке (на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы).

Октябрь был теплым. Средняя по РФ аномалия составила $+1,44^{\circ}\text{C}$ (ранг 6). Температуры выше климатической нормы наблюдались практически всюду (кроме предгорий Кавказа и Забайкалья). 95%-е экстремумы отмечались на севере и востоке ЕЧР (особенно теплые условия в СЗФО ($+2,3^{\circ}\text{C}$ – ранг 4)), в центральных и северных областях АЧР (в УФО аномалия температуры составила $+2,69^{\circ}\text{C}$ (ранг 3), в Средней Сибири $+3,58^{\circ}\text{C}$ (ранг 4)).

Ноябрь. Средняя по РФ аномалия составила $-0,12^{\circ}\text{C}$. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в центре ЕЧР, на Урале, в Западной Сибири, на севере АЧР восточнее Таймыра. Тепло (фиксировались 95%-е экстремумы) в СКФО ($+2,17^{\circ}\text{C}$ – ранг 5) в Приамурье и Приморье.

Декабрь 2022 г. (рисунок 1.5).

Средняя по РФ аномалия составила $+0,66^{\circ}\text{C}$.

Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге ЕЧР, в центральных и северных районах Средней Сибири, на Чукотке и Камчатке (аномалии около $+6^{\circ}\text{C}$).

Температуры ниже климатической нормы в центре и на севере ЕЧР, на юге Западной Сибири, на Алтае и в Саянах (аномалии ниже -3°C), на юге Якутии, в Магаданской области.

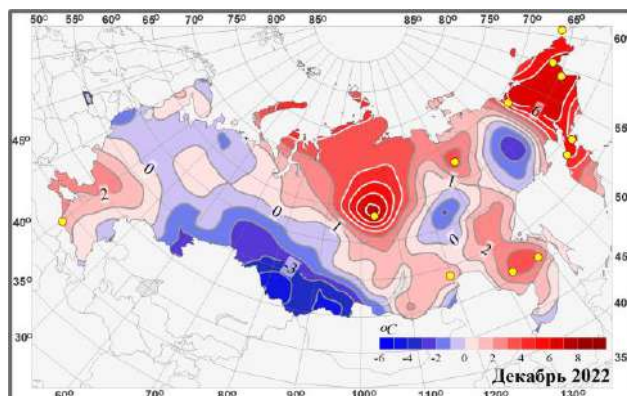


Рисунок 1.5 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2022 г.

Тенденции изменений температуры воздуха

Региональные оценки трендов, полученные по временным рядам пространственно осредненных аномалий температуры за 1976-2022 гг., приведены в таблице 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). Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила $+0,49^{\circ}\text{C}/10$ лет (вклад в общую изменчивость 56%). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур ($0,64^{\circ}\text{C}/10$ лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($0,40^{\circ}\text{C}/10$ лет: описывает 68% суммарной дисперсии). Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: ($0,74^{\circ}\text{C}/10$ лет для ЮФО). Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой все еще наблюдается минимальная область убывания температуры. Потепление зим 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 очень слаб.

Наибольшая скорость роста среднегодовой температуры отмечается на побережье Северного Ледовитого океана, особенно в АЧР ($+0,8^{\circ}\text{C}/10$ лет - $+1,1^{\circ}\text{C}/10$ лет на Таймыре

и на побережье Восточно-Сибирского моря). Весной и осенью максимум потепления – на побережье Восточно-Сибирского моря, а зимой – на северо-западе ЕЧР.

Летом самое быстрое потепление происходит в ЕЧР южнее 55° ш. Кроме того, необходимо отметить следующие особенности: весной интенсивное потепление наблюдается в Западной (+0,78°С/10 лет) и Средней Сибири (+0,83°С/10 лет); а также в Восточной Сибири весной (+0,77°С/10 лет) и осенью +0,76°С/10 лет; летом в ЮФО, ЦФО и СКФО (+0,74°С/10 лет, +0,61°С/10 лет и +0,62°С/10 лет).

Осенью незначимые тренды (даже на 5% уровне) отмечаются в 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 1976-2022 гг.: *b* – коэффициент линейного тренда (°С/10 лет), *D* – вклад тренда в дисперсию (%); цветом выделены тренды, не значимые на 1%-м уровне.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
Россия										
Россия	0,49	56	0,44	12	0,64	46	0,40	68	0,49	34
Физико-географические регионы										
ЕЧР	0,53	53	0,66	15	0,42	23	0,52	41	0,52	31
АЧР	0,48	51	0,36	9	0,73	46	0,36	67	0,48	29
Западная Сибирь	0,40	27	0,30	2	0,78	32	0,25	14	0,30	7
Средняя Сибирь	0,56	40	0,46	6	0,83	40	0,45	49	0,48	15
Прибайкалье и Забайкалье	0,40	38	0,31	5	0,63	34	0,42	46	0,27	10
Приамурье и Приморье	0,38	50	0,39	13	0,42	25	0,25	24	0,45	32
Восточная Сибирь	0,56	61	0,33	11	0,77	44	0,40	54	0,76	48
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	0,56	43	0,76	13	0,46	19	0,47	34	0,53	25
Центральный	0,57	50	0,76	17	0,39	17	0,61	37	0,54	29
Приволжский	0,48	43	0,53	9	0,42	17	0,45	22	0,52	23
Южный	0,56	53	0,61	19	0,43	22	0,74	54	0,49	25
Северо-Кавказский	0,48	56	0,53	25	0,36	25	0,62	56	0,44	24
Уральский	0,48	30	0,43	4	0,77	27	0,32	15	0,37	9
Сибирский	0,42	30	0,32	3	0,82	40	0,30	36	0,27	6
Дальневосточный	0,51	63	0,37	17	0,67	43	0,40	63	0,62	48

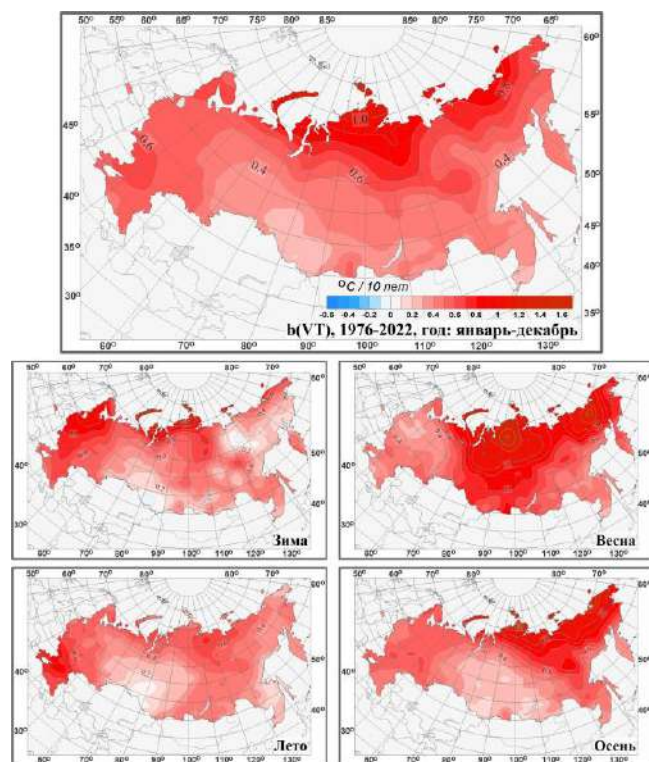


Рисунок 1.6 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2022 гг. (°С/10 лет)

Не считая зимы, во все сезоны для почти всех регионов тренд потепления значим на уровне 1%.

Зимой из-за сильных колебаний масштаба нескольких десятилетий оценки тренда очень неустойчивы. Оцененный за период 1976-2014 гг. зимний тренд по РФ был +0,15°С/10 лет и незначим даже на уровне 5%, а для 1976-2020 увеличился до +0,48°С/10 лет и стал формально значим благодаря выдающейся зиме 2019/20 гг. – на 1,5°С выше предыдущего максимума температуры зимой 2014/15 гг. За период 1976-2022 оценки тренда зимней температуры несколько уменьшились (в основном из-за достаточно холодных условий предыдущей зимы 2020/21), но тренд остается значимым на уровне 5%.

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 аномалии температуры приведены относительно базового периода 1961-1990 гг.

Был проведен анализ аномалий средней сезонной температуры в 2022 г., сезонного (годового) индекса максимальных и минимальных температур в 2022 году, а также тенденции их изменений за период 1976-2021 гг. В таблице 1.3 приведены данные об аномалиях температуры в 2022 г. В 2022 г. на всех станциях наблюдались положительные аномалии сезонных и годовых **средних** температур, за исключением весеннего сезона в Терсколе (отрицательная аномалия более, чем 1σ) и Теберде (отрицательная аномалия в пределах одного стандартного отклонения).

В летний сезон на всех метеорологических станциях имели место положительные аномалии средних температур, превышающие $1,69\sigma$. На станциях Налчик и Прохладная 95%-ные экстремумы отмечались в зимний сезон, и на м/станции Ахты в осенний сезон.

В таблице 1.4 приведены характеристики линейного тренда за 1976-2021 гг. Параметры линейных трендов средних годовых и сезонных температур (таблица 1.4, рисунок 1.7) указывают на продолжение потепления на территории Кавказского региона. На предгорной м/станции Налчик и степной м/станции Прохладная с 1976 года наблюдались максимальные скорости роста среднегодовой температуры: $0,56^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ ($D=57\%$) и $0,51^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ ($D=53\%$) соответственно.

Наиболее высокие темпы роста средних температур наблюдаются летом во всех климатических зонах (включая высокогорную станцию Терскол, на которой в остальные сезоны тренд за указанный период практически отсутствует) и зимой.

Рост годовых температур обусловлен ростом максимальных температур, особенно в предгорном ($0,73^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$, $D=27\%$) и степном ($0,94^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$, $D=38\%$) 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 2022 г.: νT – отклонения от нормы (средние за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2022 гг., розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ , оранжевым – более $1,69\sigma$ (5 и 95% - ные экстремумы при Гауссовом распределении), голубым и синим – те же значения для отрицательных аномалий

Название станции и высота н.у.м. (м)	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C
Средние температуры										
Ахты (1281)	2,0	0,9	3,1	1,88	0,6	1,24	2,6	1,13	2,7	1,28
Теберда (1335)	1,1	0,81	1,7	1,80	-0,6	0,91	2,0	1,03	1,7	1,04
Терскол (2144)	0,6	0,67	1,0	1,64	-1,2	0,93	1,9	0,92	1,0	1,03
Налчик (500)	1,7	1,0	3,9	1,85	0,6	1,19	2,5	1,25	0,6	1,19
Прохладная (198)	2,1	0,99	3,9	1,93	0,4	1,16	2,7	1,23	2,4	1,16
Абсолютный максимум температур										
Ахты	-0,7	2,6	2,7	2,33	1,5	2,17	1,0	2,53	4,5	2,98
Теберда	1,4	2,14	1,1	2,25	0,8	1,93	1,1	2,13	2,3	2,5
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Налчик	2,8	1,8	3,4	2,9	3,1	2,4	2,2	1,8	3,3	2,4
Прохладная	3,7	1,94	5,0	3,28	3,6	2,54	2,3	1,97	4,4	2,52
Абсолютный минимум температур										
Ахты	2,5	2,76	2,4	2,91	1,2	3,63	2,2	2,33	2,3	3,11
Теберда	2,3	3,13	-0,5	3,02	0,7	3,97	3,1	1,85	2,7	3,78
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Налчик	3,0	4,58	6,4	4,64	1,3	4,34	3,3	2,13	0,2	3,58
Прохладная	3,5	4,84	6,1	5,01	0,7	4,26	3,5	2,71	2,5	3,37

Примечание: индексы максимальных температур рассчитаны 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.); индексы минимальных температур рассчитаны аналогично для минимальных за сутки температур

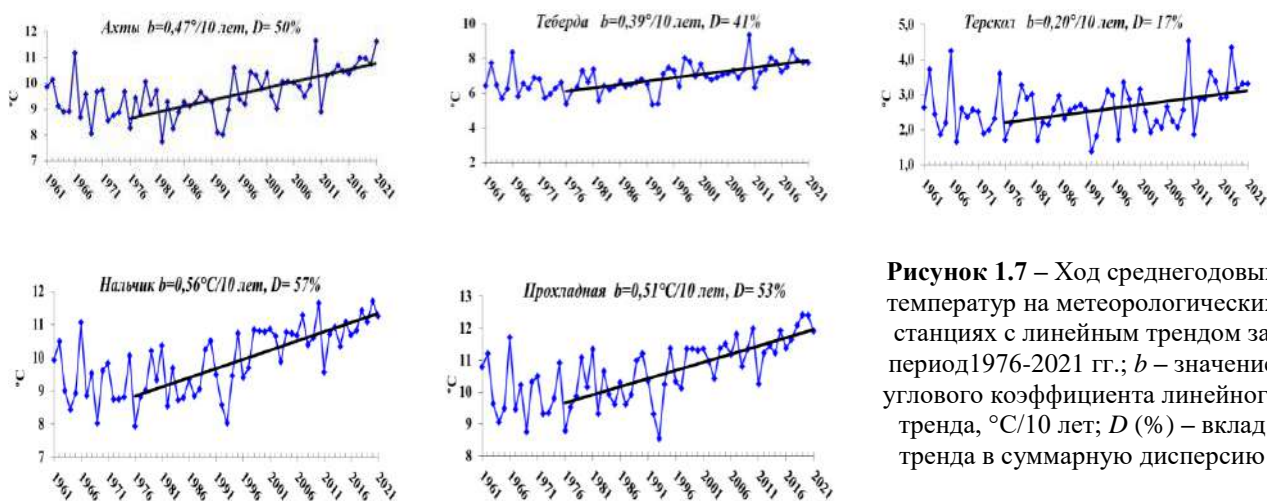


Рисунок 1.7 – Ход среднегодовых температур на метеорологических станциях с линейным трендом за период 1976-2021 гг.; b – значение углового коэффициента линейного тренда, °C/10 лет; D (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию

Таблица 1.4 – Характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2021 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режимов температуры на станциях Кавказского региона. T – средняя температура, Min – абсолютный минимум, Max – абсолютный максимум, b – значение углового коэффициента линейного тренда (°C /10 лет), D (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию.

		Ахты		Теберда		Терскол		Нальчик		Прохладная	
		B	D	b	D	b	D	b	D	b	D
Год	T	0,47	50,0	0,39	41,0	0,20	17,0	0,56	57,0	0,51	53,0
	Min	0,7	13,0	0,6	8,0	-	-	0,68	4,0	0,8	5,0
	Max	0,5	8,0	0,3	5,0	-	-	0,73	27,0	0,94	38,0
Зима	T	0,55	21,0	0,43	10,0	0,30	7,0	0,58	23,0	0,53	19,0
	Min	0,51	6,0	0,6	7,0	-	-	0,6	3,0	0,62	3,0
	Max	1,0	20,0	0,3	4,0	-	-	0,31	3,0	0,57	6,0
Весна	T	0,4	20,0	0,3	16,0	0,17	5,0	0,49	30,0	0,47	31,0
	Min	1,0	16,0	1,2	17,0	-	-	1,17	17,0	1,01	13,0
	Max	0,9	13,0	0,4	7,0	-	-	0,44	7,0	0,66	13,0
Лето	T	0,57	50,0	0,53	50,0	0,43	44,0	0,69	58,0	0,68	58,0
	Min	0,2	1,4	0,6	24,0	-	-	0,53	12,0	0,53	8,0
	Max	0,92	12,0	0,31	4,0	-	-	0,73	27,0	0,95	37,0
Осень	T	0,4	14,0	0,4	20,0	0,07	1,0	0,45	20,0	0,36	15,0
	Min	0,1	0,2	1,1	14,0	-	-	0,7	17,0	0,73	18,0
	Max	-0,1	0,0	0,14	0,5	-	-	0,19	0,5	0,15	0,4

Примечание: серым цветом выделены отрицательные тенденции переменной; жирным выделены статистически значимые тренды

2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

Данные. Используются 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 2022 г. использованы данные КЛИМАТ, своевременно поступившие по каналам связи. Годовые и сезонные суммы осадков выражены в мм/месяц, то есть приведены к масштабу месячных сумм осадков, либо выражены в процентах нормы 1991-2020 гг.

Особенности режима атмосферных осадков в 2022 году

На рисунке 2.1 приведены временные ряды аномалии среднегодовых и сезонных осадков (% от нормы) для России в целом, а на рисунке 2.3 карты – среднегодовых и сезонных аномалий осадков. На всех графиках показаны 11-летние скользящие средние, линейные тренды за 1976-2022 гг. с 95%-й доверительной полосой. В таблице 2.1

приведены данные об аномалиях пространственно осредненных осадков для России, ее физико-географических регионов, федеральных округов (рисунок 1, 2 Введения). Аномалии, попавшие на одно из первых или последних 5 мест в ранжированном по убыванию ряду осадков (с 1936 года), выделены.

В **2022 г.** средняя по России годовая сумма осадков составила 105% нормы (ранг 6-7). Доля площади с значительным избытком осадков (более 80-го перцентилия) составила 36% (вторая величина после 2013 (38%)), с дефицитом осадков – 11%. Значительный избыток осадков (рисунок 2.2) наблюдался на большей части АЧР (106% – ранг 4-5), особенно много осадков выпало на Среднесибирском плоскогорье и далее на восток (в Средней Сибири выпало 120% – максимум в ряду), в ДФО 113%: ранг 2-3 – в основном, за счет «влажного» лета. Много осадков выпало в центре ЕЧР (в ЦФО 116% – ранг 5) – за счет осени. Сильный дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался в Саянах (за счет весны и осени), а также в районе Обской губы.

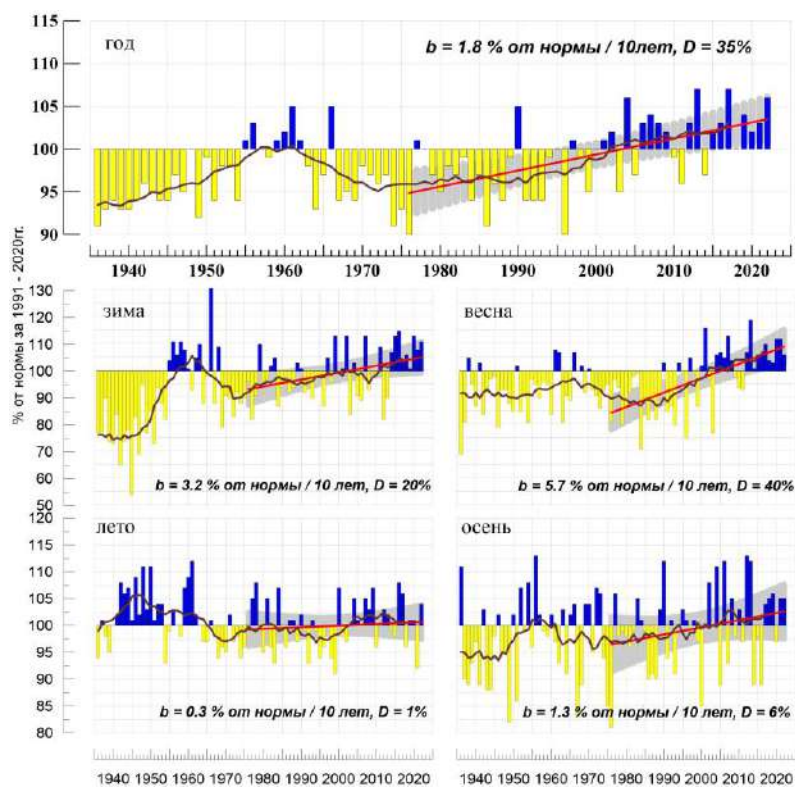


Рисунок 2.1 – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (мм/месяц), осредненные по территории России, 1936-2022 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1991-2020 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976-2022 гг.;
b – коэффициент тренда (% от нормы / 10 лет), D – вклад тренда в суммарную дисперсию (%)

Из сезонов выделяется «снежная» **зима** в ЕЧР (120% – ранг 3) и на Урале (в УФО выпало 124% нормы – ранг 5), «влажное» **лето** в Средней Сибири (139% – ранг 1), «влажная» **осень** в центральных районах ЕЧР, особенно в ЦФО (143% – ранг 5). Следует особо отметить «сухую» **осень** в Западной Сибири (82% нормы – среди пяти «самых сухих») и засушливые условия летом всюду на ЕЧР (83% – среди пяти самых сухих).

Зимой 2021/22 гг. осадки, осредненные в целом по РФ, составили 111% нормы (ранг 8-10), а по ЕЧР – 120% (ранг 3). 95%-е экстремумы осадков фиксировались на ЕЧР (кроме СКФО), в центре Западной Сибири (в УФО: 124% (ранг 5)). Дефицит осадков наблюдался на

Таймыре, на большей части ДФО (кроме Восточной Сибири и верховьев Алдана).

Январь. Осредненные по РФ осадки: 112% нормы (среди 10 наибольших). Избыток осадков наблюдался на ЕЧР: 127% (ранг 3-4), в Западной Сибири, в районе Байкала, в Магаданской области и на Камчатке. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на большей части ДФО, особенно на Чукотке и в Амурской области.

Февраль. Осредненные по РФ осадки 102% нормы (отметим, что, несмотря на близость к норме 1991-2020 гг. это значение во втором десятке; то есть, норма указанного периода значительно выше медианы всего ряда). Избыток осадков (более 120%) наблюдался на большей части ЕЧР (особенно в Карелии, в Ростовской области, в Поволжье). Дефицит осадков наблюдался на большей части АЧР, наиболее сильный

(менее 80% нормы) на Алтае и в Саянах, в бассейне Амура, в Хабаровском крае, на Камчатке, на Чукотке.

Весна.

Осредненные по территории РФ осадки составили 106% нормы (в ряду в середине второго десятка). Много осадков выпало в центре и на востоке ЕЧР: в ЦФО (118%), в ПФО (123%), в центре и на востоке АЧР, особенно в ДФО (115%). Дефицит осадков наблюдался на севере ЕЧР: в СЗФО (77%); а также на Алтае, в Саянах, в Забайкалье (в регионе Прибайкалье и Забайкалье выпало 76% сезонной нормы).

Март.

Осредненные по РФ осадки 96% нормы. Избыток осадков (более 120%) наблюдался на юге ЕЧР, в центре и на юге АЧР, особенно в Приамурье и Приморье (123%), на Камчатке. Дефицит осадков

(менее 80% нормы, местами 40-60%) наблюдался в центре и на севере ЕЧР: в ЦФО (57%) и в СЗФО (61%), на азиатском побережье Северного Ледовитого океана, в Якутии.

Апрель. Осредненные по РФ осадки 114% нормы (в ряду в начале второго десятка). Значительный избыток осадков (более 120% нормы, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался в центре ЕЧР: в ЦФО (188% – максимальная величина в ряду), в ПФО (131%), на севере СФО, в ряде районов ДФО (121%). Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на севере ЕЧР, а также на юге (в предгорьях Кавказа), на юге Западной Сибири, в верхнем течении Амура, на севере Якутии.

Май. Осредненные по РФ осадки: 104% нормы (в ряду в начале третьего десятка). Избыток осадков наблюдался в центре и на востоке ЕЧР (в ПФО выпало 148%), на Урале (в УФО выпало 139%), в центре и на востоке ДФО: в Якутии, в Хабаровском крае, на Сахалине. Сильный дефицит осадков (40-80% нормы, на многих станциях фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в Прибайкалье и Забайкалье (53% нормы – среди четырех самых «сухих») и в СФО (67% – также среди четырех самых «сухих»); а также на севере ЕЧР и в районе Обской губы, на Чукотке.

Лето. Осредненные по РФ осадки составили 104%. Лето было сухим в ЕЧР (среди пяти самых сухих) и влажным в АЧР: ранг 6-7. Дефицит осадков наблюдался на ЕЧР и в Западной Сибири, наиболее сильный (5%-е экстремумы) – в ЦФО (75% – среди 9 самых сухих), в ПФО (72% – среди 8 самых сухих) и в УФО (77% – среди 6 самых сухих).

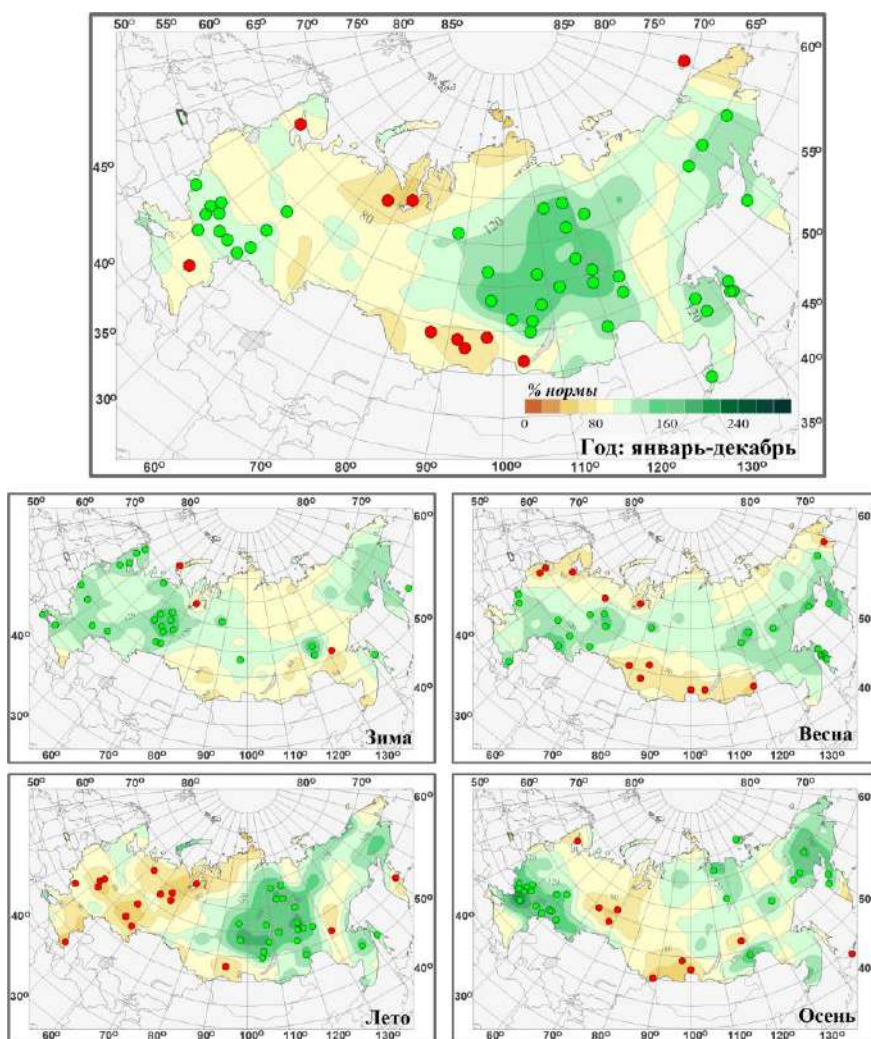


Рисунок 2.2 – Аномалии осадков на территории России в 2022 г., с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки)

Таблица 2.1 – Годовые и сезонные суммы осадков (в % от нормы 1991-2020 гг.) для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2022 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), желтым – в число пяти наименьших – в ранжированных по убыванию рядах с 1936 г. (ранги 82-83)

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	105	111	106	104	105
<i>Физико-географические регионы</i>					
Европейская часть России	104	120	105	83	118
Азиатская часть России	106	104	106	112	98
Западная Сибирь	90	106	97	91	82
Средняя Сибирь	120	109	113	139	105
Прибайкалье и Забайкалье	101	93	76	112	90
Приамурье и Приморье	110	94	122	112	104
Восточная Сибирь	109	105	117	106	109
<i>Федеральные округа РФ</i>					
Северо-Западный	94	115	77	93	96
Центральный	116	123	118	75	143
Приволжский	108	121	123	72	135
Южный	116	140	106	86	139
Северо-Кавказский	89	65	112	95	80
Уральский	90	124	119	77	81
Сибирский	102	95	89	117	91
Дальневосточный	113	104	115	118	107

третьего десятка). Избыток осадков (на ряде станций отмечены 95%-е экстремумы) наблюдался на западе и в центре ЕЧР, на востоке Среднесибирского плоскогорья и в бассейне Лены (в Средней Сибири выпало 138% нормы (ранг 4)). Сильный дефицит осадков (фиксировались 5% экстремумы) наблюдался на востоке ЕЧР и в УФО (65% нормы – среди четырех самых «сухих»); а также вдоль побережья Охотского моря (в Хабаровском крае, в Магаданской области).

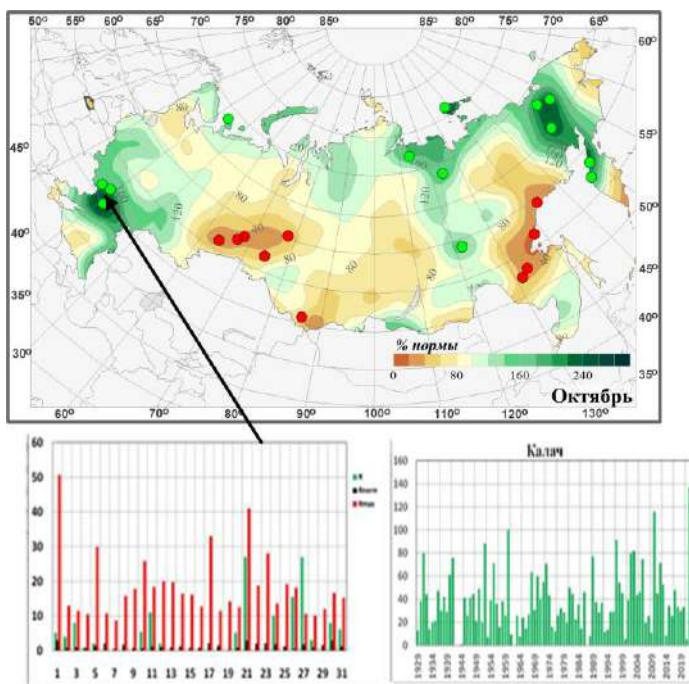


Рисунок 2.3 – Аномалии осадков в октябре 2022 г. На врезках ряды месячных и суточных сумм осадков на метеорологической станции Калач в зоне значительного переувлажнения

Избыток осадков наблюдался на большей части СФО (в регионе Средняя Сибирь выпало 139% нормы – максимальная величина в ряду) и в ДФО (в бассейне Лены).

Летом атмосферные засухи наблюдались во многих областях ЮФО, СКФО, ПФО, ЦФО и УФО. Наибольшего развития атмосферные засухи получили в августе из-за экстремальных температурных условий и условий выпадения осадков.

Июнь. Осредненные осадки по РФ – 105% нормы (в ряду в конце второго десятка). Избыток осадков наблюдался на большей части АЧР (113% – ранг 9), особенно в СФО (127% – ранг 5). Дефицит осадков (менее 80%) – в центре и на юге ЕЧР (89%), в Хабаровском крае, на Камчатке.

Июль. Осредненные осадки по РФ – 107% нормы (в ряду в середине

третьего десятка). Избыток осадков (на ряде станций отмечены 95%-е экстремумы) наблюдался на западе и в центре ЕЧР, на востоке Среднесибирского плоскогорья и в бассейне Лены (в Средней Сибири выпало 138% нормы (ранг 4)). Сильный дефицит осадков (фиксировались 5% экстремумы) наблюдался на востоке ЕЧР и в УФО (65% нормы – среди четырех самых «сухих»); а также вдоль побережья Охотского моря (в Хабаровском крае, в Магаданской области).

Август. Осредненные осадки по РФ составили 100%, по ЕЧР лишь 50% нормы (вторая среди минимальных величин в ряду), а по АЧР 117% (третья среди максимальных величин в ряду). Дефицит осадков наблюдался всюду на ЕЧР, особенно в ЦФО (33% – третья среди минимальных величин), в ПФО (23% – вторая среди минимальных величин), на западе АЧР (примерно до 90° в.д.) и в Прибайкалье и Забайкалье (78%).

Осень. Осредненные по РФ осадки 105% нормы. Значительный избыток осадков (более 120%, на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы) наблюдался в центре (в ЦФО выпало 143% нормы – ранг 5) и на юге ЕЧР, а также в Магаданской области, на Камчатке. Дефицит осадков наблюдался в Западной

Сибири (82% нормы – среди пяти «самых сухих» осенних сезонов), в Саянах.

Сентябрь. Осредненные по РФ осадки составили 115% нормы. Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался в центре ЕЧР, особенно в ЦФО (174% – ранг 4); а в АЧР: на Среднесибирском плоскогорье и далее на восток. Дефицит осадков (менее 80% нормы) отмечался на востоке ЕЧР, на Урале, на юге Западной Сибири, на Алтае и в Саянах.

Октябрь. Осредненные по РФ осадки 97% нормы. Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался в Южном Урале (в УФО осадки составили лишь 70% нормы), на Алтае, в нижнем течении Амура, в Хабаровском крае. Значительный избыток осадков наблюдался на севере ЮФО в междуречье Волги и Дона (161% нормы).

Для метеорологической станции Калач (рисунок 2.3) месячная сумма осадков в октябре 2022 года стала рекордной за весь период наблюдений на станции.

В Калаче наиболее дождливой выдалась третья декада, когда дожди наблюдались практически ежедневно. 27 октября суточный максимум осадков был превышен почти в 3 раза. Также значительное превышение нормы осадков отмечено на побережье морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, и на дальнем северо-востоке.

Ноябрь. Осредненные по РФ осадки оставили 101% нормы. На большей части страны наблюдался небольшой дефицит осадков. Значительный избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался в Поволжье (в ПФО выпало 157% нормы), на юге Западной Сибири, в Приамурье и Приморье, на северо-востоке страны.

Декабрь 2022 г. (рисунок 2.4). Осредненные по РФ осадки 113% нормы (ранг 13). Значительный избыток осадков (более 120%, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался на западе и в центре ЕЧР (особенно в ЦФО (201% – ранг 1), в Якутии, на Чукотке и Камчатке). Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на севере ЕЧР и Западной Сибири, в Забайкалье и вдоль побережья Восточно-Сибирского моря.

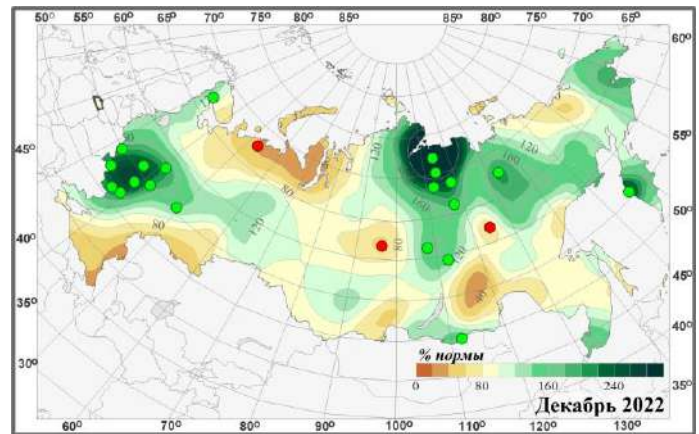


Рисунок 2.4 – Аномалии осадков в декабре 2022 г.

Тенденции изменений режима осадков

Географическое распределение коэффициента линейного тренда атмосферных осадков на территории России в целом и для сезонов представлено на рисунке 2.5. Оценки получены по стационарным временным рядам годовых и сезонных аномалий осадков за 1976-2022 гг. Численные оценки трендов для регионов приведены в таблице 2.2 (в % нормы за 10 лет: иногда сокращенно %/10 лет).

На территории России преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд составляет 1,8% нормы /10 лет, вклад в дисперсию 35% (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 в начале 2000-х гг. Наиболее значительные тренды (таблица 2.2) наблюдаются в регионах Средняя Сибирь (3,3%/10 лет, вклад в дисперсию 32%) и АЧР в целом (2,3%/10 лет; 45%), а из федеральных округов в СФО (2,6%/10 лет, 29%) и ДФО (2,4%/10 лет, 23%).

Убывают осадки в районе Обской Губы, на востоке арктического побережья АЧР. Незначительное убывание наблюдается в ПФО (таблица 2.2).

Рост осадков наблюдается во все сезоны. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается **весной** (5.7% нормы / 10 лет,

вклад в дисперсию 40%) – увеличение осадков происходит практически везде, особенно в АЧР; местами тренд превышает 10% нормы за десятилетие (на отдельных станциях до 12-14% за десятилетие).

Значимый на 1%-м уровне тренд отмечен в УФО, СФО и ДФО.

Рост осадков *зимой* происходит в основном на севере и юге ЕЧР, севере и востоке Средней Сибири, При-и-Забайкалье, Приморском крае. Уменьшаются осадки *зимой* на востоке Якутии.

Летом и *осенью* рост осадков наблюдается в основном в АЧР, осенью на севере ДФО значительный: выше 5%, а местами 10% за десятилетие.

Летом осадки убывают в центральных и южных регионах ЕЧР (особенно в ЮФО: -5,4% нормы за десятилетие), а также на арктическом побережье АЧР.

Осенние осадки незначительно убывают в центральных районах ЕЧР и Западной Сибири, а также в

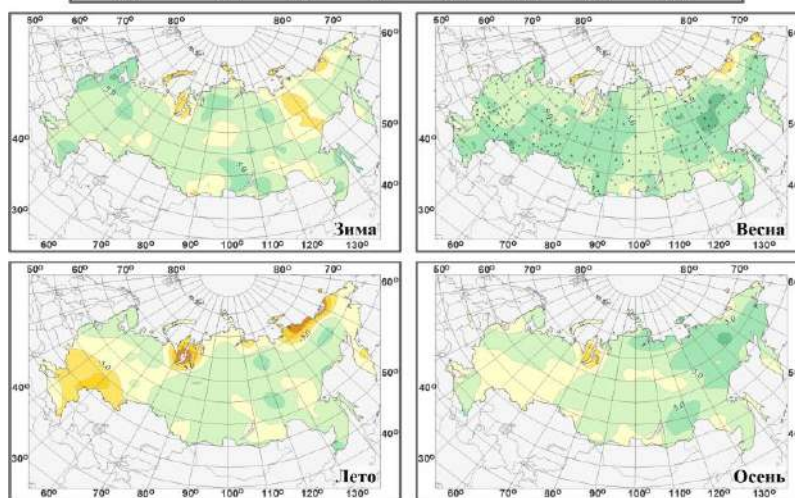
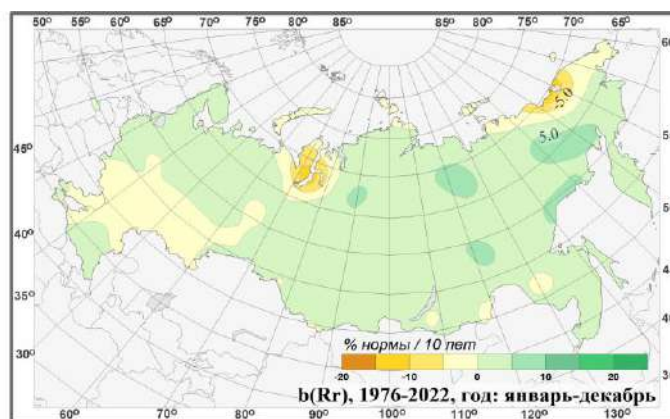


Рисунок 2.5 – Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2022 гг. на территории России (% /10 лет)

Таблица 2.2 – Оценки линейного тренда осредненных за год (январь-декабрь) и по сезонам месячных сумм атмосферных осадков для регионов России за 1976-2022 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	
	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %
Россия	1,8	35	3,2	20	5,7	40	0,3	1	1,3	6
Физико-географические регионы России										
Европейская часть России	0,9	4	3,4	13	4,9	21	-2,3	6	0,2	0
Азиатская часть России	2,3	45	2,9	14	6,1	42	1,2	9	1,9	13
Западная Сибирь	2,0	10	2,1	2	7,5	30	0,8	1	1,0	0
Средняя Сибирь	3,3	32	3,3	9	6,4	40	3,0	9	2,6	10
Прибайкалье и Забайкалье	1,9	8	4,9	13	3,0	4	1,2	2	3,5	7
Приамурье и Приморье	2,1	10	4,7	6	5,6	12	2,1	3	0,8	0
Восточная Сибирь	2,2	9	2,2	3	5,7	24	-1,0	1	5,4	19
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	2,4	16	5,5	20	3,7	11	2,0	1	1,4	2
Центральный	0,2	1	4,0	7	5,5	12	-3,8	11	0,1	0
Приволжский	-0,7	1	1,7	1	5,7	11	-3,9	11	-1,9	1
Южный	0,3	0	1,2	1	5,1	9	-5,4	5	0,0	0
Северо-Кавказский	1,8	3	2,4	3	4,6	10	-2,4	1	2,1	1
Уральский	1,7	6	2,1	2	8,0	29	1,3	0	-0,2	0
Сибирский	2,6	29	3,0	8	5,5	21	1,5	9	1,8	6
Дальневосточный	2,4	23	3,1	11	5,8	35	1,4	2	2,5	16

районе Обской губы.

Следует отметить, что региональные тренды наблюдаются на фоне существенных колебаний с периодом в несколько десятилетий, так что нельзя с уверенностью утверждать наличие тренда, а, возможно, лишь наличие определенной фазы таких колебаний.

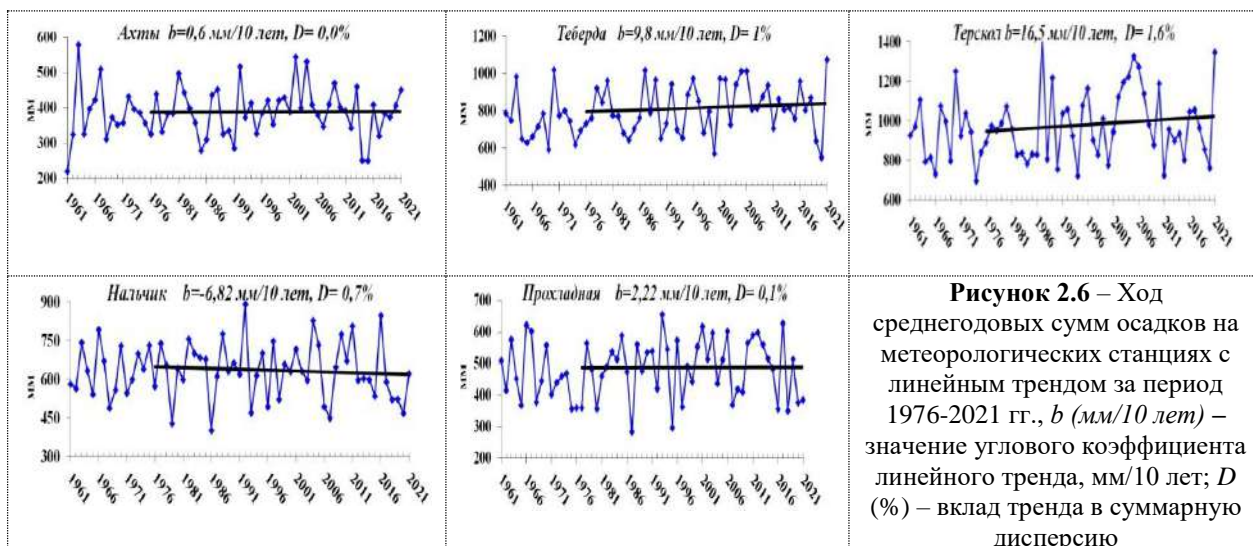
Аномалии осадков и тенденции изменений режима осадков районов Северного Кавказа

Для территории Северного Кавказа аномалии осадков приведены относительно базового периода 1961-1990 гг.

Аномалии показателей режима осадков (сумм осадков, максимума суточных осадков, числа дней с осадками не менее 5 мм) по данным 2022 года представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии сумм осадков для метеорологических станций юга ЕЧР в 2022 г.: Δ , мм – отклонения от нормы (средних за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2022 гг. Розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ – голубым – менее 1σ .

	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	-51,6	70,57	20,4	15,77	33,4	39,31	-61,4	45,63	-9,0	35,27
Теберда	-18,5	129,32	50,1	80,27	-36,8	64,27	-29,3	53,60	89,0	80,53
Терскол	-8,1	170,9	64,3	85,0	-48,6	79,4	-105,1	65,2	131,3	92,9
Нальчик	-14,4	108,76	-22,4	20,17	-66,7	55,14	-154,8	70,12	71,1	53,71
Прохладная	-11,4	92,8	-29,6	19,7	-11,6	45,2	-28,9	56,7	2,1	44,2
Максимум суточных осадков										
Ахты	-1,7	9,25	5,5	6,32	2,7	7,24	-5,7	10,65	-2,9	9,21
Теберда	-3,2	13,67	2,8	14,64	-2,1	13,43	-5,4	11,85	0,2	13,0
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-6,7	11,31	-2,9	5,38	-6,8	10,92	-17,6	11,11	1,0	14,52
Прохладная	-2,4	15,8	-3,7	4,18	-6,5	14,5	-0,4	15,1	-0,9	13,1
Число дней с осадками не менее 5 мм										
Ахты	0,2	4,26	0,2	1,57	-0,1	2,79	0,2	3,13	0,8	2,43
Теберда	-0,7	8,06	2,5	3,74	-1,1	4,10	-2,8	4,05	0,7	4,32
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-1,0	7,0	-0,1	1,91	-1,4	3,55	-3,5	4,10	0,7	3,54
Прохладная	-0,5	5,6	-0,7	2,03	-0,3	2,79	-2,2	3,33	1,0	2,69



В 2022 г. имел место дефицит осадков (ниже 5%-го перцентиля) в летний период на станциях Ахты, Терскол и Нальчик, в зимний период – на станции Прохладная и в весенний – на станции Нальчик. В осенний сезон имело место превышение суммы осадков относительно нормы (среднее за 1961-1990 гг.) более чем на 1σ на станциях Теберда, Терскол, Нальчик.

В таблице 2.4 и на рисунке 2.6 представлены характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2021 гг.

некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режима осадков на станциях Кавказского региона. Общая тенденция для всех м/станций – незначительное уменьшение летних сумм.

В Теберде имел место положительный тренд на значимом уровне в весенний сезон для сумм осадков ($b=17,0$ мм/месяц/10 лет, $D=10\%$) и числа дней с осадками не менее 5мм ($b=1,0$ день/10 лет, $D=13\%$).

Таблица 2.4 – Характеристики линейного тренда b (D) за 1976-2021 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	0,6	0,0	9,8	1,0	16,5	1,6	-6,82	0,7	2,2	0,1
	Max	1,5	4,0	-0,6	0,3	-	-	0,52	0,4	4,0	10,0
	$NR5$	0,0	0,0	2,2	15,0	-	-	0,64	1,0	0,38	0,9
Зима	R	1,6	0,1	-0,4	0,0	-3,1	0,3	0,12	0,0	3,49	5,0
	Max	1,0	4,0	-2,8	6,0	-	-	-0,17	0,1	0,77	6,0
	$NR5$	0,2	3,0	0,4	3,0	-	-	0,27	4,0	0,33	5,0
Весна	R	0,6	0,0	17,0	10,0	17,1	7,0	1,07	0,08	4,0	2,0
	Max	0,6	1,3	0,15	0,0	-	-	-0,98	1,0	0,38	0,1
	$NR5$	-0,2	1,3	1,0	13,0	-	-	0,32	1,0	0,22	1,0
Лето	R	-2,0	0,4	-3,8	1,0	-3,1	0,5	-8,0	2,0	-8,35	4,0
	Max	1,2	2,1	-2,5	7,0	-	-	2,0	6,0	3,94	11,0
	$NR5$	-0,2	1,0	0,62	4,0	-	-	-0,64	5,0	-0,42	4,0
Осень	R	-1,2	0,2	-4,5	0,6	2,74	0,2	3,7	0,0	3,87	1,0
	Max	-1,0	1,0	0,5	0,3	-	-	-1,68	3,0	1,75	3,0
	$NR5$	0,2	1,0	-0,17	0,3	-	-	0,74	7,0	0,32	3,0

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

Выделяется из всех тенденций отрицательная тенденция суммы осадков в Прохладной (степная зона) на фоне значимого роста суточных максимумов осадков и снижения $NR5$ в летний сезон ($b=3,94$ мм/10 лет, $D=11\%$) и в году в целом ($b=4,0$ мм/10 лет, $D=10\%$). Остальные тенденции сезонных осадков статистически незначимы.

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2021/2022 гг.

Анализ изменений характеристик снежного покрова проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квази-однородных климатических регионов характеристик (рисунок 3 Введения). Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеорологических станциях арифметически осреднялись по квадратам сетки (1°N x 2°E), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по регионам, показанным на рисунке 3 Введения, и территории России. Методика наблюдений за характеристиками снежного покрова неоднократно изменялась. После 1965 года нарушений однородности, вызванных изменением процедуры наблюдений, не было, поэтому исследование многолетних характеристик снежного покрова проведено по данным за период с 1966 года. Используются нормы (среднемноголетние значения) характеристик снежного покрова за период 1991-2020 гг.

В таблице 3.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий характеристик снежного покрова зимой 2021/2022 гг. для регионов России и их ранги по данным за 1967-2022 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 2021/2022 гг.

Первый снег зимой 2021/2022 гг. на большей части европейской территории выпал позже средних климатических сроков на 5-10 дней, за исключением Республики Карелия и отдельных районов Архангельской и Вологодской областей (рисунок 3.1б). На азиатской территории раньше климатических сроков на 5-15 дней снежный покров появился в восточных и центральных районах автономных округов Тюменской области, в Кемеровской и Новосибирской областях, в Хакасии, Тыве, южных районах Хабаровского края, на Камчатке и Сахалине. Необычно рано, на 15-25 дней раньше климатических сроков, снежный покров установился на Чукотке. На остальной территории АЧР снежный покров установился позже климатических сроков. Особенно значительным сдвиг сроков появления снежного покрова оказался на восточном побережье Таймыра и в северных районах Камчатского края (более 40 дней), что связано с очень теплой погодой в октябрь-ноябре.

На большей части страны сход снежного покрова наблюдался в более ранние сроки (рисунок 3.1в) из-за необычно теплой погоды, которая преобладала на европейской территории в феврале-марте, а на азиатской – в марте и апреле, что привело к быстрому таянию снега. Не смотря на теплую погоду, снежный покров задержался дольше климатических сроков на большей части Центрального ФО, в Архангельской, Вологодской и Свердловской областях, центральных районах Западной Сибири, Красноярского края и Якутии. Это обусловлено сильными снегопадами, которые прошли в этих районах в феврале-марте, что задержало процесс снеготаяния.

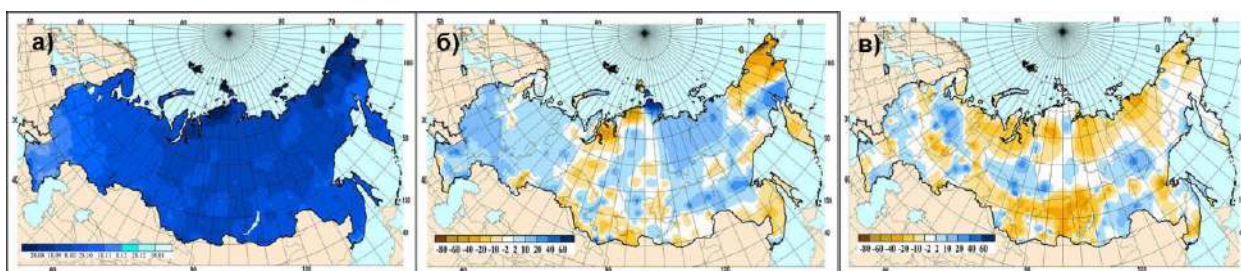


Рисунок 3.1 – а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2021/2022 гг. б) Аномалии в датах появления первого снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2021/2022 гг. (от норм 1991-2000 гг.) в) Аномалии в датах схода снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2021/2022 гг. (от норм 1991-2000 гг.)

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России оказалась значительно меньше климатической нормы (таблица 3.1, рисунок 3.2).

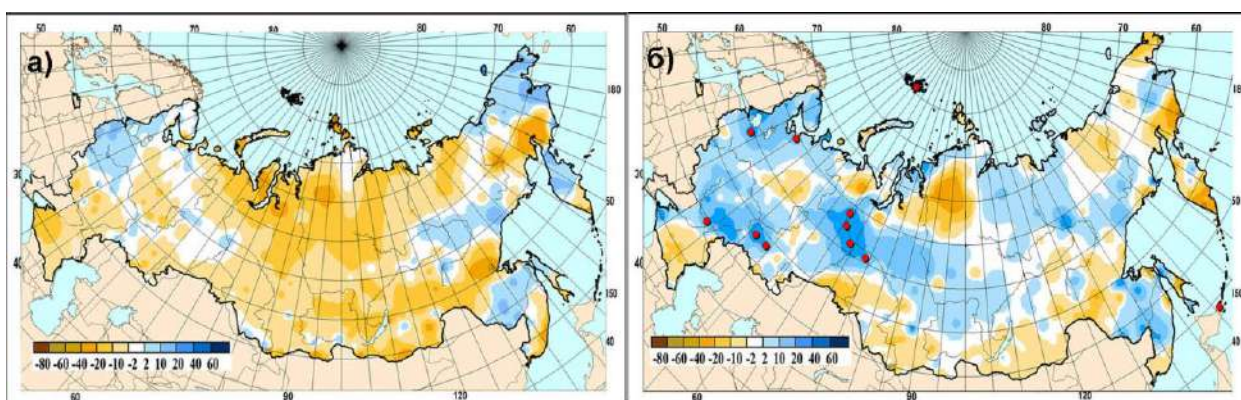


Рисунок 3.2 – а) Аномалии числа дней с покрытием снегом более 50% территории вокруг метеорологической станции зимой 2021/2022 гг. (от среднееголетних значений за период 1991-2000 гг.); б) Аномалии максимальной высоты снежного покрова зимой 2021/2022 гг. (от средних многолетних значений за период 1991-2000 гг.). Кружками красного цвета показаны станции, на которых зарегистрирован абсолютный максимум высоты снежного покрова.

На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова, что объясняется аномально высокими температурами воздуха за рассматриваемый холодный период. Максимальные по абсолютной величине отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова отмечены на северо-востоке ЕЧР, севере Сибири и Дальневосточного ФО, а также в Забайкалье, Амурской области, на севере Камчатского края (рисунок 3.2а).

Во всех квази-однородных районах снег лежал меньше климатических сроков. Отрицательные аномалии

продолжительности залегания снежного покрова в I, II и VI квази-однородных районах вошли в десятку наименьших значений в ранжированном ряду с 1967 года.

В зимний период 2021/2022 гг.

максимальная высота снежного покрова в среднем по России

оказалась значительно выше климатической нормы и попала в десятку наибольших значений в ранжированном ряду (таблица 3.1.). Максимальная высота снежного покрова превысила норму на большей части европейской территории, в центральных районах Западной Сибири и Красноярского края, северо-западных и центральных районах Якутии, в нижнем течении Амура (рисунок 3.2б). Аномалии максимальной высоты снежного покрова в квази-однородных районах I, IV, V попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий в ранжированном ряду. Отрицательные аномалии максимальной высоты снежного покрова получены в VII, VIII и IX районах. Значительный дефицит снега отмечался на Чукотке и севере Камчатки (район III).

Максимальный за прошедшую зиму **запас воды в снеге** по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался ниже нормы в лесу (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Аномалии максимального за зимний период (2021/2022 гг.) запаса воды в снеге, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России.

Δ – отклонения от средних за 1991-2020 гг., R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1967-2022 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	9,59	7	9,77	-0,61	26	8,13
Север ЕЧР и Западной Сибири	23,23	4	18,26	26,11	1	25,91
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	2,26	13	25,49	0,57	16	12,70
Чукотка и север Камчатки	-32,16	50	29,68	-13,31	26	30,93
Центр ЕЧР	24,11	4	19,54	9,75	13	19,51
Центр и юг Западной Сибири	0,88	19	17,93	11,40	11	22,82
Центр и юг Восточной Сибири	-8,39	40	6,90	-13,57	46	8,13
Дальний Восток	5,93	15	20,50	-6,58	18	25,05
Алтай и Саяны	-6,06	22	15,06	-35,74	41	29,60
Юг ЕЧР	-5,80	31	10,41	0,00	23	11,24

* жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1967-2022 гг.

Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены в III, VI, VII, VIII квази-однородных регионах, при этом значения в VI и VIII районах попали в десятку наименьших. Положительные аномалии запаса воды в снеге на лесном маршруте отмечены на большей части европейской территории и Западной Сибири, в центральных районах Якутии, нижнем течении Амура (рисунок 3.3а). На севере ЕЧР и Западной Сибири (район I) значение запаса воды в снеге на лесном маршруте оказался рекордным.

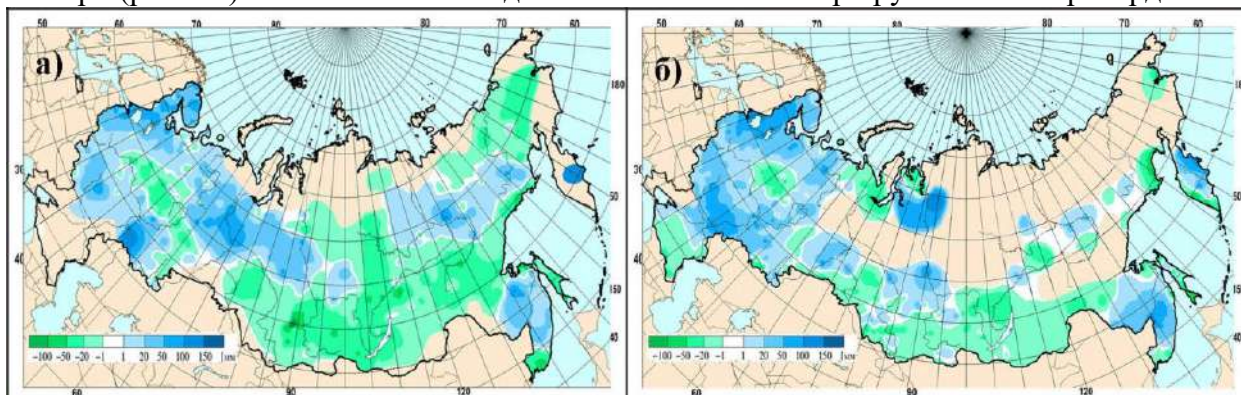


Рисунок 3.3 – Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2020-2022 гг. (от среднеголетних значений за период 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б)

В поле значительные положительные аномалии запаса воды в снеге получены на большей части европейской территории, юге Тюменской области, севере Восточной Сибири, в центральных районах Красноярского края, нижнем течении Амура и на Камчатке (рисунок 3.3б), причем значения запаса воды в снеге на полевых маршрутах на севере и в центре ЕЧР (районы I и IV) вошли в десятку наибольших в ранжированном ряду. И в целом для России запас воды в снеге на полевом маршруте оказался выше климатической нормы. Это значение также вошло в десятку самых больших. Значительный дефицит запаса воды в снеге в поле отмечен в III квази-однородном районе (Чукотка и север Камчатки), и это одно из наименьших значений в ранжированном ряду с 1967 года.

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

В 2022 году на большей части России зима была в целом теплее нормы. Снег начал таять в экстремально ранние сроки, но на европейской территории в марте произошел возврат холодной погоды. В связи с этим максимальные запасы воды в снеге на европейской территории РФ и в Сибири наблюдались почти повсеместно 20 марта 2022 г. Лишь в северо-западных и центральных областях европейской территории максимальные запасы воды в снеге отмечались в третьей декаде февраля 2022 г.

По состоянию на 20 марта 2022 г. запасы воды в снежном покрове в бассейнах, Суры, Чебоксарского, Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского и Воткинского водохранилищ составили 121-240% нормы, на остальных территориях бассейна Волги – 77-113% нормы. Снегозапасы, сформировавшиеся в бассейнах Костромы, Унжи, Оки, Москвы-реки, Суры, Ветлуги и Чебоксарского водохранилища, оказались на 19-42 мм меньше значений прошлого года, а на остальной территории бассейна Волги – на 2-51 мм больше аналогичных значений 2021 года. В целом в бассейне Волги запасы воды в снеге в 2022 г. составили, как и в 2021 году, 129 мм (114% нормы). На территории бассейнов Дона и его притоков (реки Хопер и Медведица) запасы воды в снеге составили 200-265% нормы и оказались больше аналогичных значений 2021 года на 31-59 мм (166-223% нормы). Снегозапасы в бассейнах Северной Двины, Сухоны, Ваги, Пинеги, Вычегды и Мезени составили 107-168% нормы. По отношению к предыдущему 2021 году они увеличились на 6-68 мм (105-167% нормы). К 20 марта 2022 г. на северо-западе, в бассейнах Нарвы и Волхова снежный покров растаял полностью. Максимальные

снегозапасы соответственно 66 и 90 мм (127-148% нормы) там были 20 февраля 2022 г. Они составили 165-214% от запасов воды в 2021 г.

В Сибири запасы воды в снеге на 20 марта составили 84-134% нормы. Во всех бассейнах (за исключением Усть-Илимского водохранилища) снегозапасы были на 5-87 мм меньше, чем в 2021 г.

Таблица 3.3 – Сведения о максимальных запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ Российской Федерации весной 2022 г. (в сравнении с нормой и снегозапасами в аналогичные сроки 2021 г.): *w2021*, *w2022* – запасы воды в снеге в 2021 и 2022 гг.

№ п/п	Бассейны рек	Запасы воды в снеге					
		норма	<i>w2021</i>	<i>w2022</i>			
		мм	мм	мм	% от нормы	% от <i>w2021</i>	
1	ВОЛГА, в том числе:	113	129	129	114	100	
2	до Рыбинского водохранилища	101	88	110	109	125	
3	р. Кострома и р. Унжа	124	150	110	89	73	
4	р. Москва	93	93	72	77	77	
5	р. Ока, включая бассейн р. Москвы	65	109	88	135	81	
6	р. Сура	77	135	116	151	86	
7	р. Ветлуга	133	172	130	98	76	
8	Чебоксарское водохранилище	77	123	99	129	80	
9	р. Вятка	148	154	156	105	101	
10	Куйбышевское водохранилище	132	147	149	113	101	
11	Саратовское водохранилище	87	124	131	151	106	
12	Волгоградское водохранилище	57	86	137	240	159	
13	р. Кама	171	158	177	104	112	
14	р. Белая	131	127	159	121	125	
15	ДОН, в том числе:	138	129	140	101	109	
16	Хопер	39	47	78	200	166	
17	Медведица	49	79	130	265	165	
<i>Примечание: данные на 20 марта 2022 года</i>							
Реки северо-запада							
18	Нарва	52	40	66	127	165	
19	Волхов	61	42	90	148	214	
<i>Примечание: данные на 20 февраля 2022 года</i>							
Реки севера ЕЧР и Западной Сибири							
20	Северная Двина	121	124	157	130	127	
21	Сухона	125	128	134	107	105	
22	Вага	124	99	165	133	167	
23	Юг	115	144	144	125	100	
24	Пинега	101	102	170	168	167	
25	Вычегда	139	138	165	119	120	
26	Мезень	140	123	161	115	131	
27	Верхняя Обь	83	118	75	90	64	
28	Тобол	61	87	82	134	94	
<i>Примечание: данные на 20 марта 2022 года</i>							
Реки и водохранилища Сибири							
29	Енисей	(Саяно-Шушенское водохранилище)	118	168	107	91	64
30	Енисей	(Красноярское водохранилище)	120	188	101	84	54
31	Ангара	(оз. Байкал)	79	101	70	89	69
32	Ангара	(Братское водохранилище)	70	95	71	101	75
33	Ангара	(Усть-Илимское водохранилище)	117	126	135	115	107
<i>Примечание: все данные приведены на 20 марта 2022 года</i>							

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 - 2022 гг., рассчитанных по данным стационарных наблюдений на территории России, показано на рисунке 3.4, а тренд выражен в см/10 лет.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50% территории вокруг метеорологической станции приведено на рисунке 3.4а (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-уровне). Некоторое изменение произошло в результате перехода на новые нормы, хотя в период с 1976 по 2022 гг. на значительной части страны сохраняется 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 на Кольском полуострове, в горных районах Алтая и Саян. Увеличение продолжительности залегания снежного покрова наблюдается на большей части Тюменской области и ее автономных округов. В среднем для России число дней со снегом сокращается на 1,64 дня за 10 лет (таблица 3.4) против 1,26 дня/10 лет за прошлый период, то есть аномалия последнего года еще больше увеличила скорость сокращения продолжительности залегания снежного покрова.

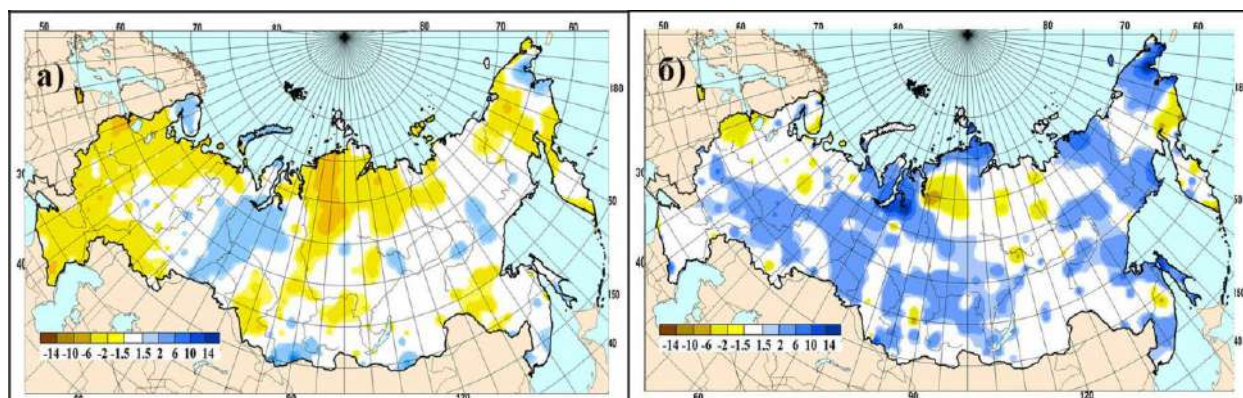


Рисунок 3.4 – а) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова. б) Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2022 гг.

Как и в период 1976-2021 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова в северных, юго-западных и юго-восточных районах Западной Сибири, на побережье Охотского моря, в центральных и восточных районах ЕЧР, на Урале, севере Западной Сибири, в центре и на юге Красноярского края, востоке Якутии, в Чукотском АО, Приморском крае и на Сахалине (рисунок 3.4б).

Уменьшение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается на северо-западе и отдельных станциях на севере ЕЧР, севере Камчатского края, северо-западе Республики Саха-Якутия, юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края. Рекордные высоты снежного покрова, отмеченные в прошедшем сезоне в центральных и южных районах Западной Сибири, привели к появлению тенденции увеличения максимальной высоты снежного покрова на Алтае. При осреднении по регионам, статистически значимые на 5%-уровне положительные коэффициенты линейного тренда получены как для России в целом, так и для квази-однородных районов, за исключением II, III, IV и IX (таблица 3.4).

Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2022 гг. по данным маршрутных наблюдений не претерпели больших изменений по сравнению с периодом 1976-2021 гг. ни в поле, ни в лесу. По данным на полевых маршрутах наблюдается увеличение запаса воды в снеге в центральных и восточных районах ЕЧР, северных и южных районах Западной Сибири, на Камчатке, Сахалине, в нижнем течении Амура и Приморье (рисунок 3.5а).

Сохраняется тенденция уменьшения запаса воды в снеге в поле на северо-западе и севере ЕЧР, Полярном Урале, на юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края и в прибрежных районах Магаданской области.

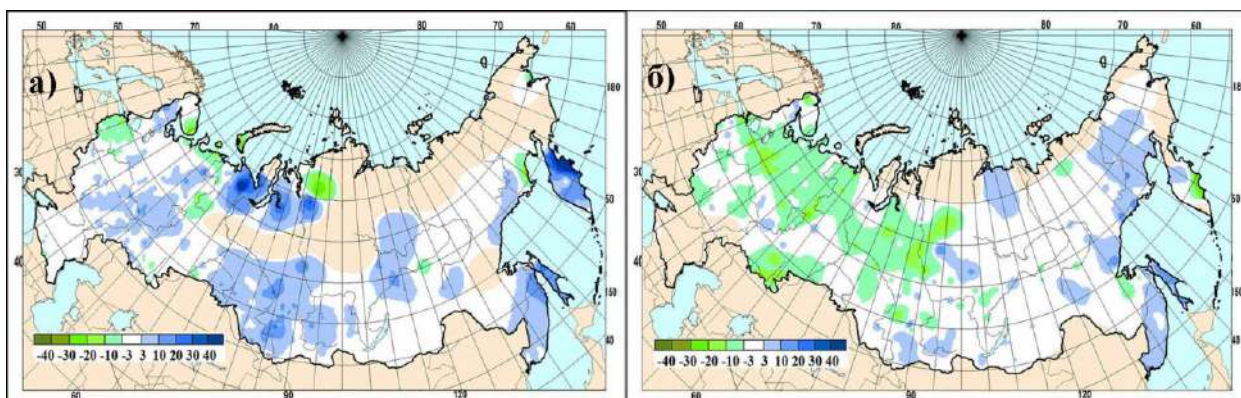


Рисунок 3.5 – Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б). 1976-2022 гг.

Средний для страны в целом запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в поле увеличивается на 2,71 мм за 10 лет. На Дальнем Востоке (район VII), в горных районах Алтая и Саян (район VIII), в центре и юге Восточной Сибири (район VI), запас

Таблица 3.4 – Оценки линейного тренда (значимые на 5%-м уровне) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2022 гг.:

Hmax, см/10 лет – максимальная высота снежного покрова; *Nd, дни/10лет* – число дней со снежным покровом; *SWEп, 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>SWEп</i>	<i>SWEл</i>
Россия	1,32	-1,64	2,71	-1,15
Север ЕЧР и Западной Сибири	1,78	-2,72		
Сев. Восточной Сибири и Якутии		-2,01		
Чукотка и север Камчатки			-6,19	
Центр ЕЧР		-3,75		-5,13
Центр и юг Западной Сибири	1,94	-1,79	4,69	
Центр и юг Восточной Сибири	1,31			
Дальний Восток	1,76		7,71	
Алтай и Саяны	1,25		4,86	
Юг ЕЧР				

воды в снеге в поле увеличивается (таблица 3.4), на Чукотке и севере Камчатки (район III) – уменьшается. 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 1,22 мм за 10 лет, что немногим меньше, чем в предыдущий период.

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 значимые отрицательные тренды запаса воды в снеге по данным снегосъемок на лесных маршрутах получены только в центре ЕЧР (IV район).

Выводы

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2021/2022 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы. В северных районах страны и центральных районах Восточной Сибири отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова вошли в десятку наименьших в ранжированном ряду с 1967 года. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась значительно выше климатической нормы и попала в десятку наибольших значений в ранжированном ряду, при этом значения максимальной высоты снега в I, IV, V квази-однородных районах также вошли в десятку самых высоких значений. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался ниже нормы в лесу, но превысил норму в поле. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу в VI и VIII попали в десятку наименьших. В поле значительные отрицательные аномалии запаса воды в снеге в поле получены на Чукотке и Камчатке (III район), причем это значение попало в десятку наименьших. Запас

воды в снеге на полевых маршрутах в I, IV районах и для России в целом вошли в десятку наибольших в ранжированном ряду.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова, при этом наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2022 гг. по данным маршрутных наблюдений в поле не изменились, а по данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК

Сроки начала появления плавучего льда на реках и установления ледостава на водохранилищах в 2021 году

Появление льда осенью 2021 года началось на реках Яна, Индигирка и Колыма в первой декаде октября на 2-4 дня позже нормы.

Во второй декаде октября около нормы и до 6 дней позже ледообразование началось на реках Лена и Енисей (на участке с. Верхнеимбатское – г. Игарка).

В третьей декаде октября на 7-12 дней позже нормы ледообразование началось на реках Енисей (на участках с. Ворогово – с. Верхнеимбатское и г. Игарка – г. Дудинка), Печора, Обь (в нижнем течении). В этот же период на 3 дня раньше нормы ледообразование началось на реке Амур (на участке с. Покровка – с. Кумара).

В первой декаде ноября около нормы и до 11 дней позже нормы ледообразование началось на реках Вычегда, Кама, Обь (в ее верхнем и среднем течениях), Иртыш (от пгт Черлак до г. Тобольск и ниже), Тура, Тавда, Енисей (у г. Кызыл), Амур (от с. Кумара до с. Ленинское и на участке г. Комсомольск – с. Мариинское), Зея (ниже с. Мазаново). Также началось установление ледостава на Камском водохранилище (ниже с. Усть-Гаревая).

Во второй декаде ноября на 10-17 дней позже нормы ледообразование происходило на реках Северная Двина, Сухона (ниже р. Тотьма), Ветлуга (ниже г. Шарья), Вятка, Тобол (ниже г. Ялуторовск), Амур (от с. Ленинское до г. Комсомольск), Белая (ниже г. Уфа), Кострома и Унжа.

Также во второй декаде ноября позже нормы началось установление ледостава на Камском водохранилище (выше с. Усть-Гаревая) – на 10 дней и на Воткинском водохранилище – на 2 дня.

В третьей декаде ноября началось ледообразование на реках Сухона (выше г. Тотьма) и Нева – позже нормы на 17 и 11 дней соответственно. В этот же период на 5 дней раньше нормы началось установление ледостава на Саратовском водохранилище, на 4-12 дней позже нормы – на Рыбинском, Куйбышевском, Нижнекамском и Шекснинском водохранилищах и Беломорско-Балтийском канале.

В первой декаде декабря ледообразование началось на Верхней и Средней Волге, на реках Ока (выше г. Кашира, на участке г. Рязань – устье р. Мокша и ниже устья р. Мокша), Сура (ниже г. Алатырь) – на 16-21 день, Москва-река (выше г. Москва), Днепр, Западная Двина – на 10-13 дней позже среднемноголетних сроков. Началось установление ледостава на Горьковском и Чебоксарском и Волгоградском водохранилищах – на 6-15 дней позже нормы.

В третьей декаде декабря на 26-36 дней позже нормы началось ледообразование на Верхнем и Среднем Дону и на р. Десна.

Сроки вскрытия и очищения рек и водохранилищ ото льда, весной 2022 года

Весеннее половодье 2022 г. преимущественно было ранним.

В третьей декаде февраля на 29 дней раньше нормы началось вскрытие реки Ока (на участке г. Белев – г. Калуга).

В первой декаде марта на 22 дня раньше нормы началось вскрытие на р. Десна.

Во второй и третьей декадах марта раньше нормы вскрылись Верхняя Волга – на 17 дней; реки Ока (от г. Кашира до устья р. Москва), Москва-река (выше г. Москва) и Западная Двина (на участке г. Витебск – г. Верхнедвинск) – на 4-9 дней.

В конце марта – первой декаде апреля вскрылись реки Хопер, Западная Двина (выше г. Витебск) – на 1-5 дней позже нормы. В этот же период около нормы и до 6 дней раньше вскрылись реки Днепр (выше г. Смоленск), Ока (ниже устья р. Мокша), Сура (ниже г. Алатырь).

На 2-5 дней раньше нормы – в конце первой-начале второй декады апреля – вскрылись реки Белая (выше г. Уфа) и Обь (выше г. Камень-на-Оби).

Около нормы и до 9 дней раньше нормы – во второй декаде апреля – вскрылись реки Кострома, Унжа, Ветлуга, Белая (ниже г. Уфа), Обь (ниже г. Новосибирск до устья р. Чулым), Иртыш (от пгт Черлак до г. Тобольск), Тобол (ниже г. Ялуторовск), Тавда (ниже г. Тавда), Юг, Сухона, Енисей (у г. Кызыл), Кан (исключая верховья), а также очистились ото льда Саратовское и Волгоградское водохранилища.

Около нормы и до 7 дней раньше нормы – в конце второй и в третьей декадах апреля – вскрылись реки Северная Двина, Вычегда, Кама, Обь (от устья р. Чулым до с. Александровское), Иртыш (ниже г. Тобольск), Амур (от с. Кумара до г. Комсомольск), Шилка, Аргунь, Зeya (ниже с. Мазанова), а также очистились ото льда северная часть Рыбинского водохранилища, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища. В это же время около нормы и на 5 дней позже нормы вскрылись реки Вятка и Тура (ниже г. Туринск).

В конце третьей декады апреля и в первой декаде мая около нормы и до 10 дней раньше вскрылись реки Пинега, Мезень, Печора (до с. Усть-Уса), Обь (от с. Александровское до пгт Октябрьское), Енисей (от с. Назимово до с. Верхнеимбатск), Лена (от пгт Качуга до р. п. Витим), Киренга, Амур (на участках с. Покровка – с. Кумара и г. Комсомольск – с. Мариинское), Амгунь (ниже устья р. Дуки), а также очистились ото льда Переборский залив Рыбинского водохранилища, Шекснинское, Камское, Воткинское водохранилища и водораздельный бьеф Беломорско-Балтийского канала.

Около нормы и до 9 дней раньше нормы – в конце первой и во второй декадах мая – вскрылись реки Печора (от с. Усть-Уса до с. Усть-Цильма), Обь (от пгт Октябрьское до г. Салехард), Енисей (на участке с. Верхнеимбатск – с. Туруханск), Лена (от р. п. Витима до г. Якутск), Вилюй (ниже с. Сунтар), Колыма (от п. Среднекан до г. Среднеколымск).

В третьей декаде мая и в первой декаде июня близкими к норме и до 11 дней раньше вскрылись реки Енисей (от г. Игарка до п. Усть-Порт), Яна (от г. Верхоянск до пол. ст. Юбилейная), Индигирка, Колыма (на участке г. Среднеколымск – р. п. Черский). В этот же период на 2-7 дней позже нормы вскрылись реки Лена (от г. Якутска до с. Кюсюр), Алдан.

5. ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Рассматриваются характеристики следующих видов гололедно-изморозевых отложений (ГИО): гололеда, кристаллической изморози и отложения мокрого снега. Такой выбор сделан в связи с тем, что отложения гололеда и мокрого снега наносят значительный ущерб экономике, а кристаллическая изморозь – это наиболее распространенный вид отложения (по сравнению с зернистой изморозью) на территории России. Анализ основных характеристик ГИО осуществляется с октября прошедшего года

по апрель текущего года. Октябрь и апрель включены в холодный период, поскольку в эти месяцы температура воздуха колеблется между положительной и отрицательной, создаются благоприятные температурно-влажностные условия, при которых ГИО могут достигать опасных значений.

Исследование характеристик ГИО проведено по данным за период с 1984 г., так как инструментальные наблюдения за отложениями доступны на технических носителях с этого года. Нормы (среднегодовые значения) характеристик ГИО рассчитаны за период с 1991 - 2020 гг. Общее число станций, использованных в работе 1067. В континентальных районах азиатской территории России на многих метеорологических станциях отсутствует гололедный станок, так как в зимнее время в зоне влияния Сибирского антициклона преобладают арктические воздушные массы, которые характеризуются очень низкой температурой и малой влажностью, поэтому условий для образования гололедно-изморозевых отложений практически нет.

Анализ изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений (ГИО) проводился по данным на метеорологических станциях и по рядам средних для 18 квази-однородных климатических регионов характеристик. Осреднение по регионам производилось поэтапно: сначала аномалии, рассчитанные на станциях, арифметически осреднялись по ячейкам регулярной сетки $1^{\circ}\text{N} \times 2^{\circ}\text{E}$, а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты ячейки проводилось осреднение по 18 регионам, показанным на рисунке 4 Введения.

Особенности гололедно-изморозевых отложений в холодный период 2021/22 г.

Пространственное распределение аномалий суммарного за холодный период числа случаев с гололедом, кристаллической изморозью и отложением мокрого снега представлено на рисунке 5.1. Суммарные за холодный период аномалии числа случаев с **гололедом** (рисунок 5.1а) были положительными в Центральном, Южном, на востоке Северо-Западного ФО, юге ЯНАО, что обусловлено выносом теплого и влажного воздуха с Атлантики в рассматриваемый холодный период.

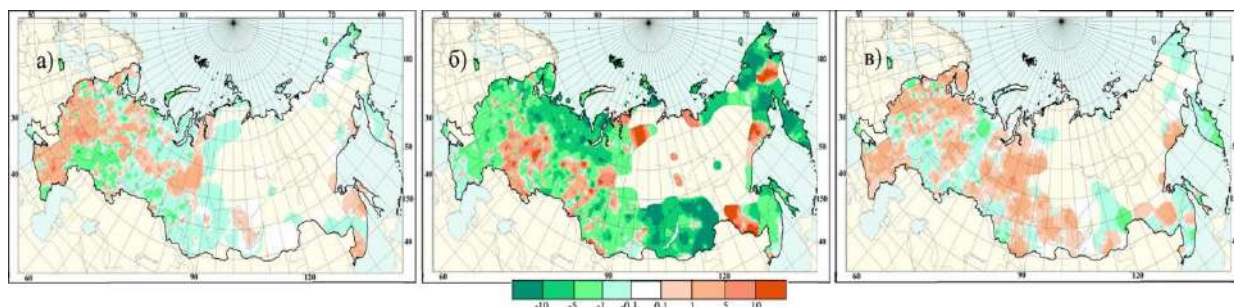


Рисунок 5.1 – Аномалии суммарного за холодный период числа случаев (дни): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

Реже, чем обычно, отложения гололеда отмечались в ПФО и юге УФО. Максимальные отрицательные аномалии числа случаев с **кристаллической изморозью** (рисунок 5.1б) наблюдались на арктическом побережье ЕЧР, севере УФО, Иркутской области, в Забайкалье, Чукотском АО, Камчатском крае (от 5 до 10 случаев). Это связано с аномально теплой погодой, когда условий для образования кристаллической изморози практически не было. Небольшие области положительных аномалий сформировались в ПФО, на юге УФО, в Амурской области и на юге Магаданской области (от 5 до 10 случаев и более). Положительные аномалии преобладали в распределении числа случаев с **отложением мокрого снега** (рисунок 5.1в), поскольку сезон 2021/2022 года, аналогично предыдущему, оказался не только теплым, но и довольно снежным на большей части

европейской территории и Западной Сибири. Реже, чем обычно, отложение мокрого снега отмечалось в Псковской области, Крыму, Коми, на западе Амурской области и Камчатке.

Анализ пространственного распределения суммарной продолжительности **гололеда** (рисунок 5.2а) показал, что на 12-48 часов больше климатической нормы гололед сохранялся на севере ЦФО и ПФО, юго-западе СЗФО, на большей части ЮФО, Карелии, востоке ХМАО, юге Приморского края.

Распределение продолжительности **кристаллической изморози** носит пятнистый характер (рисунок 5.3б), однако выделяются очаги положительных аномалий в Архангельской области, Коми, юге ПФО и УФО (от 12 до 48 часов). Отрицательные аномалии продолжительности кристаллической изморози отмечаются на западе и востоке ЕЧР, юге Сибири и Дальнего Востока, Чукотке. Положительные аномалии продолжительности **отложения мокрого снега** преобладали в Северо-Западном, Центральном, Южном и Уральском ФО (рисунок 5.2в).

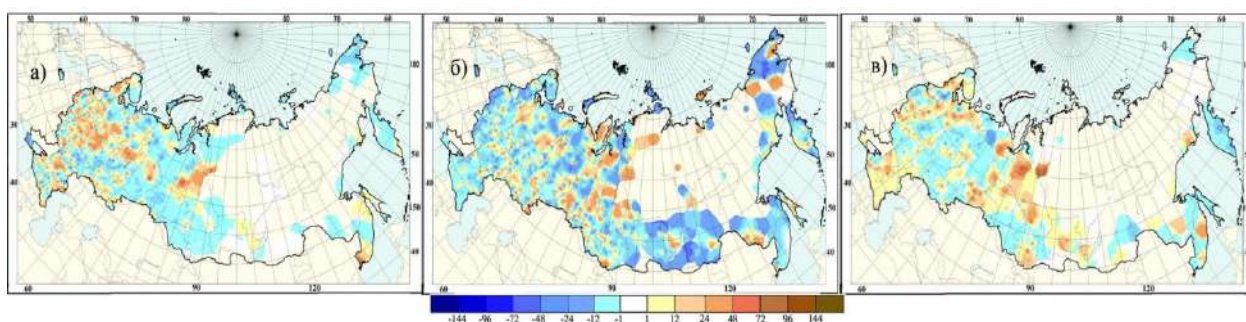


Рисунок 5.2 – Аномалии суммарной за холодный период продолжительности (часы): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

Географическое распределение аномалий суммарного веса рассматриваемых отложений представлено на рисунке 5.3. Вес **гололеда** превысил норму на северо-востоке ЮФО, отдельными небольшими очагами в СЗФО, ЦФО, на юге Приморского и Камчатского краях (0,8-1,6 г/см и более). Преобладали отрицательные аномалии веса **кристаллической изморози** (рисунок 5.3б).

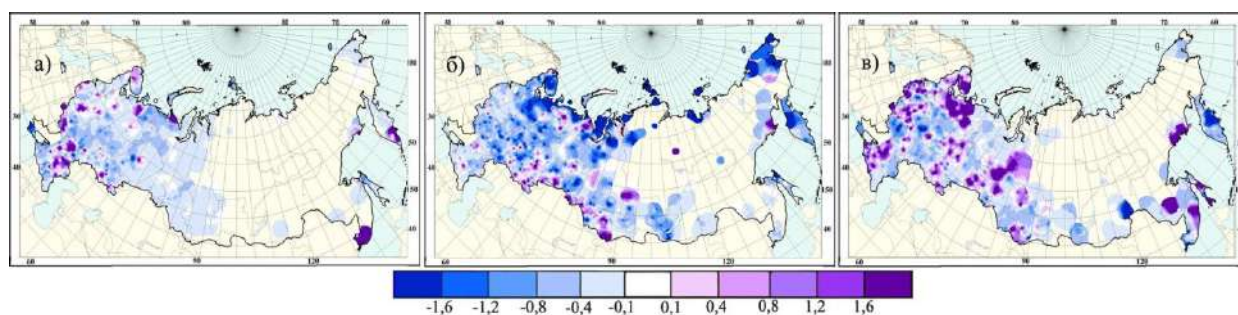


Рисунок 5.3 – Аномалии среднего за холодный период веса (г/см): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

Максимальные отрицательные значения аномалий отмечаются на арктическом побережье ЕЧР, Урала и на Чукотке (1,2-1,6 г/см и более). Небольшие очаги положительных аномалий прослеживаются на юго-востоке ПФО, юге УФО и Сибири. Значительные положительные аномалии веса **отложения мокрого снега** отмечаются в западной половине Северо-Западного, Центрального, Южного, в Уральском (за исключением северо-западных районов), на востоке Приволжского ФО (0,8-1,6 г/см). Максимальные отрицательные аномалии получены на юге ЦФО и в центральных районах Камчатского края.

Тенденции современных изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России.

На рисунке 5.4 показано пространственное распределение оценок тренда суммарного за холодный период числа случаев с ГИО, которое мало чем отличается от полученного в предыдущем году. По-прежнему преобладают положительные тенденции числа случаев с **гололедом** (рисунок 5.4а) на ЕЧР, наибольшие коэффициенты линейного тренда получены на севере Приволжского, юго-востоке Северо-Западного ФО и в Астраханской области (0,8-1,6 случаев за 10 лет). На многих метеорологических станциях этот тренд статистически значим на 5% уровне. При региональном осреднении (таблица 5.1, номер региона в таблице соответствует номеру на рисунке 4 Введения) в четырех регионах (5, 7, 10 и 18 регионы) и в целом для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд.

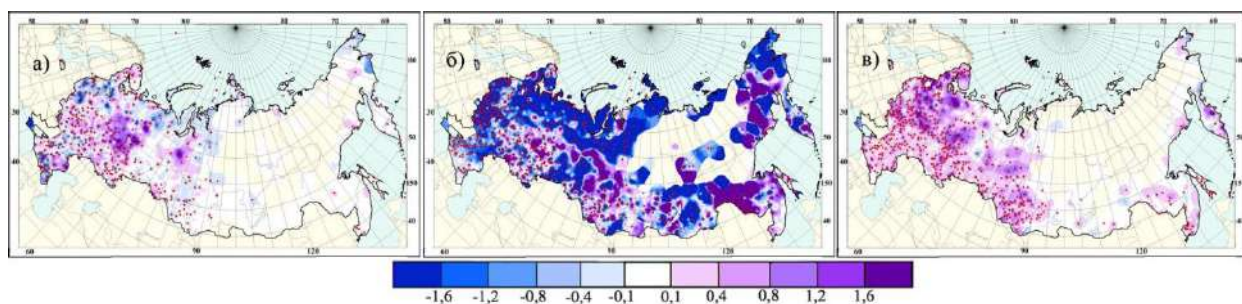


Рисунок 5.4 – Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) суммарного за холодный период числа дней: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. Кругами красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне

По данным на метеорологических станциях получены ярко выраженные значимые как отрицательные, так и положительные значения коэффициентов линейного тренда числа случаев с **кристаллической изморозью** (рисунок 5.4б). При региональном осреднении значимые положительные тенденции получены в Центральной части Восточной Сибири и на Дальнем Востоке между 50°N и 60°N и южнее 50°N (14, 17 и 18 регионы), а значимые отрицательные тренды получены в регионах Атлантическая Арктика, на северо-западе, юго-западе и в степной части Восточно-Европейской равнины (1, 4, 6 и 8 регионы). На большей ЕЧР и Западной Сибири получен положительный тренд числа случаев с **отложением мокрого снега** (рисунок 5.4в). Статистически значимые положительные тенденции отмечены в двенадцати регионах (таблица 5.1). По территории России в целом и для ЕЧР тоже получен статистически значимый тренд, который составляет соответственно 0,5 и 0,7 случаев за 10 лет.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах суммарной за холодный период продолжительности ГИО представлено на рисунке 5.5. Тенденция роста продолжительности **гололеда** получена в центральных областях ЕЧР и на востоке ЯНАО (рисунок 5.5а).

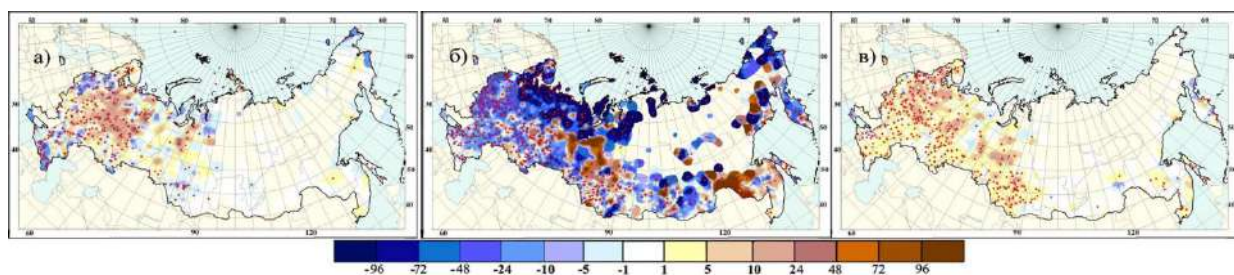


Рисунок 5.5 – Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. Кругами красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне

Статистически значимые тенденции фиксируются на северо-востоке, юго-востоке Восточно-Европейской равнины и на севере лесной зоны Западной Сибири (таблица 5.2). Наибольший тренд продолжительности гололеда составил 3,2 ч/10 лет, где вклад тренда в дисперсию ряда составляет 22%. Значительные отрицательные тенденции продолжительности **кристаллической изморози** сформировались на арктическом побережье ЕЧР, Урала, северо-западе Красноярского края (более 96 часов). Тенденция увеличения продолжительности кристаллической изморози выявлена в ХМАО и Амурской области.

В отдельных квази-однородных регионах были получены значимые на 5% уровне тенденции (таблица 5.2), наибольший положительный тренд фиксируется на Дальнем Востоке между 50°N и 60°N ($b=4.0$ ч/10лет, $d=21\%$), наибольший отрицательный – на юго-западе Восточно-Европейской равнины ($b= -4,0$ ч/10лет, $d=29\%$).

Рост продолжительности **отложения мокрого снега** по-прежнему сохраняется почти на всей ЕЧР, Урале и в Западной Сибири. Во многих квази-однородных климатических регионах получены значимые положительные тенденции (таблица 5.2). Максимальный тренд получен на северо-западе Восточно-Европейской равнины ($b=7,6$ ч /10 лет, $d=76\%$). В целом для территории России и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд продолжительности мокрого снега ($b= 3,1$ и $4,1$ ч/ 10 лет соответственно).

Таблица 5.1 – Оценки линейного тренда аномалий числа случаев ГИО; 1984-2022 гг., b – коэффициент линейного тренда (дни/10лет), d – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%).

Регионы	№	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
		b	d	b	d	b	d
Атлантическая Арктика	1	0,1	4	-1,4	22	0,6	66
Сибирская Арктика	2	-0,0	5	0,6	2	0,0	0
Тихоокеанская Арктика	3	0,0	0	-1,2	5	0,0	0
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,2	1	-1,4	18	1,3	78
СВ Восточно-Европейской равнины	5	1,0	26	0,3	1	0,7	60
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0,2	2	-1,4	28	0,7	54
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	0,5	12	0,2	1	0,5	60
Степная часть Вост.-Европ. равнины	8	-0,0	0	-1,1	14	0,2	22
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,0	0	-0,4	7	0,3	30
Север лесной зоны Западной Сибири	10	0,3	18	-1,0	8	0,1	14
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,1	2	0,3	1	0,2	25
степная зона Западной Сибири	12	0,1	4	-0,1	0	0,4	50
Алтай и Саяны	13	0,0	0	0,2	1	0,4	34
Центральная часть Восточной Сибири	14	0,0	0	4,8	54	0,1	5
Бассейн Ангары	15	0,0	0	0,0	0	0,0	0
Забайкалье	16	0,0	0	-0,3	0	0,0	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,0	0	2,9	39	0,2	10
Дальний Восток южнее 50°N	18	0,1	14	1,6	42	0,4	19
РФ		0,1	4	-0,1	1	0,5	73
ЕЧР		0,3	11	-0,6	7	0,7	75

Примечание: статистически значимый на 5% уровне тренд выделен жирным шрифтом

На рисунке 5.6 представлено географическое распределение линейного тренда среднего за холодный период веса ГИО. Тенденция увеличения веса **гололеда** наблюдается на северо-западе Приволжского, востоке Центрального, в отдельных районах Северо-Западного ФО, в Приморском крае. При региональном осреднении значимых коэффициентов линейного тренда веса гололеда не получено (таблица 5.3).

На большей части страны преобладают отрицательные тенденции веса кристаллической изморози (рисунок 5.6б). Мощный очаг отрицательных тенденций сформировался на арктическом побережье ЕЧР, Сибири и Чукотки (-1,6 г/см /10лет и более). При оценке региональных изменений (таблица 5.3) значимые отрицательные тренды получены в семи районах (1, 4, 6, 7, 8, 9, 16) и в целом для ЕЧР (b= -0,2 г/см /10 лет, d=19%).

Таблица 5.2 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности ГИО; 1984-2022 гг., *b* – коэффициент линейного тренда (час/10лет), *d* – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%).

Регионы	№	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
		<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>
Атлантическая Арктика	1	0,0	0	-1,8	16	3,2	74
Сибирская Арктика	2	-0,6	2	2,8	9	0,1	0
Тихоокеанская Арктика	3	1,0	2	0,1	0	0,1	1
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	-0,6	0	-1,4	7	7,6	76
СВ Восточно-Европейской равнины	5	2,6	12	1,8	9	4,7	53
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	1,3	3	-4,0	29	4,0	44
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	2,6	12	1,8	9	3,1	48
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	1,0	3	-3,9	33	2,0	46
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,9	2	-2,5	10	1,9	30
Север лесной зоны Западной Сибири	10	3,2	22	1,7	3	2,8	25
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,1	0	2,9	14	3,1	63
Степная зона Западной Сибири	12	-0,2	0	1,1	2	2,4	35
Алтай и Саяны	13	0,0	0	1,4	4	3,2	56
Центральная часть Восточной Сибири	14	0,3	5	3,4	5	0,2	1
Бассейн Ангары	15	0,1	0	3,0	10	0,6	8
Забайкалье	16	-0,0	0	0,0	0	-0,2	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	-0,3	2	4,0	21	1,5	10
Дальний Восток южнее 50°N	18	0,8	6	3,9	35	3,4	24
РФ		0,6	3	0,2	0	3,1	78
ЕЧР		1,2	9	-0,2	0	4,1	78

Примечание: статистически значимый на 5% уровне тренд выделен жирным шрифтом

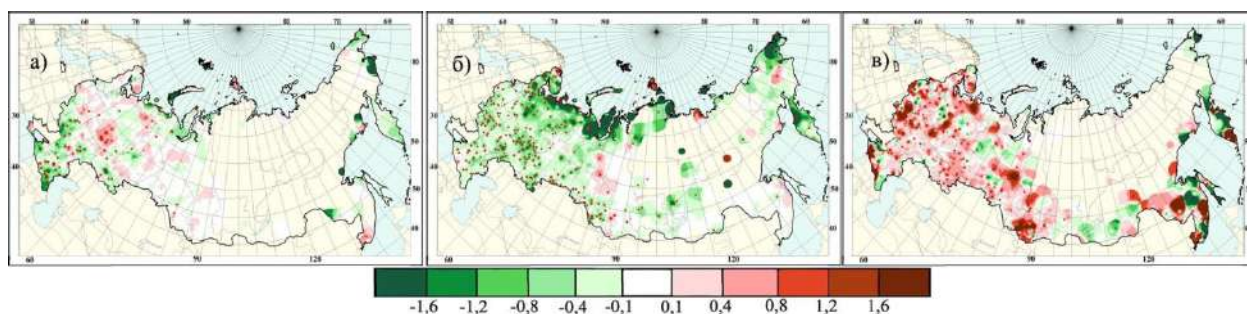


Рисунок 5.6 – Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. Кругами красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне

Значительные положительные тенденции веса отложения мокрого снега (рисунок 5.6в) получены на ЕЧР, Западной Сибири, Амурской области, юге Хабаровского и Приморского краев (1,2-1,6 г/см/10 лет). В семи квазиоднородных климатических регионах, в целом для территории страны и для ЕЧР выявлены значимые положительные тенденции веса отложения мокрого снега (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий веса ГИО; 1984-2022 гг., *b* – коэффициент линейного тренда (*г/см /10 лет*), *d* – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%).

Регионы	№	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
		<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>
Атлантическая Арктика	1	0,0	3	-0,2	15	0,1	19
Сибирская Арктика	2	-0,1	5	-0,2	9	0,1	6
Тихоокеанская Арктика	3	0,0	4	-0,1	2	0,1	3
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,0	3	-0,3	29	0,2	17
СВ Восточно-Европейской равнины	5	0,0	0	-0,1	6	0,3	31
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0,0	1	-0,2	15	0,3	44
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	0,1	4	-0,2	18	0,2	16
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	0,0	0	-0,2	14	0,1	7
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,1	4	-0,1	17	0,1	7
Север лесной зоны Западной Сибири	10	-0,0	1	-0,1	3	0,0	3
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,0	0	-0,1	4	0,1	11
степная зона Западной Сибири	12	-0,0	0	-0,1	4	0,0	2
Алтай и Саяны	13	-0,0	0	-0,0	0	0,3	26
Центральная часть Восточной Сибири	14	-0,0	0	0,3	8	0,0	0
Бассейн Ангары	15	0,0	2	-0,1	1	0,1	1
Забайкалье	16	0,1	2	-0,1	15	-0,0	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,0	3	-0,2	10	0,2	10
Дальний Восток южнее 50°N	18	-0,1	5	-0,0	1	0,1	2
РФ		0,0	0	0,0	1	0,1	21
ЕЧР		0,1	8	-0,2	19	0,1	18

Примечание: статистически значимый на 5% уровне тренд выделен жирным шрифтом

6. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Приповерхностная температура воздуха

Изменения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в Арктике определены по данным метеорологических станций (рисунок 6.1) с разным началом наблюдений.

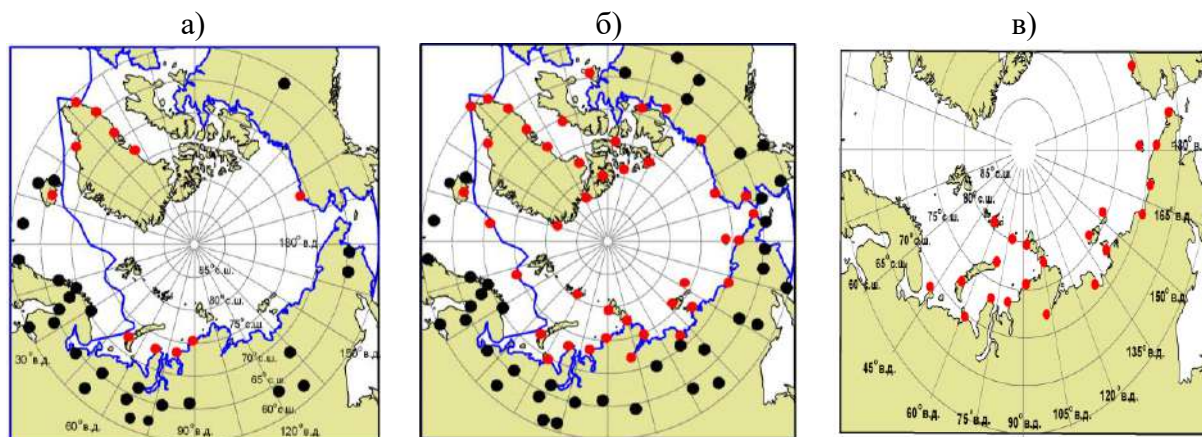


Рисунок 6.1 – Метеостанции, работающие с 1901 г. (а) и с 1951 г. (б) и станции в районе трассы Северного морского пути с 1952 г. (в). Черные кружки – наземные станции, красные – морские станции, синяя линия – зимняя граница морского льда

С 1901 по 1951 год большая часть станций находилась в приатлантической Арктике и на прилегающей территории к северу от 60° с.ш. Изменения ПТВ на этих станциях отражают влияние Атлантического междесятилетнего колебания (рисунок 6.2). Максимальная температура зимой отмечена в 2020 году, а летом – в 2016 году.

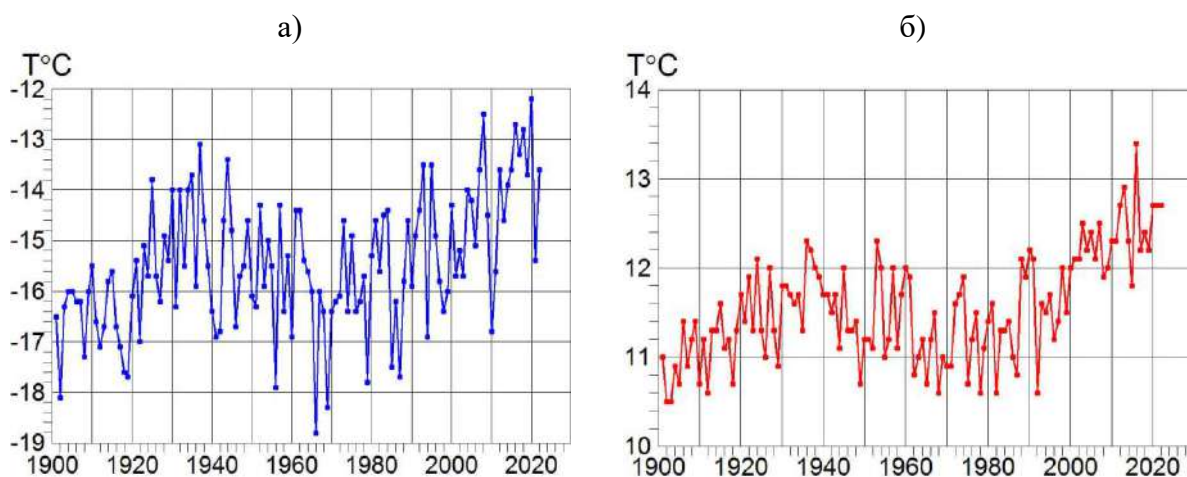


Рисунок 6.2 – ПТВ зимой (а) и летом (б) по данным 32 станций к северу от 60°с.ш.

Начало современного потепления на рисунке 6.2 приходится на 1990-е годы. Более точно начало видно по большему числу метеостанций, действующих с 1951 года, в конце 1990-х годов (рисунок 6.3). Зимой, после максимума 2016-2018 гг. наметилось понижение температуры, а летом – остановка роста.

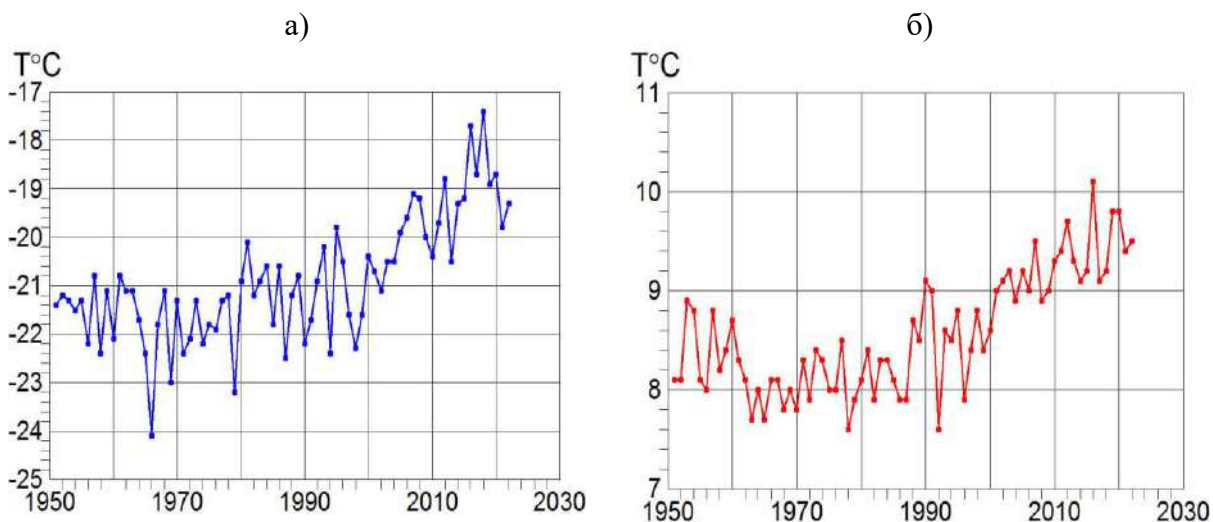


Рисунок 6.3 – ПТВ зимой (а) и летом (б) к северу от 60° с.ш. по данным 81 станции.

В морской Арктике (рисунок 6.1б) приповерхностная температура воздуха также начала повышаться во второй половине 1990-х годов (зимой с 1998 г., а летом с 1996 года согласно рисунку 6.4). Зимний максимум также пришёлся на 2016-2018 гг., а летом повышение ПТВ сменилось 3-4 летними колебаниями.

На акватории арктических морей, по которым проходит СМП, изменения температуры воздуха определены по данным 24 метеостанций, расположенных на побережье и островах (рисунок 6.1в). Здесь наряду с большей межгодовой изменчивостью ПТВ отмечаются те же особенности, что и во всей морской Арктике. Начало потепления также приходится на 1998 год зимой и на 1996 год летом с абсолютным летним максимумом в 2020 году и зимним в 2018 году (рисунок 6.5).

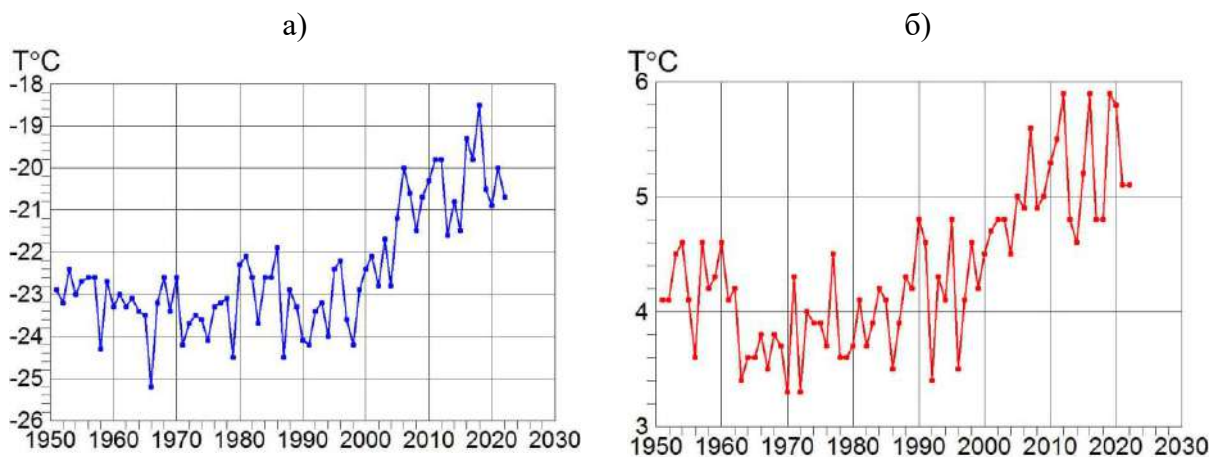


Рисунок 6.4 — ПТВ зимой (а) и летом (б) в морской Арктике по данным 41 станции

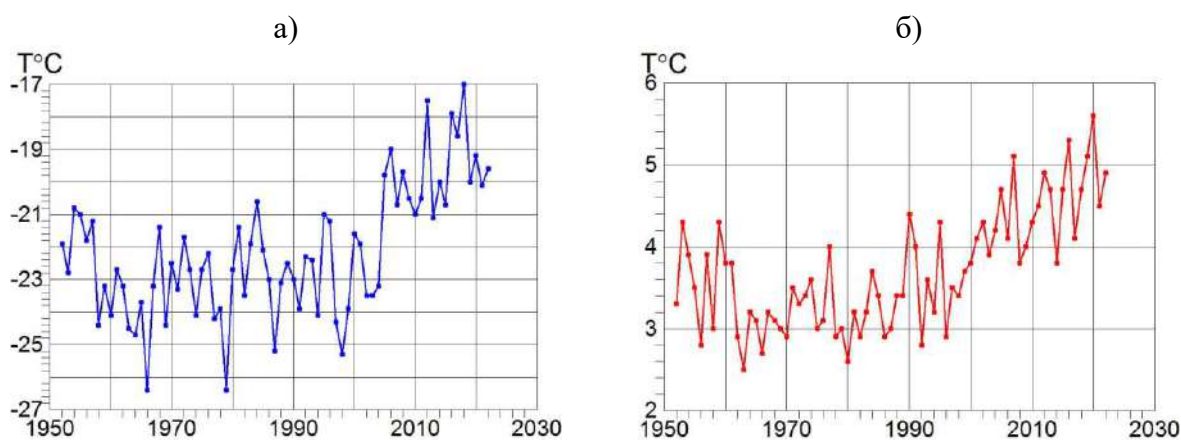


Рисунок 6.5 — ПТВ зимой (а) и летом (б) на акватории морей СМП по данным 24 станций, расположенных на островах и берегах морей

Тренды ПТВ в морской Арктике и в районе СМП за 1989 - 2020 годы представлены на рисунке 6.6. Сезонные изменения трендов над рассматриваемыми районами морской Арктики

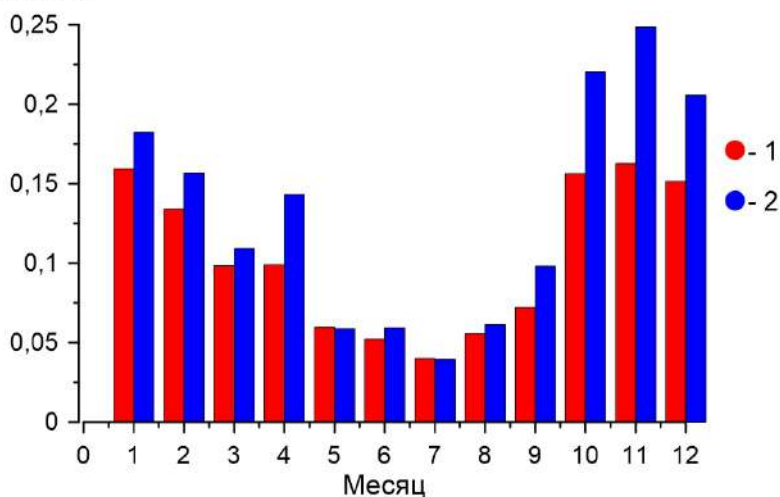


Рисунок 6.6– Тренды среднемесячной температуры воздуха в морской Арктике за 1989-2020 годы. 1 – Северный Ледовитый океан; 2 – моря Северного морского пути (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское)

показывают минимум в июле и максимум в ноябре. Увеличение тренда в апреле после спада в январе – марте связано с началом радиационного прогрева при отсутствии таяния снега и льда, а уменьшение в мае – июле с интенсивным таянием снега и льда и прогревом освобождающейся ото льда воды. Последующий рост трендов указывает на растущее влияние поступления тепла из океана, достигающее максимума в октябре – ноябре.

Изменения морского ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и на акватории Северного морского пути

Потепление в Арктике сопровождается сокращением площади морского льда (рисунок 6.7). Тренды ледовитости (площадь, занятая морским льдом) во все месяцы отрицательны, кроме отдельных незначимых близких к нулю трендов в арктических морях с февраля по апрель. Минимальные по абсолютной величине тренды приходятся на апрель, а максимальные – на октябрь. Рост трендов с мая по июль противоположен уменьшению трендов температуры в эти месяцы, что подтверждает охлаждающее влияние растущего таяния снега и льда и прогресса воды в эти месяцы.

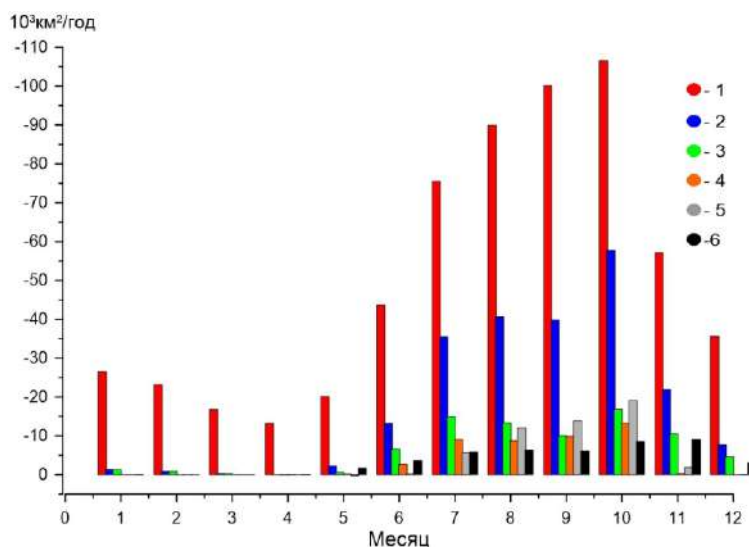


Рисунок 6.7 – Тренды ледовитости в Северном Ледовитом океане и в арктических морях СМП за 1989-2020 годы/
1 – Северный Ледовитый океан; 2 – моря Северного морского пути (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское), 3 – Карское море; 4 – море Лаптевых; 6 – Восточно-Сибирское море; 7 = Чукотское море

Зимой сокращение ледовитости, в отличие от изменения температуры воздуха, меньше, чем летом. Сокращение от максимума 1982 года до минимума в 2016 году зимой составило 9%, а летом – от максимума 1980 года до минимума 2012 года 54%. При этом летнее сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (коэффициент корреляции 0,93, рисунок 6.8). В 2022 летняя температура воздуха в морской Арктике была ниже на 0,7°C относительно 2020 г., а площадь, занятая льдом в сентябре, выросла на 26%.

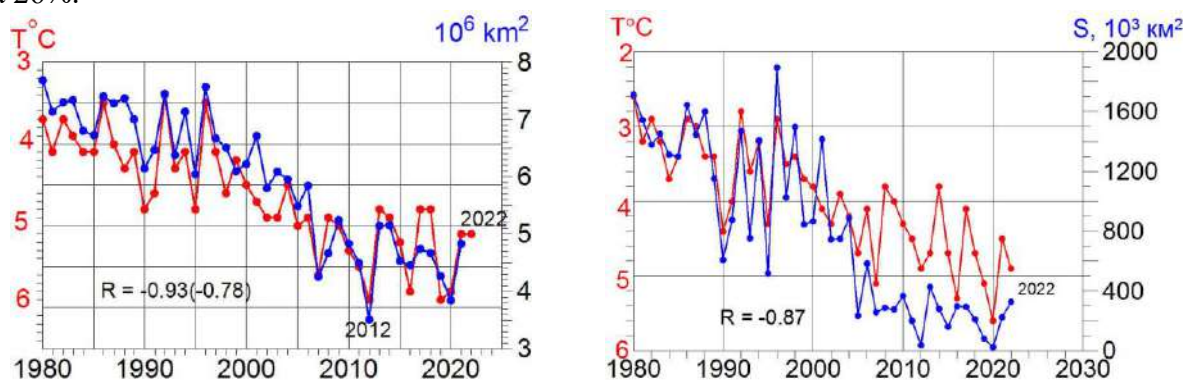


Рисунок 6.8 – Площадь, занятая морским льдом в сентябре и температура воздуха летом в Северном Ледовитом океане (слева) и в морях СМП в сентябре (справа). Шкала температуры перевёрнута. R – коэффициент корреляции между температурой и ледовитостью, в скобках между отклонениями от тренда

Ещё заметнее потеплело в 2010-е годы на акватории Сибирских арктических морей (Карское – Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь.

Данные метеорологических станций на побережье и островах морей показывают повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2016 год почти на 10°C, а летней почти на 3°C (рисунок 6.5).

Значительно сократилась сумма градусодней мороза (СГДМ), отражающая разрастание ледяного покрова на акватории морей в холодную часть года с октября по апрель (рисунок 6.9).

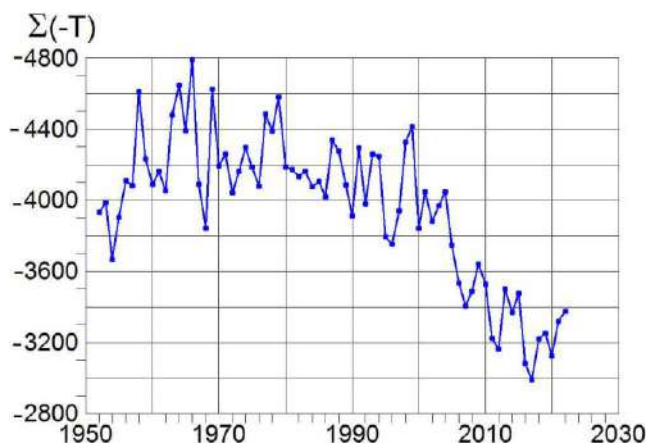


Рисунок 6.9 – Сумма градусодней мороза по данным о средней ПТВ на 24 станциях на побережье и островах морей СМП

Площадь, занятая морским льдом на акватории морей в конце летнего сезона, в сентябре, быстро сокращалась с 1996 года и за десять лет к 2005 году уменьшилась более чем в три раза – с 1892 до 234 тыс. кв. км. В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. кв. км в 2016 году, превысившим предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. кв. км). С ноября по июнь моря покрываются сплоченными льдами, концентрация и толщина которых достигает максимума в апреле.

7. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Мощность сезонно-талого слоя (СТС) является индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов (ММГ), отражающим метеорологические условия отдельных лет. Измерения мощности СТС с 1990 года проводятся по стандартизированной методике в рамках Международной программы мониторинга CALM (CircumPolar Active-Layer Monitoring), в которой участвуют несколько десятков стран, в том числе и Россия.

Температура воздуха в высоких широтах повышается в 2-2,5 раза быстрее по сравнению с изменением глобальной температуры, и криосфера Земли является наиболее чувствительным индикатором современных изменений климата. Мощность сезонно-талого слоя (СТС) свидетельствует о состоянии многолетнемерзлых грунтов (ММГ), отражающим метеорологические условия отдельных лет. Измерения мощности СТС с 1990 года проводятся по стандартизированной методике в рамках Международной программы мониторинга CALM (CircumPolarActive-LayerMonitoring), в которой участвуют несколько десятков стран, в том числе и Россия. В настоящее время на территории криолитозоны РФ, действующими является около 58 площадок, хотя количество площадок, с которых поступают данные о состоянии СТС, меняется от года к году.

За время с 1990 года на территории РФ существовало 75 площадок, на которых когда-либо производились измерения. В 2022 году данные о толщине СТС поступили с 41 площадки (в 2021 году их было 46). Их них 3 – на Европейской части России (в 2021 году было 5), 10 в Западной Сибири (в 2021 было 18), 6 в Центральной Сибири (в 2021 году было 7), 16 в северо-восточной Сибири (в 2021 году было 11) и 6 на Камчатке и Дальнем Востоке (в 2021 году их было 5).

В Таблице 7.1 представлены ежегодные данные о мощности СТС за 15-летний период 2008-2022 гг. Последние три столбца таблицы 7.1 отражают средние значения за весь рассматриваемый период и тренды за два длительных периода: с начала наблюдений на каждой площадке до 2021 года (ТР1) и до 2022 года (ТР2). Сравнение трендов за два последних периода позволяет оценить вклад данных последнего года наблюдений. Расчеты трендов проводились только для площадок, имеющих данные наблюдений не менее чем за 7 лет. В таблице использовано обозначение площадок в соответствии с

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

Таблица 7.1 – Мощность СТС (см), средние значения (СР, см) и тренды (см/10 лет) за период с начала наблюдений по 2021 г. (ТР1) и по 2022 г. (ТР2) на площадках CALM

Код	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	СР	ТР1	ТР2
Европейский север																		
R2	87	86	89	88	91	93	91	90	92	80	85	87	90	91	90	82	10	10
R23	152	144	138	144	161	156	-	150	169	155	158	167	-	151	178	138	32	32
R24	124	112	104	107	135	117	102	110	111	88	110	104	120	128	-	111	3	
R24a	-	-	58	64	88	87	65	80	109	76	84	83	123	98	-	85	34	
R44	-	-	-	160	160	165	160	162	163	-	-	-	-	-	-	162		
R52	-	-	-	-	48	52	53	56	60	53	54	54	60	62	58	55	11	9
Западная Сибирь																		
R1	136	101	114	129	134	136	164	163	186	148	178	176	197	196	-	144	26	
R1B	-	-	-	-	-	95	95	96	107	108	100	108	125	121	-	106	35	
R3	114	85	98	102	127	115	102	122	136	98	107	121	137	120	118	111	6	5
R5	93	76	87	87	102	103	93	102	114	102	94	94	104	101	102	94	5	5
R5A	75	47	67	67	77	80	71	76	87	66	66	72	76	76	77	72	6	6
R5B	73	81	65	65	77	78	70	77	91	75	70	73	82	82	84	76	6	7
R5C	113	82	106	114	128	126	111	129	144	118	116	114	135	123	125	119	16	15
R5D	-	-	-	-	-	-	41	48	54	39	40	46	51	52	49	47	8	8
R50A	84	65	77	72	87	70	76	85	74	69	111	103	120	114	-	86	31	
R50B	84	65	80	82	95	92	84	93	96	93	101	102	-	107	-	90	24	
R53	-	-	-	-	-	-	-	-	99	94	100	111	134	-	90	105		12
R54A	-	-	-	-	-	-	-	-	104	90	94	100	113	102	102	101	19	13
R54B	-	-	-	-	-	-	-	-	66	61	60	63	73	70	63	65	17	8
R54C	-	-	-	-	-	-	-	-	67	66	66	69	77	73	70	70		13
R55	-	54	50	53	60	55	41	59	68	57	53	54	65	55	-	56	5	
R55A	-	100	90	98	114	112	91	111	130	115	107	109	131	121	-	110	22	
R56	-	-	-	-	-	68	76	85	92	64	74	84	103	111	-	84	39	
R57	-	-	-	-	-	43	51	46	52	37	45	50	56	57	-	49	12	
R58	-	-	-	-	-	-	-	-	82	84	94	102	101	-	-			
Центральная Сибирь																		
R29B	37	25	28	35	30	24	33	30	30	26	36	28	41	31	35	32	0	1
R29C	-	-	-	-	-	-	-	34	29	30	38	32	42	36	38	35	12	11
R32	94	94	94	96	104	86	95	102	84	106	104	113	95	122	113	98	14	14
R40	70	67	62	67	68	68	75	86	90	-	89	88	101	102	105	81	30	30
R42	203	199	197	201	201	201	203	201	201	203	201	205	206	208	208	203	5	5
R43	124	122	123	123	124	129	126	125	121	121	119	124	124	130	133	125	1	3
R51	54	42	58	57	55	46	51	53	45	46	54	51	59	63	-	51	5	
Северо-Восточная Сибирь																		
R13A	50	36	52	45	43	47	-	36	46	43	43	43	47	43	40	43	2	1
R13B	37	25	46	46	41	47	-	27	41	38	44	44	46	44	33	40	2	1
R14	39	46	49	47	46	42	-	48	41	49	47	49	48	48	-	45	3	
R15A	38	28	48	32	30	30	-	31	33	31	30	32	39	-	23	35		-3
R15B	44	39	45	54	46	43	-	44	41	39	40	41	42	-	27	42		-1
R16	49	43	56	72	54	50	57	60	57	56	52	51	56	52	36	52	7	4
R17	49	47	56	61	53	55	64	55	57	55	70	55	73	63	63	55	7	7
R18	80	78	84	84	77	74	79	83	85	87	89	90	84	66	70	78	6	5
R18A	98	96	104	104	97	94	101	102	109	111	119	117	117	72	103	102	6	5
R19	92	92	103	94	83	89	95	101	112	79	89	98	105	83	101	88	12	12
R20	55	49	53	59	54	61	65	59	53	64	64	63	62	59	60	56	6	5
R21	100	96	110	105	92	96	108	96	111	85	97	101	114	94	99	98	7	7
R22	53	51	57	50	52	49	45	56	53	54	55	54	58	56	58	53	3	3
R25	43	42	65	60	41	41	-	39	42	43	49	48	51	47	44	46	4	3
R31	47	49	52	52	50	47	47	46	49	41	40	-	45	-	46	0		
R35	34	32	52	45	44	40	40	46	32	43	41	39	48	39	39	41	1	1
R36	43	41	31	35	34	44	38	38	42	43	44	43	43	45	46	40	4	4
R38A	133	122	145	149	130	124	132	134	135	136	-	-	-	-	-	135		
R38B	-	-	154	157	139	147	150	152	154	-	-	-	-	-	-	153		
R38C	79	78	82	79	72	66	75	75	72	75	74	68	71	51	53	73	-8	-10
Дальний Восток																		
R9	52	52	52	51	53	52	59	55	60	55	51	60	55	49	52	51	5	5
R11	61	60	53	57	54	57	60	58	64	60	65	61	60	51	57	56	5	4
R27	61	64	74	65	67	69	70	72	67	67	78	78	-	75	72	68	7	7
R41	-	-	47	47	47	51	56	55	56	55	59	66	-	62	60	55	17	14
R45	-	-	42	44	44	47	49	44	49	49	46	50	50	45	46	47	5	3
R30C	49	49	50	50	48	46	-	47	53	51	49	47	49	49	52	49	2	2

По сравнению с предыдущим годом на территории Европейской части России данные доступны только с трех площадок, из района Воркуты (R2, R23 и R52). Наиболее значительное увеличение мощности СТС в 2022 году по сравнению с предыдущим годом отмечается на площадке Тальник (R23), где глубина протаивания увеличилась на 27 см, в

то время как на площадке (R2-Воркута), она не изменилась. В 65 км к юго-западу от Воркуты (Сейда – R52), наоборот имело место уменьшение слоя СТС на 4 см, по сравнению с 2021 годом. Отсутствие данных с площадок мыс Болванский (R24) и п-ов Кашин (R24А) не позволяет оценить тренд СТС в 2022 году на этих площадках. Таким образом, также, как и в 2021 году отмечается разнонаправленность изменений толщины СТС в северной и южной части территории, примыкающей к г. Воркута.

Для Западной Сибири информация о состоянии СТС поступила всего с 10 площадок, по сравнению с данными 18 площадок в 2021 году. Поступившая в 2022 году информация освещает в основном полуостров Ямал (6 площадок на территории Васькины Дачи, R5, R5А- R5D). Анализ этих данных свидетельствует об устойчивом характере изменения СТС за последние два года, когда изменения составляли не более 1-3 см, со знаком плюс или минус. Тренды СТС положительные и практически одинаковы по величине для 2021 и 2022 годов. Одна площадка (R53) на Полярном Урале характеризует резкое понижение уровня СТС (на 15-20 см) по сравнению с 2020, 2019 и 2018 гг., данные за 2021 год отсутствуют, но тренд в 2022 сохраняется довольно значительным (12 см за 10 лет) за счет высоких значений в предыдущие годы. Данные трех площадок с п-ова Гыдан (Тазовский район, бассейн р. Гыда) показывают устойчивые значения СТС, начиная с 2019 года, хотя на двух площадках в 2022 году величины СТС оказались несколько ниже (на 7 и 3 см) по сравнению с 2021 годом. С пяти площадок самой северной части Ямало-Ненецкого округа (остров Белый) данные в 2022 году не поступили, хотя в предыдущие годы этот район отличался устойчивым трендом увеличения мощности СТС.

В Центральной Сибири на 5 площадках из 6 отмечается незначительное увеличение мощности СТС (на 3-5 см), на одной площадке (R2, Норильск) мощность СТС в 2022 году уменьшилась на 9 см, а на площадке Туймада (R42, район Якутска) глубина СТС не изменилась в 2022 году.

Если в 2021 году практически все площадки северо-востока Сибири показывали уменьшение толщины СТС, наиболее значительное в районе горы Родинка (R38В), озер Ахмело (R21) и Глухое (R19), то в 2022 году на этих площадках, наоборот, отмечается увеличение мощности СТС. В районе горы Родинка (Колыма) на 31 см, в районе озера Глухое на 18 см, на других площадках (оз. Ахмело, р. Алазея (R22) и озеро Якутское (R25) увеличение мощности СТС относительно небольшое, от 2 до 5 см. Уменьшение толщины СТС имело место на трех площадках (Колыма едома, Колыма алас и Колыма пинго, R13, R13В и R16). Наиболее значительное уменьшение мощности СТС отмечалось на площадках R13В и R16, на 11 и 16 см соответственно.

На Чукотке в 2022 году мощность СТС увеличилась на площадках R9 и R11, на 3 и 6 см соответственно. На Камчатке (Плоский Толбачик, R30С) отмечено незначительное увеличение мощности СТС в 2022 году, на 3 см.

Сравнивая тренды СТС, рассчитанные за периоды от начала наблюдений до 2021 года и 2022 (последние 2 столбца таблицы 1), можно сделать следующие выводы. На европейском севере, на двух площадках из трех Воркута (R2) и Тальник (R23) величина тренда не изменилась, на площадке Сейда (R52) в 2022 году отмечается уменьшение тренда. На 6 площадках Западной Сибири тренды не изменились, на двух (R54А и RВ) в 2022 году уменьшились на 6 и 9 (см/10 лет), соответственно. В Центральной Сибири отмечается сохранение значений трендов мощности СТС на всех площадках, наиболее значительные по величине тренды мощности СТС (30 см/10 лет) характерны для площадок Игарка (R40) и Норильск (R32). На территории северо-восточной Сибири в 2022 году отмечается сохранение величины трендов на уровне 2021 года, в среднем по региону увеличение мощности СТС происходит со скоростью от 3 до 12 см/10 лет.

Данные, представленные на рисунке 7.1, свидетельствуют о том, что за редким исключением тренды мощности СТС положительны на территории криолитозоны РФ, что свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения глубины оттаивания вечной

мерзлоты в 21м веке. Все фактические данные наблюдений и значения трендов СТС представлены на сайте: www.permafrost.su.

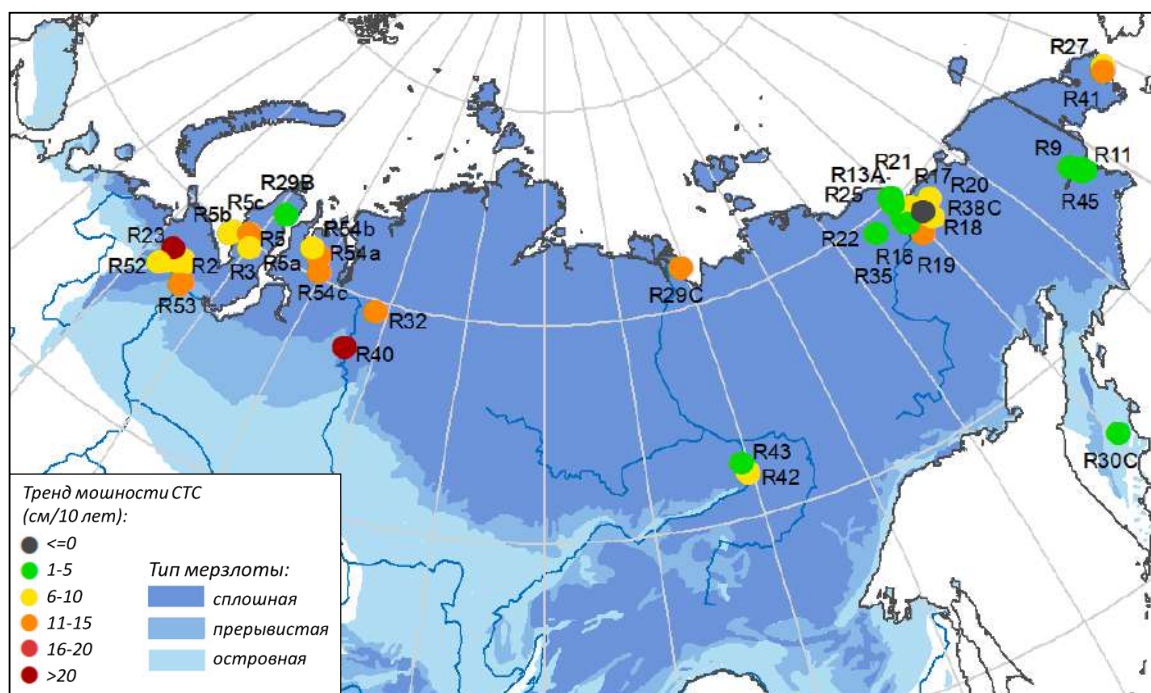


Рисунок 7.1 – Тренд мощности СТС за период с начала наблюдений до 2022 года (см/10 лет)

8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Мониторинг агрометеорологической составляющей климата за 2022 год осуществляется по данным наблюдений за температурой воздуха и суммами осадков месячного разрешения для 455 станций, расположенных на территории России и стран СНГ, за период с 1951 г. по 2022 г., содержащимся в базе данных «Климат», поддерживаемой ФГБУ «ИГКЭ».

Оценки аномалий показателей агроклиматических условий и показателей продуктивности текущего года за период вегетации основных сельскохозяйственных культур выполняются с помощью имитационной системы Климат-Почва-Урожай (ФГБУ «ВНИИСХМ»).

Анализ текущих значений агроклиматических показателей

Оценка агроклиматических показателей в 2022 г. выполняется по станционным данным сети наблюдений на территории земледельческой зоны России. Определяются аномалии агроклиматических показателей по отношению к базовому климатическому периоду 1991–2020 гг. или климатической норме. Аномалии показателей термического и влажностного режима сельскохозяйственных культур в 2022 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 8.1 и 8.2.

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур

Зима на всей территории земледельческой зоны России в 2022 г. была теплее на 0,3–2,8°C по сравнению с климатической нормой. На территории СКФО и УФО положительные аномалии температуры воздуха достигали значений 2,7–2,8°C.

Температура весеннего периода была ниже нормы на ЕЧР и Урале и колебалась в интервале от $-0,4$ до $-1,3^{\circ}\text{C}$. Исключение составили СФО и ДФО, где положительные аномалии составили $1,2$ и $0,7^{\circ}\text{C}$, соответственно. В среднем по сельскохозяйственной зоне России аномалия температуры воздуха весной была отрицательной ($-0,2^{\circ}\text{C}$).

Температура летом превышала норму на $0,5$ – $1,8^{\circ}\text{C}$, за исключением территории СФО, где отрицательная аномалия оценивается $-0,8^{\circ}\text{C}$.

Таблица 8.1 – Аномалии показателей термического режима в 2022 г. относительно средних значений за 1991–2020 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), $^{\circ}\text{C}$						$T_{T>5}$, $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{зерн.}}$, $^{\circ}\text{C}$	Дата перехода весной, сут., через		Продолжительность периода, сут., с T ($^{\circ}\text{C}$)		Сумма температур, $^{\circ}\text{C}$	
	зима	весна	лето	осень	январь	июль			5 $^{\circ}\text{C}$	10 $^{\circ}\text{C}$	>5	>10	>5	>10
Северо-Западный	0,3	-0,9	1,8	-0,1	0,9	1,1	0,1	1,6	11	8	2	-12	79	-7
Центральный	1,3	-1,3	1,7	-0,1	0,9	0,3	-0,3	-0,1	1	9	5	-8	28	-59
Приволжский	2,2	-1,3	1,4	0,4	0,9	0,4	-0,3	-0,3	-3	4	8	-6	69	-48
Южный	2,4	-1,2	0,9	1,1	1,2	-0,6	0,2	0,7	5	-1	6	12	135	200
Северо-Кавказский	2,8	-0,4	0,9	1,5	2,0	0,2	0,3	0,6	-4	-6	12	14	237	300
Уральский	2,7	-0,5	0,7	-0,3	1,2	0,9	0,1	0,3	-5	-2	10	3	134	67
Сибирский	2,3	1,2	-0,8	0,2	3,0	-1,1	-0,2	-0,3	-6	-11	8	10	74	90
Дальневосточный	1,0	0,7	0,5	0,6	0,7	1,6	0,1	0,3	-1	1	1	2	61	68
РФ	1,8	-0,2	0,8	0,3	1,4	0,5	-0,1	0,2	-1	0	6	0	88	44

На преобладающей части сельскохозяйственной зоны дата возобновления вегетации (переход через 5°C весной) наблюдалась от 3 до 6 дней ранее среднемноголетних значений. Продолжительность периода вегетации ($T>5^{\circ}\text{C}$) превышала среднемноголетние значения на всей рассматриваемой территории и в среднем по РФ составила 6 дней. Сокращение периода активной вегетации ($T>10^{\circ}\text{C}$) на 6–12 дней наблюдалось на ЕЧР, за исключением самых южных областей.

Аномалии средней температуры воздуха за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ($T_{\text{зерн.}}$) были разнонаправленными по знаку, изменялись в интервале от $-0,3^{\circ}\text{C}$ (ПФО, СФО) до $1,6^{\circ}\text{C}$ (СЗФО) и в среднем составили $0,2^{\circ}\text{C}$.

Положительные аномалии сумм температур за период вегетации ($T>5^{\circ}\text{C}$) отмечались на всей территории ЕЧР и АЧР, а максимальное значение зафиксировано в СКФО (237°C). Аномалии сумм температур за период активной вегетации (период с температурой воздуха выше 10°C) имели значительный размах: от положительных 200 – 300°C в южных областях ЕЧР до отрицательных (от -48 до -59°C) в ПФО и ЦФО (таблица 8.1, рисунок 8.1)

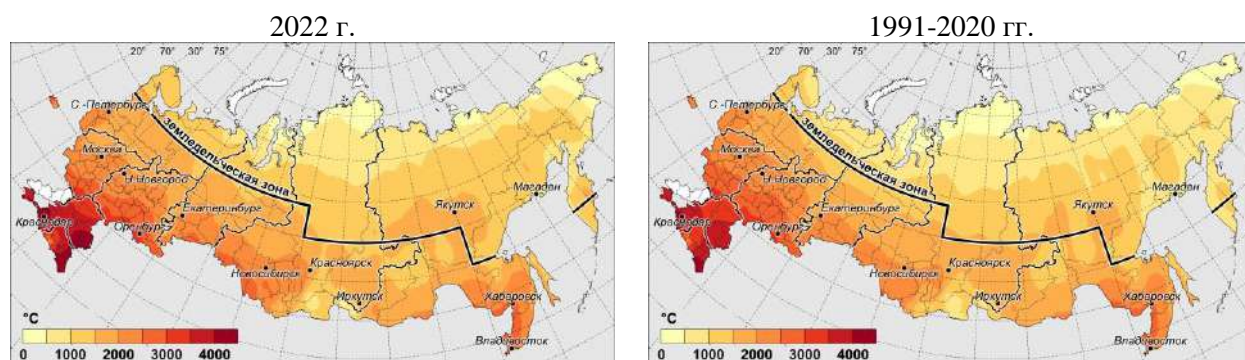


Рисунок 8.1 – Сумма температур выше 10°C ($^{\circ}\text{C}$) за 2022 г. и средние значения за 1991–2020 гг.

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур

Увлажнённость территории оценивается по показателям: аномалии суммы осадков по сезонам года, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) за период с мая по август, индекс сухости М.И. Будыко (ИС), сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ($R_{\text{зерн.}}$) и суммарное количество осадков за тёплый период года ($R_{T>5}$).

Сумма осадков, выпавших за период вегетации яровых зерновых культур ($R_{\text{зерн.}}$), в 2022 г. в среднем по территории земледельческой зоны России на 5% выше относительно базового периода 1991–2020 гг. В северо-западных и центральных областях ЕЧР, а также на Урале наблюдался незначительный дефицит атмосферных осадков – ниже нормы на 7–13% (таблица 8.2). В тёплый период года ($T>5^{\circ}\text{C}$) на территории основных сельскохозяйственных регионов ЕЧР, в ПФО и ЦФО, осадков выпало на 12–18% больше среднеголетних значений. Не отмечалось недостатка осадков и в самых южных областях, на территории ЮФО и СКФО, где осадков выпало на ~4% больше нормы. Сезонное распределение осадков неравномерное – с максимумом зимой и весной, и минимумом в летний период (таблица 8.2).

Таблица 8.2 – Аномалии показателей влажностного режима в 2022 г. относительно средних значений за 1991–2020 гг.

Федеральный округ	Сумма осадков, %					$R_{T>5}$, %	$R_{\text{зерн.}}$, %	ГТК _{май–авг.} , ед.	ИС, ед.
	зима	весна	лето	осень	год				
Северо-Западный	15	-23	-1	-3	-3	3	-10	-0,15	0,01
Центральный	26	19	-22	51	15	18	-7	-0,24	-0,17
Приволжский	25	25	-19	42	15	12	11	-0,12	-0,19
Южный	51	4	0	-14	10	2	8	-0,01	-0,07
Северо-Кавказский	-38	40	-25	-4	-8	6	24	0,01	0,24
Уральский	24	24	-19	-6	-2	-6	-13	-0,15	0,03
Сибирский	-6	-18	15	-10	0	6	21	0,06	0,08
Дальневосточный	-2	17	15	2	10	14	10	0,26	-0,05
РФ	14	9	-3	6	6	8	5	-0,02	-0,04

Отрицательные аномалии индекса сухости М.И. Будыко, рассчитанного за период с температурой выше 5°C , также свидетельствуют о том, что уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2022 г. был выше, чем в среднем за 1991–2020 гг. (таблица 8.2, рисунок 8.2). Только в отдельных районах СКФО положительные аномалии ИС достигли уровня ~0,24, что выше климатической нормы на 20–25%.

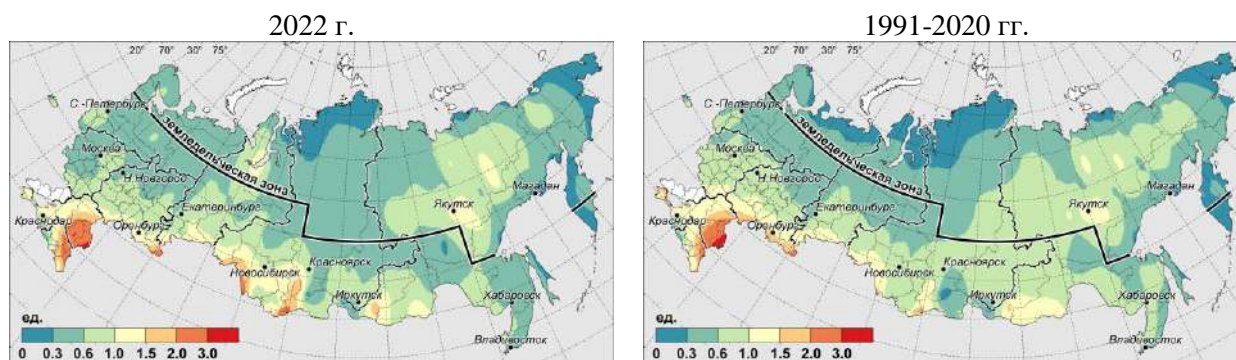


Рисунок 8.2 – Индекс сухости М.И. Будыко за 2022 г. и средние значения за 1991–2020 гг.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной на дату возобновления вегетации и вплоть до колошения зерновых культур, а также в пахотном слое почвы в сентябре в период сева озимых зерновых культур были достаточными во всех

сельскохозяйственных районах. Локальная почвенная засуха могла наблюдаться в ЮФО и СКФО, а также в южных областях УФО в период с июня по август (таблица 8.3).

Таблица 8.3 – Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2022 г. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай.

Федеральный округ	Запасы продуктивной влаги, мм					
	возобновление вегетации	май	июнь	июль	август	сентябрь
Северо-Западный	196	184	123	113	16	34
Центральный	171	159	91	72	7	26
Приволжский	141	123	78	57	5	20
Южный	146	96	60	42	5	11
Северо-Кавказский	101	76	42	24	3	12
Уральский	104	94	66	41	6	16
Сибирский	163	117	87	88	19	24
Дальневосточный	131	116	91	108	37	41
РФ	148	124	83	72	13	24

* серым выделены ячейки таблицы с запасами влаги 50 мм и мм и менее в слое 0–100 см, и 10 мм и менее в слое 0–20 см.

Тенденции изменения агроклиматических показателей

Рост теплообеспеченности тёплого периода года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) и периода активной вегетации ($T > 10^{\circ}\text{C}$) сельскохозяйственных культур продолжается повсеместно в земледельческой зоне. Оценки линейного тренда суммы активных температур воздуха и суммы температур выше 5°C свидетельствуют, что на ЕЧР остаётся высокой скорость роста этих показателей, диапазон изменений которых составляет от ~ 90 до $\sim 170^{\circ}\text{C}/10$ лет за период с 1976 г. по 2022 г. (таблица 8.4, рисунок 8.3). На АЧР скорость роста этих показателей значительно ниже, на уровне $50\text{--}60^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода ($T > 5^{\circ}\text{C}$) и периода активной вегетации ($T > 10^{\circ}\text{C}$) (таблица 8.4). Продолжительность вегетационного периода с большей скоростью увеличивается в ЮФО и СКФО (~ 6 сут./10 лет), с меньшей – на АЧР (от 2 до 3 сут./10 лет).

Таблица 8.4 – Оценки линейных трендов показателей термического и влажностного режимов за период 1976–2022 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	0,3	0,5	-1,4	4,0	93	98	3,1	0,3	-0,03	0,02
Центральный	0,4	0,6	-1,4	4,8	120	112	5,1	-10,7	-0,08	0,04
Приволжский	0,4	0,5	-1,1	3,8	95	88	6,0	-10,1	-0,07	0,05
Южный	0,3	0,7	-3,7	5,9	168	151	3,8	-5,3	-0,03	0,06
Северо-Кавказский	0,4	0,6	-3,5	5,8	143	126	3,8	-3,8	-0,02	0,01
Уральский	0,5	0,2	-1,4	2,7	59	61	5,6	-1,7	-0,03	0,02
Сибирский	0,8	0,2	-2,4	3,3	57	50	4,0	3,3	0,00	0,00
Дальневосточный	0,4	0,3	-1,5	2,7	58	62	6,2	7,5	0,02	0,01
РФ	0,5	0,4	-1,9	3,7	86	82	5,1	-1,2	-0,03	0,02

Положительная тенденция к росту весенних осадков, наблюдавшаяся в последние годы, сохраняется на прежнем уровне в земледельческой зоне, и её оценка составляет от 3 до 6 мм/10 лет. Коэффициенты линейного тренда летних осадков за 1976–2022 гг.

остаются отрицательными в основных сельскохозяйственных регионах на ЕЧР, за исключением СЗФО. Максимальная скорость их снижения наблюдается в ЦФО и ПФО и оценивается величиной 10–11 мм/10 лет. В то же время, отмечаются тенденции роста осадков летнего периода в Сибири и на Дальнем Востоке со скоростью 3,3 и 7,5 мм/10 лет, соответственно (таблица 8.4).

В целом, по оценкам за период 1976–2022 гг. степень засушливости в земледельческой зоне растёт: оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости М.И. Будыко (ИС) за весь тёплый период года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) составляют $-0,03/10$ лет и $0,02/10$ лет, соответственно. Тенденции изменений ИС положительные на всей территории, за исключением отдельных регионов Западной Сибири и Дальнего Востока (рисунок 8.3).

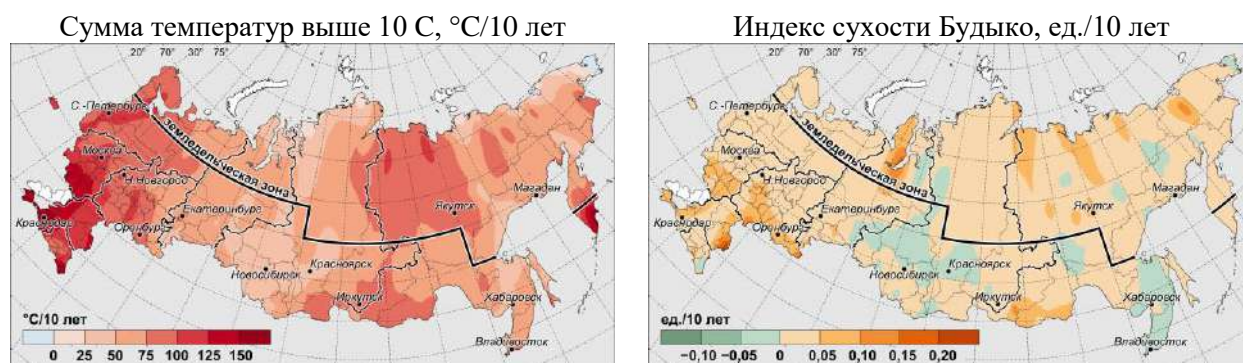


Рисунок 8.3 – Скорость изменения (линейный тренд) суммы температур выше 10°C ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) и индекса сухости М.И. Будыко (ед./10 лет) за период 1976–2022 гг.

Продуктивность сельскохозяйственных культур

Показатели продуктивности сельскохозяйственных культур, климатически обусловленная урожайность и биоклиматический потенциал (БКП), рассчитываются с помощью имитационной системы Климат–Почва–Урожай. Аномалии урожайности определены как относительное отклонение значения в текущем году от среднего значения за предшествующие пять лет, с 2017 по 2021 год.

Основные посевные площади яровой пшеницы сосредоточены в СФО, ПФО и УФО и составляют ~ 47 , 30 и 16% от общей площади по РФ, соответственно. Климатически обусловленная урожайность в Самарской и Оренбургской областях, Республиках Татарстан и Башкортостан в ПФО в 2022 г. превышала средний уровень за 2017–2021 гг. на 12–40%. Положительные аномалии климатически обусловленной урожайности также отмечаются в Курганской, Омской и Томской областях и составляют от 6 до 20% относительно средней за предшествующий пятилетний период. В Алтайском крае и Новосибирской области климатически обусловленная урожайность в 2022 г. близка к уровню средней за 2017–2021 гг. (рисунок 8.4). В целом по федеральным округам оценки аномалий климатически обусловленной урожайности положительные, за исключением ДФО и ЮФО, где соответствующие оценки составляют -8 и -3% .

Урожай (биомасса) многолетних трав или БКП в 2022 г. в целом по земледельческой зоне оказался на уровне среднего за 2017–2021 гг. (рисунок 8.4).

Условия увлажнения посевов озимых культур урожая 2023 г. в осенний период оцениваются как благоприятные. По данным наблюдений, в чернозёмных областях ЦФО и на большей части ЮФО влагообеспеченность в пахотном слое была достаточной, начиная с третьей декады августа (рисунок 8.5). Недостаточные запасы влаги в пахотном слое почвы ниже критических значений (≤ 10 мм) наблюдались только в отдельных районах ЮФО и на юго-востоке ПФО в конце августа – начале сентября. Выпадение осадков в течение первой и второй декад сентября способствовало увеличению запасов продуктивной влаги под посевами озимых. Увлажнённость пахотного слоя почвы

поддерживалась на уровне 20–25 мм и выше практически на всей рассматриваемой территории во второй декаде сентября. В целом, продуктивные запасы влаги в период сева озимых зерновых культур в 2022 г. оцениваются выше средних за предшествующие пять лет.

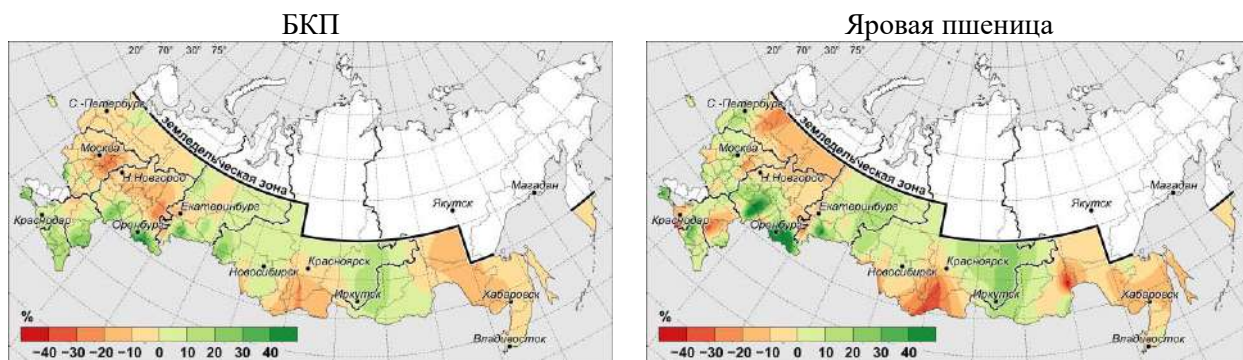


Рисунок 8.4 – Отклонения (%) значений биоклиматического потенциала и климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы за 2022 г. относительно средних за 2017–2021 гг. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай



Рисунок 8.5 – Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы под озимой пшеницей на третью декаду августа, первую и вторую декады сентября 2022 года (по данным наблюдений)

9. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

В 2022 году число опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) было меньше, чем в последние 2 года. В целом было зарегистрировано 976 ОЯ, из которых 334 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения (в 2021 году было соответственно 1205 и 417 ОЯ). Учреждениями Росгидромета было выпущено 2045 штормовых предупреждений (в 2021 году – 2833). Показатели деятельности сохранились на достаточно высоком уровне: предупрежденность ОЯ – 95-96%, оправдываемость штормовых предупреждений – 96%, что примерно на уровне прошлого года (в 2021 году предупрежденность ОЯ составила: в общем 95,8%, ОЯ, нанесших ущерб, – 96,6%, оправдываемость штормовых предупреждений – 96,8%).

Мониторинг общего числа ОЯ ведется с 2008 года. Динамика общего числа ОЯ за 15 лет показана в таблице 9.1 и на рисунке 9.1.

Таблица 9.1 – Динамика общего числа опасных гидрометеорологических явлений за период с 2008 по 2022 год.

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Кол-во ОЯ	1090	923	972	760	987	963	898	973	988	907	1040	903	1000	1205	976

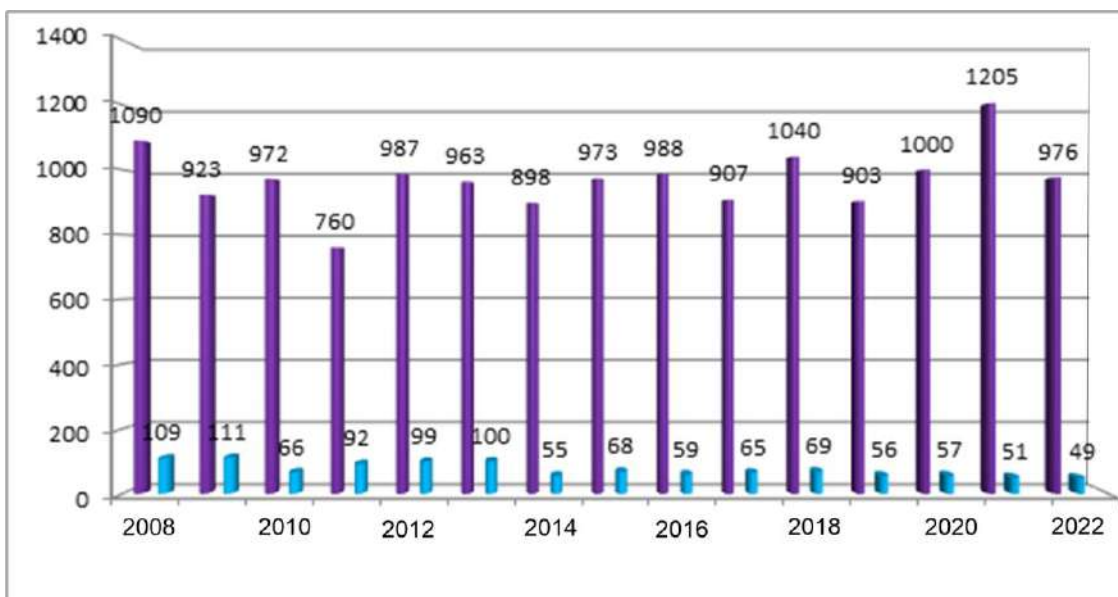


Рисунок 9.1 – Распределение зарегистрированных гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (фиолетовый) и количество непредусмотренных ОЯ (голубой)

На рисунке 9.2 приведены данные Росгидромета за 1996–2022 гг. о динамике количества опасных гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения, а на рисунке 9.3 – распределение метеорологических ОЯ по годам.

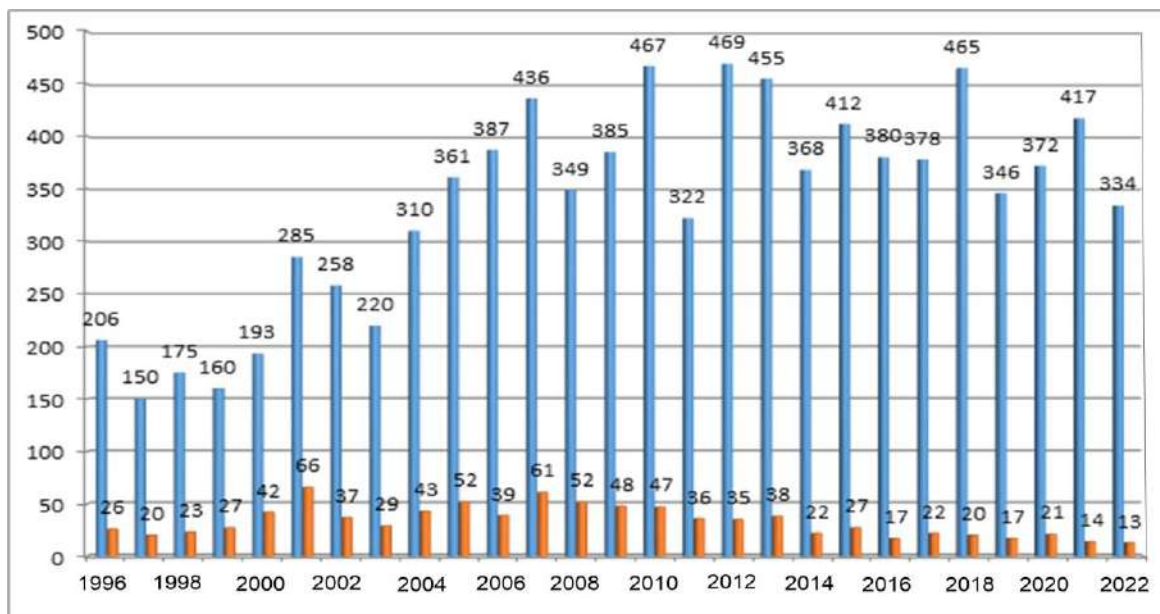


Рисунок 9.2 – Распределение гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (синий) и количество непредусмотренных ОЯ (красный)

В Гидрометцентре России ведется статистика только опасных метеорологических явлений (ОЯ). В 2022 году на территории России было зарегистрировано 474 случая возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений (КМЯ), сочетание которых образует ОЯ.

В 2022 г. было выпущено 1589 штормовых предупреждений, предупрежденность их составила 95,2%.

По сравнению с 2021 годом количество зарегистрированных метеорологических ОЯ в 2022 г. уменьшилось на 138 случая, т.е. на 23%. Высокой была повторяемость

сильных осадков, сильного ветра, КМЯ и заморозков. Это составляет 75% от всех опасных метеорологических явлений. Опасные явления, входящие в состав КМЯ по отдельности, не достигали критериев ОЯ, но в сочетании между собой в значительной степени затрудняли хозяйственную деятельность регионов. Все эти опасные явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

По-прежнему наибольший ущерб нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в том числе шквалы), град, а также метели, заморозки, чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в течение май-октябрь.

В целом, в большинстве федеральных округов (таблица 9.3) количество метеорологических ОЯ, нанесших материальный и социальный ущерб населению и отраслям экономики, уменьшилось по сравнению с 2021 годом. Только количество случаев сильного гололеда и налипания мокрого снега возросло на 79%.

В 2022 г., как и прошлым году, 60% метеорологических ОЯ случились за 5 теплых месяцев с мая по сентябрь.

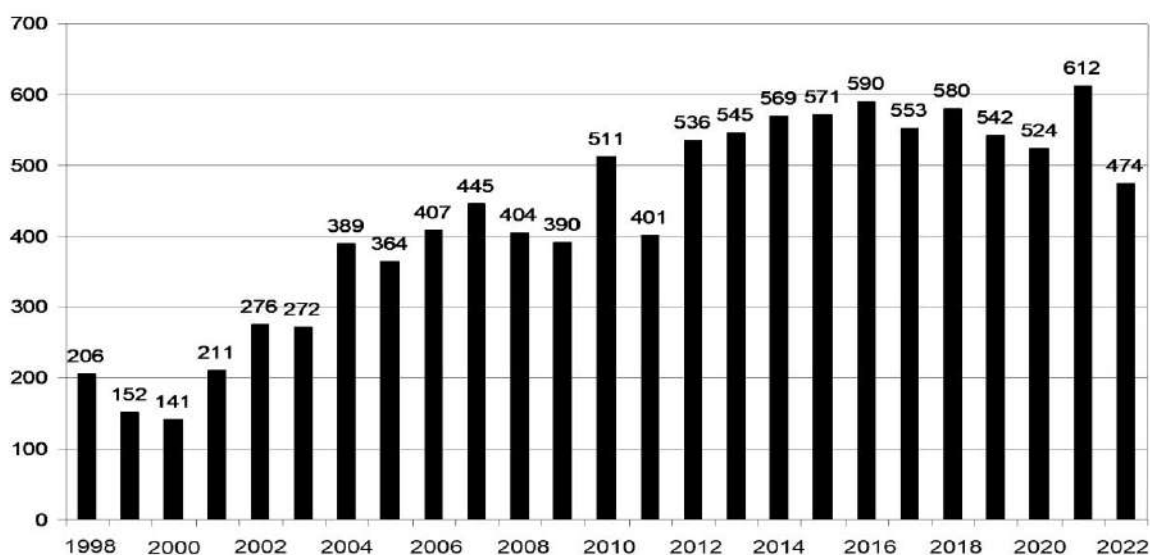


Рисунок 9.3 – Распределение метеорологических ОЯ по годам

Таблица 9.2 – Распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2022 год.

Явления	Месяцы												ГОД 2022	ГОД 2021
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Сильный ветер	14	6	20	10	7	10	9	3	5	7	9	11	111	134
Сильные осадки	12	4	3	5	5	20	31	25	7	4	2	5	123	142
Метель и снег	4	3	1								4		12	9
Смерч						1	1		2				4	4
Сильный мороз											1		1	32
Аномально холодная погода			4								2	5	11	28
Сильная жара					2	7	10	5	4				28	39
Аномально жаркая погода					5	7	2	7	4				25	29
Град						5	3	4	1				13	29
Сильный гололед, налипание мокрого снега	6	3	2	1							5	8	25	14
Заморозки				9	20	6	2	6	14	1			58	64
Туман				1									1	3
КМЯ	1		3	2	4	17	12	7	5	3	2	6	62	85
Итого за 2022 г.	37	16	33	28	43	73	70	57	42	15	25	35	474	
Итого за 2021 г.	49	55	27	20	61	85	90	87	47	16	38	37		612

Таблица 9.3 – Распределение метеорологических ОЯ в 2022 г. по территории федеральных округов.

№	Явления	Федеральные округа								Всего 2022	Всего 2021
		СЗФО	ЦФО	ПФО	ЮФО	СКФО	УФО	СФО	ДВФО		
1	Сильный ветер	13	5	4	12	7	7	33	30	111	134
2	Сильные осадки	6	13	8	34	11	8	15	28	123	142
3	Метель и снег	2						1	9	12	9
4	Смерч		1		3					4	4
5	Сильный мороз							1		1	32
6	Аномально холодная погода	1	1	2			3	4		11	28
7	Сильная жара	2	7	1	3	2	3	8	2	28	39
8	Аномально жаркая погода	2	1	2			9	9	2	25	29
9	Град			1	7	3			2	13	29
10	Сильный гололед, налипание мокрого снега	3	4	6	5	3	1	1	2	25	14
11	Заморозки	3	7	11	11	4	8	7	7	58	64
12	Туман				1					1	3
13	КМЯ	2	5	9	12	7		11	16	62	85
Итого за 2022 г.		34	44	44	88	37	39	90	98	474	
Итого за 2021 г.		44	56	77	87	56	60	122	110		612

10. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Действующая система регулярного мониторинга составляющих радиационного баланса земной поверхности на территории России базируется 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 2022 г. использованы данные станций со срочными наблюдениями (всего 74 станции), для которых своевременно поступила качественная оперативная информация. Расчет аномалий и анализ сезонных особенностей радиационного режима в 2022 г. осуществлялся при использовании базового периода 1961 – 1990 гг. Оценка вероятностей непревышения текущих аномалий выполнялась по данным полного ряда наблюдений, начиная с 1961 г.

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

Анализ многолетних колебаний по данным о пространственно-осредненных аномалиях годовых сумм прямой радиации на интервале 1961-2021 гг. (рисунок 10.1) показывает, что включение 2021 г. (последнего года со всеми доступными месячными аномалиями) не изменяет полученные ранее основные выводы.

На фоне значительной межгодовой изменчивости на территории ЕЧР сохраняется положительная тенденция, наиболее выраженная в южных районах. В 2018г. в этом регионе отмечалась крупная положительная аномалия годовых сумм прямой радиации.

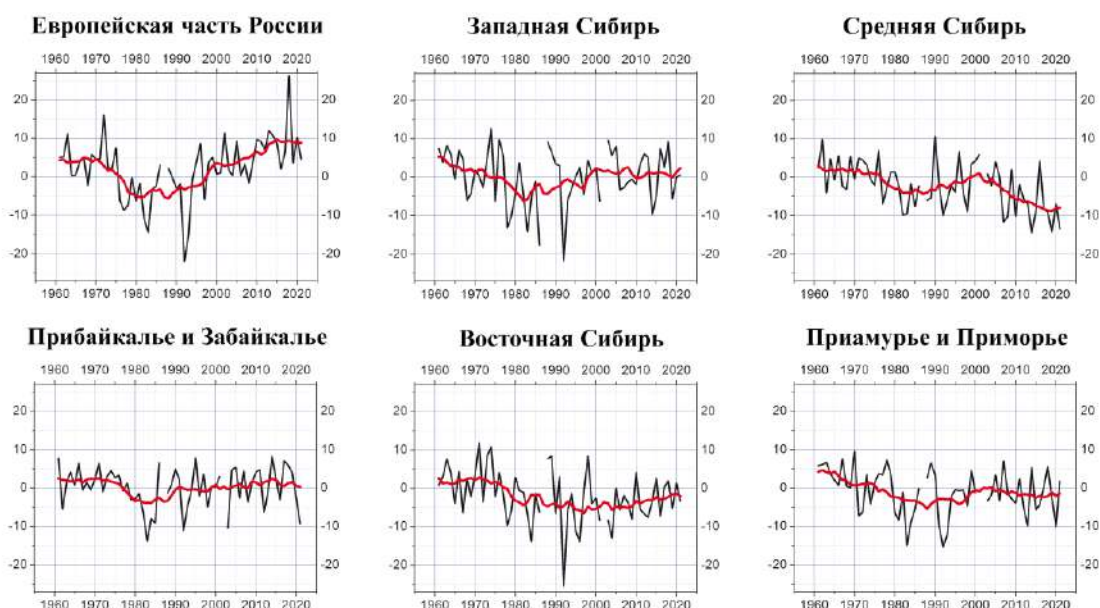


Рисунок 10.1 – Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.
Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние)

Но при этом важно обратить внимание как на рост естественной изменчивости, наблюдаемый на отдельных станциях, так и на возросшую погрешность осредненных значений, связанную с сокращением плотности сети станций. В 2022 г. для ЕЧР получены оценки пространственно-осредненных аномалий годовых сумм, близкие к средним значениям для последних двух десятилетий XXI в. В Средней Сибири с конца XX в. отмечается тенденция к понижению прямой радиации, которая реализуется на фоне ее сильной межгодовой изменчивости. В остальных рассматриваемых физико-географических регионах на протяжении последних двух десятилетий не наблюдается каких-либо закономерных изменений. При этом необходимо отметить отсутствие в настоящее время регулярного поступления информации с Чукотского и Камчатского УГМС.

Зимний сезон 2021/22 гг. в целом характеризуется низким приходом прямой солнечной радиации (рисунок 10.2).

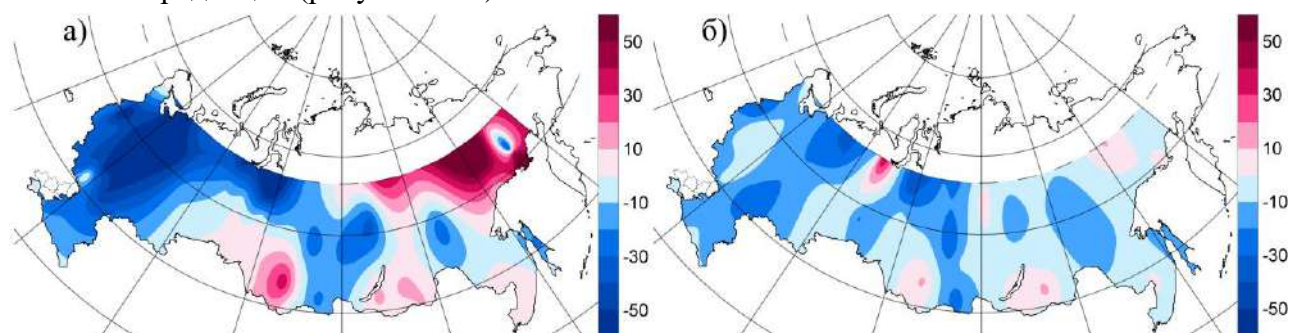


Рисунок 10.2 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой солнечной (а) и суммарной (б) радиации. Зима 2021/2022 гг.

Наиболее ярко это проявилось в Европейской части страны. Под влиянием глубокой ложбины, связанной с циклоном над Баренцевым морем, в январе на ЕЧР и севере Западной Сибири преобладала погода с плотной низкой облачностью и частыми обильными осадками, что привело к формированию обширной отрицательной аномалии прямой радиации. Активная циклоническая деятельность продолжалась и в феврале. Заблокированные с юга циклоны смещались на ЕЧР, Урал и Западную Сибирь, определяя

облачную с осадками погоду. Снижение месячного прихода прямой радиации в феврале было также существенным.

На фоне преобладания в зимний сезон низких значений прямой радиации в АЧР отмечались очаги повышенного прихода прямой радиации – сравнительно слабые в южных районах Западной Сибири и Забайкалье и очень интенсивные в Якутии и Магаданской области (Оленек – 60%, Талая – 75%).

Метеорологические условия зимнего сезона привели к формированию на Европейской территории области экстремально низких значений сезонных сумм прямой радиации, вероятность которых не превосходит 0,1 (рисунок 10.3), однако рекордов зафиксировано не было. В то же время, в поле рассеянной радиации наблюдались экстремально низкие значения, и при этом на ряде станций Сибири и Дальнего Востока, а также на севере ЕЧР, зафиксированы рекорды (Коткино, Кызыл, Мамакан, Советская Гавань, Усть-Мома). В поле суммарной радиации также доминировали отрицательные аномалии, и на отдельных северных станциях (Коткино, Тарко-Сале), а также на Сахалине (Тымовское), зарегистрированы рекордно низкие значения.

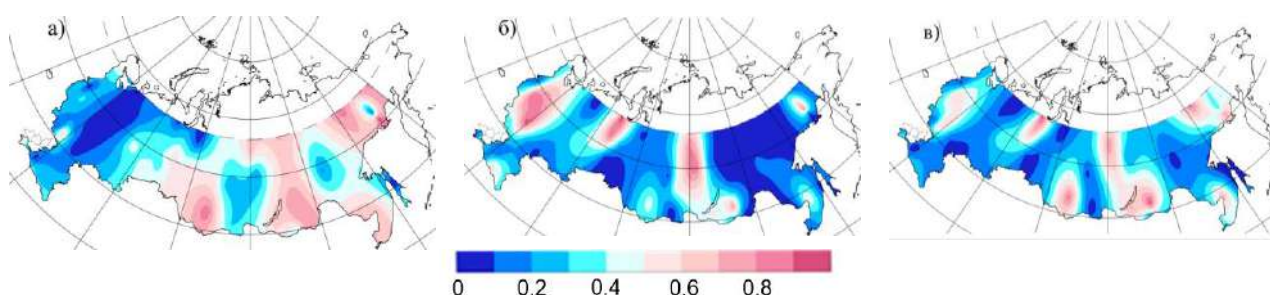


Рисунок 10.3 — Вероятности непревышения сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Зима 2021/2022 гг.

В *весенний* период на территории России наблюдались крупные аномалии прямой радиации разного знака (рисунок 10.4). В марте практически вся территория Европейской части России и юг Западной Сибири находились в области положительной аномалии прямой радиации с преобладанием малооблачной сухой погоды. Этому способствовал интенсивный Азорский антициклон, под влиянием которого над восточной Европой сформировался мощный блокирующий антициклон. Его гребни определяли погоду на севере и в центре ЕЧР, а также на севере Урала и юге Западной Сибири, где сформировалась обширная положительная аномалия прямой радиации. Наиболее интенсивные очаги этой аномалии находились на северо-западе, западе и в центре ЕЧР, где месячный приход прямой радиации был значительно выше нормы.

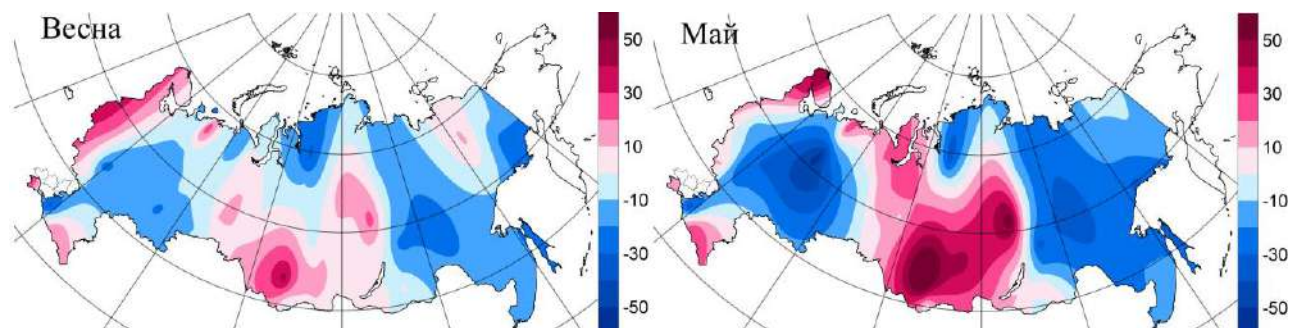


Рисунок 10.4 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (май) сумм прямой солнечной радиации. Весна 2022 г.

В то же время на большей части Азиатской территории России сформировавшийся в центральных районах Красноярского края циклон обусловил преобладание пасмурной погоды и образование обширной отрицательной аномалии прямой радиации. Лишь

северные районы Красноярского края и Якутии оказались в области слабой положительной аномалии (Усть-Мома – 14%, Оленек – 13%).

В мае в южных районах Средней и Восточной Сибири, а также на севере Урала, погода определялась влиянием устойчивых тропосферных гребней высокого давления и была малооблачной. Это способствовало формированию мощной положительной аномалии прямой радиации. На отдельных метеостанциях было зафиксировано превышение нормы на 55-80% (Кузедеево – 81%, Ербогачен – 55%).

Несмотря на наличие областей крупных положительных аномалий прямой радиации в марте и мае, в поле сезонных аномалий прямой радиации в весенний период доминируют пониженные значения. Положительные сезонные аномалии прямой радиации отмечаются на обширной территории в АЧР (рисунок 10.4), а также на небольшой площади в западных и северо-западных районах ЕЧР. Однако интенсивность положительных аномалий прямой радиации далека от экстремальной (рисунок 10.5).

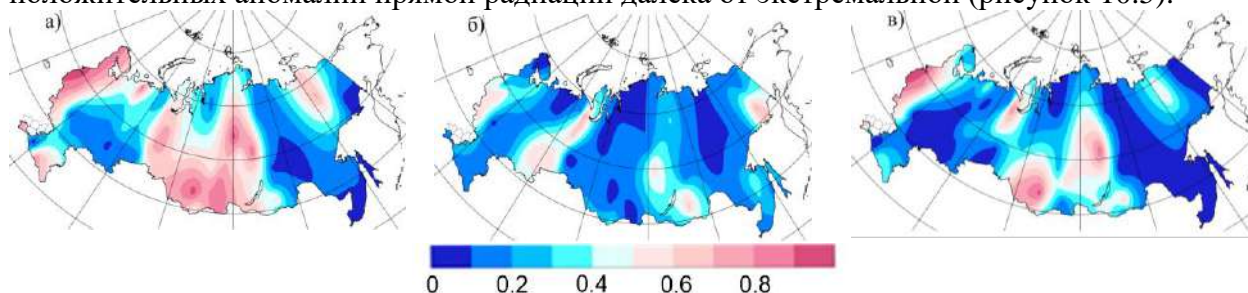


Рисунок 10.5 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм рассеянной (а) и суммарной (б) радиации. Весна 2022 г.

В то же время в поле рассеянной радиации зарегистрированы рекордно-низкие аномалии (Апатиты – -24%, Кызыл – -31%, Тобольск – -44%). Аналогично в поле аномалий суммарной радиации (рисунок 10.4, рисунок 10.5) зафиксированы рекордно-низкие значения в Краснодаре (-23%), а также на ряде станций АЧР (Советская Гавань, Мамакан, Тымовское, Алдан).

Летний сезон 2022 г. характеризуется наличием двух крупных аномалий прямой солнечной радиации противоположного знака. Положительная аномалия занимала всю ЕЧР и северную часть Западной Сибири, отрицательная – Восточную Сибирь и Дальний Восток, за исключением южных районов (рисунок 10.6). Причиной формирования обширной положительной аномалии прямой радиации явилось преобладание в течение июля-августа малооблачной погоды, связанной с влиянием мощного антициклона над ЕЧР, блокирующего западно-восточный перенос воздушных масс. Наиболее ярко это проявилось в августе, когда в отдельных пунктах в восточных и северо-восточных районах ЕЧР количество поступающей на земную поверхность прямой солнечной радиации достигло рекордно высоких значений. Месячные суммы прямой радиации в августе были выше средних многолетних значений на 80-90% (Израиль, Усть-Вышь, Чермоз, Кушнаренково). При этом на северо-востоке ЕЧР были зарегистрированы рекорды сезонных сумм прямой радиации (Израиль, Усть-Вышь).

Атмосферные процессы, происходящие в июле-августе, привели к формированию сезонной отрицательной аномалии прямой радиации в восточных районах России. В связи с нарушением западно-восточного переноса циклоны смещались по российским арктическим морям на Восточную Сибирь, принося мощную дождевую облачность и выпадение сильных осадков. Отрицательная аномалия прямой радиации в июле и августе в отдельных пунктах достигала значений 50-60%. Сезонные суммы прямой радиации были ниже средних многолетних значений на 25-40%. Были зафиксированы как месячные (Ванавара, Алдан), так и сезонные (Охотск) рекорды.

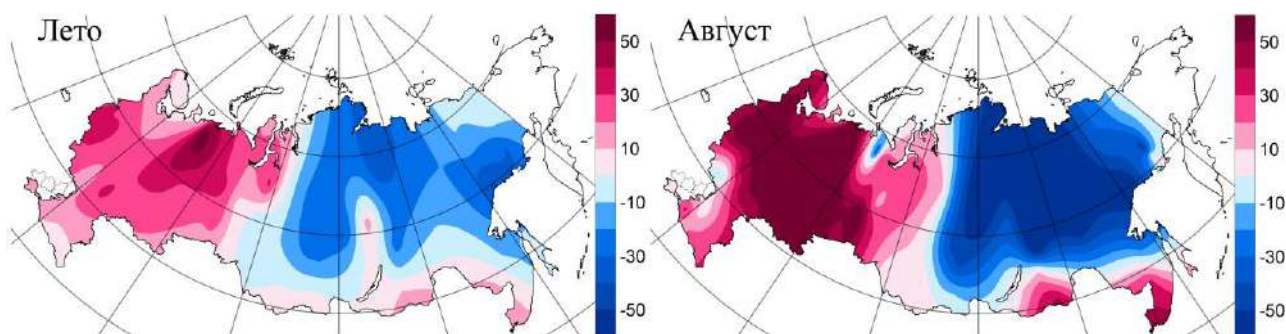


Рисунок 10.6 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (август) сумм прямой солнечной радиации. Лето 2022 г.

В поле сезонных аномалий рассеянной радиации преобладают отрицательные значения (рисунок 10.7). Небольшие положительные аномалии рассеянной радиации могут быть связаны с природными пожарами. Экстремально низкие значения рассеянной радиации на территории ЕЧР привели к ослаблению интенсивности положительных аномалий суммарной радиации на ЕЧР, обусловленных повышенным приходом прямой радиации.

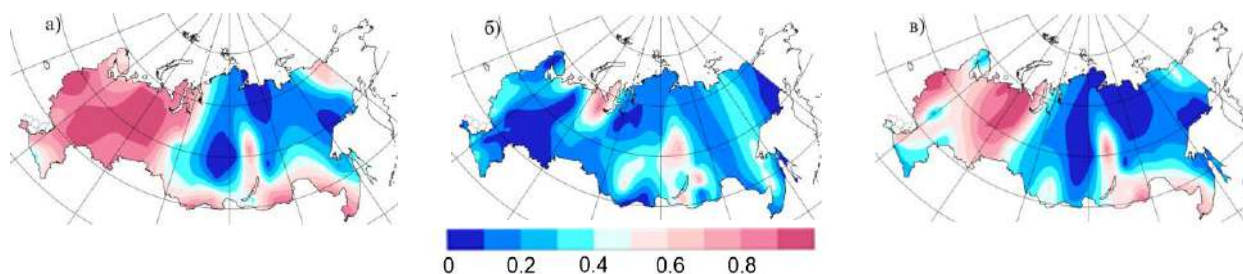


Рисунок 10.7 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) сезонных сумм рассеянной (а) и суммарной (б) радиации. Лето 2022 г

Осреднение сезонных аномалий прямой радиации по территории России (рисунок 10.8) показывает, что во все сезоны годы значения прямой радиации были меньше нормы за период 1961-90 гг. При этом зимой отклонение от нормы составляло около 8%, а весной и летом не превышало 3%.

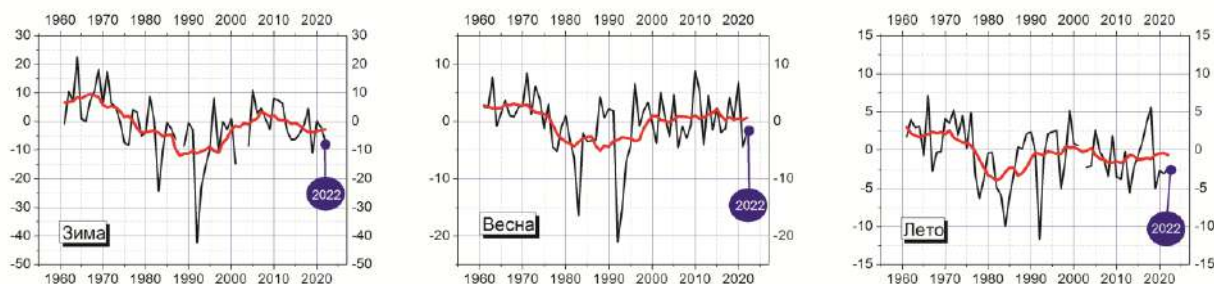


Рисунок 10.8 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, осредненные по территории РФ. 1961-2022 гг.

В целом радиационный режим 2022 г. на территории России характеризуется пониженным приходом прямой радиации на территории России. В зимний и весенний сезоны области с отрицательными аномалиями по площади значительно превосходили области с повышенным приходом прямой радиации. Наиболее ярко это проявилось зимой. В летний сезон отмечаются большие контрасты в поле аномалий прямой радиации – как месячных (июль и август), так и сезонных. В августе в восточных и северо-восточных

районах ЕЧР количество поступающей на земную поверхность прямой солнечной радиации достигало рекордно высоких значений. В то же время в Средней Сибири, в Якутии, на Дальнем Востоке зарегистрированы рекордно низкие значения приходящей солнечной радиации. В поле рассеянной радиации, как и в предыдущие годы, доминировали отрицательные аномалии.

11. ДЕГРАДАЦИЯ ДОЛИННЫХ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО КAVKAZA

В 2022 г. продолжалась деградация ледников на Центральном Кавказе. На основе данных космических снимков Sentinel-2 проведена оценка темпов деградации ледников Эльбруса. На рисунке 11.1 показаны границы ледников Эльбруса в 2022 г. и в 1957 г. Как показали данные сравнения аэрофотоснимков и космических снимков на участок оледенения Эльбруса, убыль площади по периметру ледников Эльбруса за 1957-2020 гг. составила 26,4 км² (19,6%), 1957-1997 гг. – 9,6 км², 1997-2020 гг. – 16,8 км², 2015-2020 гг. – 6,25 км² (1,25 км² в год) Темпы деградации в 2015-2020 гг. увеличились в 5 раз по сравнению с 1957–1997 гг. В 2020-2022 гг. высокие темпы сохранились. В 2022 г. площадь единого массива ледников Эльбруса составила 105,6 км² (вместе с отделившимся потоком льда ледника Большой Азау 106,2 км²). Высокие темпы деградации ледников Эльбруса сохранились и составляют за последние два года 1,2 км² в год.

Крупные долинные ледники сокращались во фронтальной зоне с разной скоростью. Ледники с протяжёнными языками (Ирик, Безенги, Караугом, Мидаграбин) потеряли за 2020-2022 гг. 9-16 тыс. м² площади во фронтальной зоне и уменьшились по длине на 25-45 м. Длина ледника Большой Азау уменьшилась на 100 м вследствие того, что его узкий язык расположен на участке скальных пород, нагрев которых ускорял таяние льда.

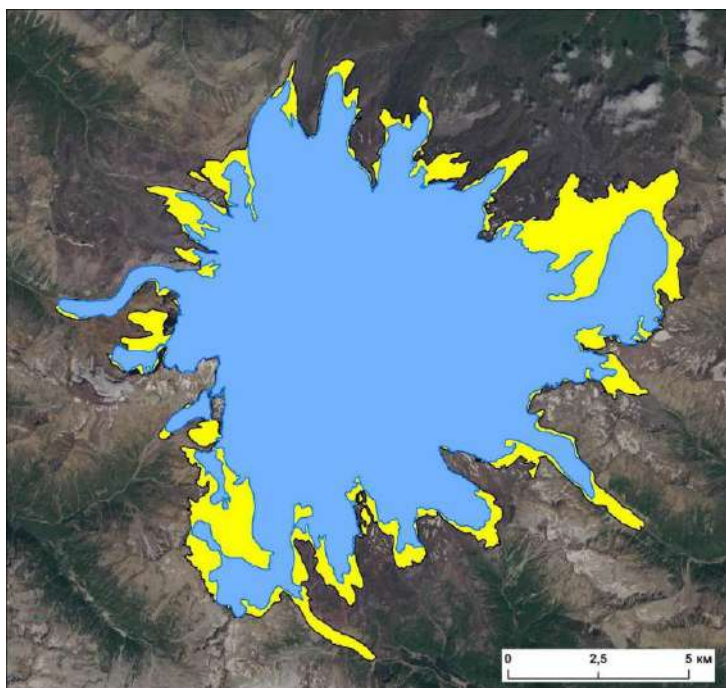


Рисунок 11.1 – Деградация ледников Эльбруса в 1957-2022 гг. Жёлтые контуры – ледники в 1957 г., голубой контур – ледники в 2022 г. Подложка – космический снимок Sentinel-2 28.07.2022

В некоторых случаях вследствие изменений в подлёдной гидрологической системе исток реки смещался в сторону на расстояние до 45-90 м, и при этом исчезали значительные участки мёртвых льдов. Например, исток р. Черек Безенгийский сместился на 90 м, а в то же время конец языка ледника Безенги отступил на 30 м за 2020-2022 гг.

Концы языков некоторых ледников представляли собой массивы мёртвых льдов, ещё не отделившихся от активных частей ледников. В 2022 г. обособились массивы мёртвых льдов от концов ледников Башкара (протяжённостью 140 м) и Шхельда (протяжённостью около 400 м). В будущем от

ледника Караугом отделится массив мёртвого льда протяжённостью более 350 м. Ранее в процесс наступания вовлекался массив мёртвого льда у конца ледника Кюкюртлю. В 2022

г. зафиксировано наступание правой части языка ледника Безенги, покрытой чехлом селевых отложений, на массив фронтального мёртвого льда.

Отдельные ледники в 2022 г. наступали. Возрождающийся ледник Колка за 2020-2022 г. продвинулся вперёд на 85-95 м, а площадь его увеличилась на 33,5 тыс. м². В настоящее время его конец отстоит от положения в 2002 г. на расстоянии 600 м, а площадь его меньше той, что была до его схода, на 424 тыс. м². Второй год продолжает наступание Девдоракский ледник. За 2020-2022 г. он продвинулся вперёд на 25 м. Наступание Девдоракского ледника вызвано волной активизации масс льда, покрытых отложениями обвала в 2014 г. с горы Казбек. Фронт волны активизации отстоит от конца ледника на 500 м.

Современный этап изменения климата характеризуется ускорением деградации массивов горной мерзлоты, что проявляется в сходе крупных селей на участках, где они ранее в таких объёмах не были зафиксированы. В 2022 г. сошли сели, вызванные деградацией массивов мерзлоты: 13 августа на р. Мижирги с массива правой береговой морены ледника Мижирги в бассейне р. Черек Безенгийский с объёмом выноса более 200 тыс. м³ с ущербом для альплагеря «Безенги», 4 октября с моренного языка с ледяным ядром в долине р. Султан-Гара-Су в Северном Приэльбрусье ущербом для лечебно-оздоровительного учреждения «Джилы-Су» (объём выноса более 50 тыс. м³).

В 2022 г. зафиксировано аномальное ускорение движения каменного глетчера на левом склоне долины р. Хазнидон в Кабардино-Балкарии. Скорость его движения превышала 2 м в год (обычная скорость движения каменных глетчеров составляет 0,5-0,9 м в год).

С процессами деградации ледников связана активизация обвальных процессов в ледниковой зоне, которые в свою очередь влияют на динамику ледников, вызывая их наступание. В результате дешифрирования космических снимков выявлен факт схода 1 января 2022 г. каменной лавины со скального гребня в цирке Хасаутского ледника в долине р. Аксаут (Карачаево-Черкесская Республика) с дальностью выброса 6,4 км, площадью поражения 3,2 км² и объёмом около 7-9 млн м³. Ранее каменные лавины выявлены в цирках соседних ледников (Джаловчатский, Белалакайский), что не исключает схода каменной лавины на участок Домбайской Поляны. Активность каменных лавин зафиксирована в 2021 и 2022 гг. с горы Джайлык в верховьях долины р. Тютюсу (бассейн р. Баксан) с дальностью выброса до 900 м, с горы Башкара в мае 2022 г. с дальностью выброса около 700 м и ледяных и ледово-каменных лавин в 2019-2022 гг. в цирке ледника Колка с дальностью выброса до 2 км. С наступанием ледника Шантор (соседнего с Девдоракским ледником), вызванного обвалом в 2014 г. и последующим обвалом в 2019 г., связана активизация ледяных лавин (со значительной долей скальных обломков) с дальностью выброса более 2 км в период 2019-2022 гг.

Сложившийся термический режим и режим осадков в последние десятилетия (2001-2021 гг.) явился основной составляющей из многих факторов, приводящих к сокращению площади ледников Северного Кавказа. С начала текущего столетия на м/станции Терскол

Таблица 11.1 – Параметры изменения средней температуры (b_1 (°C/год), D (%)) и суммы осадков (b_2 (мм/год), D (%)) в 2001-2021 гг. на метеорологической станции Терскол

Сезон	Период 2001 - 2021 гг.			
	температура		осадки	
	b_1 , °C/год	D , %	b_2 , мм/год	D , %
Зима	0,16	25,1	-2,12	5,6
Весна	0,08	23,4	-2,26	2,7
Лето	0,04	14,3	-1,02	2,5
Осень	0,01	0,03	-2,74	4,0
Год	0,07	32,9	-6,2	4,6

Примечание: статистически значимый на 5% уровне тренд выделен жирным, отрицательный тренд выделен серой заливкой

в зимние, весенние и летние сезоны наблюдался рост температур на значимом уровне, сравнимый с другими климатическими зонами (таблица 11.1). Такой сезонный рост температуры сформировал статистически значимый рост среднегодовой температуры (0,07°C/год, $D=32,9\%$) за последние 20 лет. В период с 2001 г. по 2021 г. на фоне

значимого роста сезонных температур сумма осадков как сезонных, так и годовых имела отрицательные тенденции, все тенденции статистически незначимые.

12. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

Данные. Приведенные в настоящем разделе оценки получены с использованием данных о продолжительности солнечного сияния (ПСС) из созданной в ФГБУ «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 рассчитываются аномалии месячных сумм ПСС – отклонения от норм. В качестве норм используются средние многолетние значения за 30-летний период. С 2022 года это период 1991-2020 гг. По месячным аномалиям рассчитываются 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 годом, 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, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти квази-однородных физико-географических регионов и восьми федеральных округов РФ (рисунки 3, 2 Введения). Для получения региональных средних проводится арифметическое осреднение аномалий на метеорологических станциях 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 (%/10лет). На рисунках он представлен для периода с 1976 года, условно принятого за начало современного глобального потепления.

Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2022 году

Для получения характеристик ПСС в 2022 г. за первые девять месяцев года (январь-сентябрь) использовалась режимная информация, поступившая из УГМС в Госфонд, а за три последних месяца года (октябрь-декабрь) – оперативные данные, поступившие от 300 метеорологических станций сети Росгидромета по каналам связи (сводки «КЛИМАТ»).

На рисунке 12.1 показано распределение годовых аномалий ПСС на территории России в 2022 г., на рисунке 12.2 – сезонных аномалий. В таблице 12.1 представлены значения среднегодовых и средних сезонных аномалий ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. Региональные средние месячные аномалии ПСС приведены в таблице 12.2. Напомним, что относительные аномалии менее 100% соответствуют отрицательным аномалиям, более 100% – положительным.

В 2022 году средняя годовая аномалия ПСС как для ЕЧР, так и для АЧР была положительной. Наиболее значительные положительные аномалии наблюдались на севере ЕЧР, где ряд станций попал в 95%-й квантиль. В АЧР в 95%-й квантиль попал регион

«Алтай и Саяны» (ранг 2 среди максимумов). В то же время значительная территория АЧР была занята отрицательными аномалиями ПСС, при этом ряд станций попал в 5%-й квантиль.

В целом для территории РФ средняя для зимы и весны ПСС была близка к норме. Лето для РФ оказалось рекордно солнечным ($RS=106\%$) за счет больших положительных аномалий в ЕЧР ($RS=115\%$). Осенью как в ЕЧР, так и в АЧР наблюдались значительные отрицательные аномалии, при этом дефицит солнечного сияния в ЕЧР получил ранг 2.

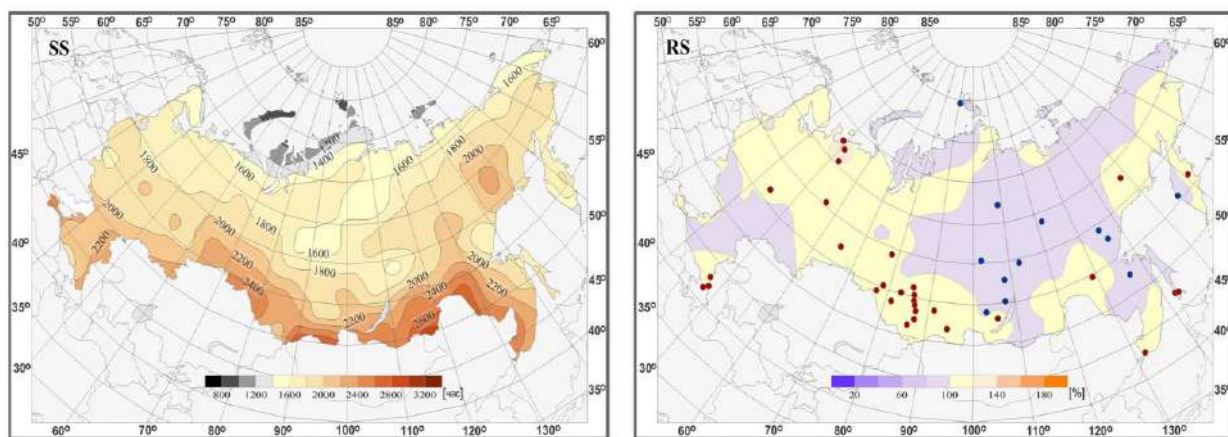


Рисунок 12.1 – Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (SS , часы) и ее относительных аномалий (RS , %) на территории РФ в 2022 г. (январь-декабрь). Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля

Зимой 2021/22 гг. территория ЕЧР была занята отрицательными аномалиями ПСС (средняя аномалия составила 86%). Наиболее существенные из них наблюдались на севере региона (на отдельных станциях менее 30% от нормы). Почти вся территория АЧР была занята положительными аномалиями ПСС. Средняя для АЧР зимняя аномалия составила +16 часов (107% от нормы). Наиболее значительные положительные аномалии наблюдались на севере Красноярского края (более 200% от нормы). Средние аномалии двух северных регионов АЧР попали в пять максимумов. При этом на отдельных станциях на востоке АЧР отмечались довольно существенные (менее 60% от нормы) отрицательные аномалии (п-ов Камчатка, о. Сахалин). В **декабре 2021 г.** значительная территория ЕЧР была занята положительными аномалиями – средняя аномалия составила 108%. Для АЧР средняя аномалия была несколько ниже – 104%. Наиболее значительные положительные аномалии в ЕЧР превышали 20 часов, на юго-востоке АЧР – 40 часов. В **январе 2022 г.** в ЕЧР наблюдался дефицит солнечного сияния – средняя аномалия составила 86%, а на отдельных станциях менее 30%. В АЧР отмечалось преобладание положительных аномалий (средняя аномалия 110%). Наиболее значительные из них наблюдались на юге Якутии (на отдельных станциях более +30 часов). Средние аномалии двух северных регионов АЧР попали в пять максимумов. В **феврале** отрицательные аномалии в ЕЧР усилились – средняя аномалия составила 76% и целый ряд станций попал в 5%-й квантиль. Регион «Центр ЕЧР», а также СЗФО и ПФО попали в пять минимумов. В АЧР территория, занятая положительными аномалиями, расширилась. Очаг наиболее значительных аномалий (до 200% от нормы) сформировался на севере Сибири в районе Таймыра, регион попал в пять максимумов. В Западной Сибири и на востоке АЧР (Камчатка, Сахалин, Хабаровский край) наблюдался дефицит солнечного сияния.

Весной 2022 г., в отличие от зимы, очагов с крупными аномалиями ПСС на территории РФ не наблюдалось. На севере ЕЧР преобладали слабые положительные аномалии, на юге – отрицательные. Для ЕЧР в целом аномалия составила 102%, для АЧР – 101%. Наибольшие положительные аномалии отмечались на юге АЧР, где ряд станций попал в 95%-й квантиль, а регион «Алтай и Саяны» и СФО – в пять максимумов. В **марте**

вся территория ЕЧР была занята положительными аномалиями ПСС, и регион попал в 95%-й квантиль (ранг 3 среди максимумов). Интенсивность аномалий на отдельных станциях достигала 160%. Средняя аномалия для региона «Центр ЕЧР» составила 133%, для ЦФО – 137%. В АЧР территория с положительными аномалиями, по сравнению с февралем, существенно сократилась, а максимальная интенсивность аномалий уменьшилась (не превышала 120% от нормы). Средняя для АЧР аномалия составила 97%. Наибольший дефицит солнечного сияния отмечался на п-ове Ямал – менее 60% от нормы.

Таблица 12.1 – Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (RS, %) в регионах России и вероятность ее неперевышения (P, %) в 2022 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	75	101	51	101	66	106	100	95	13
ЕЧР	103	77	86	10	102	66	115	100	86	2
АЧР	101	75	107	84	101	64	100	57	99	34
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Западной Сибири	107	80	64	10	103	66	118	95	85	15
Север Восточной Сибири и Якутии	96	11	148	97	94	10	94	13	86	3
Чукотка и север Камчатки	103	67	143	98	101	57	93	34	113	79
Центр ЕЧР	102	66	76	10	100	51	117	100	77	5
Центр и юг Западной Сибири	105	82	101	41	107	87	103	74	103	54
Центр и юг Восточной Сибири	98	25	109	90	100	67	95	15	89	0
Дальний Восток	100	46	99	56	93	8	106	84	107	90
Алтай и Саяны	107	98	110	89	112	97	103	70	104	79
Юг ЕЧР	103	62	105	61	102	52	106	82	99	30
Федеральные округа РФ										
Центральный	100	48	83	20	99	51	112	95	72	5
Южный	99	39	92	30	99	49	103	62	97	30
Северо-Западный	109	90	63	8	108	77	121	100	84	8
Дальневосточный	99	33	105	82	95	8	100	56	100	41
Сибирский	103	77	111	84	109	97	97	26	99	44
Уральский	105	82	96	30	102	62	110	93	99	44
Приволжский	100	54	74	11	96	38	117	98	72	2
Северо-Кавказский	106	85	114	80	105	64	109	90	99	43

В *апреле* в ЕЧР ситуация кардинально изменилась: территория, занятая положительными аномалиями, сократилась, и их интенсивность существенно уменьшилась. В южной половине ЕЧР наблюдался дефицит солнечного сияния (на отдельных станциях менее 60% от нормы). В АЧР территория, занятая отрицательными аномалиями, увеличилась. В результате в среднем для шести (из девяти) регионов РФ и в половине федеральных округов наблюдался дефицит солнечного сияния. Наибольший дефицит солнечного сияния (менее 60% от нормы) отмечался вблизи побережья Берингова моря. ПСС двух северных регионов АЧР получила ранг 2 среди минимумов. В *мае* почти вся территория ЕЧР оказалась занята отрицательными аномалиями ПСС. Очаг наиболее значительного дефицита солнечного сияния (менее 70% от нормы) сформировался в центре региона. Средняя аномалия для ЕЧР составила 94%. Существенные отрицательные аномалии ПСС наблюдались также на востоке АЧР (в Хабаровском крае до 70% от нормы), регион «Дальний Восток» попал в 5%-й квантиль (средняя аномалия 86%, ранг 4 среди минимумов). При этом западная половина АЧР была занята значительными положительными аномалиями (на отдельных станциях более 150% от нормы), многие из которых попали в 95-й квантиль, а средние аномалии для региона «Алтай и Саяны» и СФО стали рекордными. Положительные аномалии отмечались также на крайнем северо-востоке АЧР – средняя аномалия для региона «Чукотка и север Камчатки» (137% от нормы) стала рекордной. В результате ПСС в АЧР в мае попала в пять максимумов.

Летом вся территория ЕЧР была занята положительными аномалиями ПСС. Наибольшие значения отмечались на севере в Ненецком АО (до 150% от нормы). На многих станциях были обновлены наблюдавшиеся ранее максимумы. Средняя аномалия для ЕЧР составила 115% и стала рекордной. В 95%-й квантиль попали северный и центральный регионы ЕЧР, а также три ФО: Центральный, Северо-западный и Приволжский. В АЧР положительные аномалии занимали большую часть Западной Сибири, Уральский ФО попал в пять максимумов. На остальной территории преобладали отрицательные аномалии, при этом некоторые станции попали в 5%-й квантиль.

Таблица 12.2 – Относительные аномалии (%) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, в 2022 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	103	97	105	97	102	103	103	113	94	96	94	111
ЕЧР	86	76	124	96	94	107	109	131	83	90	88	124
АЧР	110	105	97	97	106	100	99	101	100	100	97	106
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	83	60	110	89	112	109	112	141	87	80	82	99
Север Вост. Сибири и Якутии	213	137	101	89	93	107	91	81	81	80	120	200
Чукотка и север Камчатки	193	132	100	65	137	100	78	103	94	147	111	225
Центр ЕЧР	77	64	133	92	89	107	109	138	75	84	68	136
Центр и юг Зап. Сибири	114	97	100	103	114	90	102	120	106	99	102	147
Центр и юг Вост. Сибири	112	109	99	96	105	105	89	86	89	87	92	95
Дальний Восток	102	94	93	98	86	100	116	101	110	111	98	93
Алтай и Саяны	110	111	100	106	127	104	100	106	105	110	94	114
Юг ЕЧР	98	105	102	110	97	102	105	110	95	96	110	115
Федеральные округа РФ												
Центральный	63	92	137	73	98	119	112	106	68	84	59	94
Южный	76	93	107	101	94	105	104	101	92	98	105	142
Северо-Западный	69	55	138	100	99	112	112	147	81	94	78	83
Дальневосточный	108	103	97	95	95	103	100	96	99	101	99	96
Сибирский	113	114	97	101	123	100	95	97	101	100	92	123
Уральский	115	86	106	96	104	93	107	137	102	93	98	148
Приволжский	80	54	125	88	85	101	109	146	73	77	59	149
Северо-Кавказский	112	116	96	119	99	101	106	122	98	91	111	99

В июне в ЕЧР преобладали положительные аномалии ПСС (средняя аномалия 107%, на отдельных станциях в центре и на севере региона до 140% от нормы), в АЧР ПСС была около нормы. Наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС отмечались в Красноярском крае – на севере вблизи побережья Карского моря до 50%. Рядом на севере Якутии сформировался очаг положительных аномалий с максимумом до 167%. **В июле** средняя положительная аномалия ПСС для ЕЧР увеличилась (до 109%), а в АЧР преобладающими стали отрицательные аномалии. Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался в Якутии (до 40% от нормы). Существенные отрицательные аномалии (до 55%) отмечались также на Чукотке. Районы крайнего востока страны были заняты положительными аномалиями. Наиболее значительные из них наблюдались вблизи побережья Охотского моря (на яге Магаданской области до 180%, на юго-западе Камчатки до 167%). Регион «Дальний Восток» (средняя аномалия 116%) получил ранг 3 среди максимумов. **В августе** произошло существенное усиление аномалий – как положительных в ЕЧР, так и отрицательных в АЧР. Средняя аномалия для ЕЧР составила 131% от нормы и стала рекордной. На многих станциях были превышены наблюдавшиеся ранее месячные максимумы. В 95%-й квантиль попали северный и центральный регионы ЕЧР, а также четыре ФО. В Восточной Сибири сформировался мощный очаг отрицательных аномалий ПСС. Наибольший дефицит солнечного сияния отмечался в восточных районах Якутии (до 20% от нормы). На ряде станций были обновлены

месячные минимумы. Регион «Север Восточной Сибири и Якутии» и «Центр и юг Восточной Сибири» попали в пять минимумов.

Осенью на территории РФ в течение всех трех месяцев преобладал дефицит солнечного сияния. В АЧР наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС (менее 40%) сформировались на западе Якутии, в ЕЧР – в республиках Мордовия и Татарстан, в Самарской области (до 60%). На целом ряде станций были обновлены сезонные минимумы. Три региона, а также ЦФО и ПФО попали в пять минимумов. Заметные положительные аномалии отмечались только на востоке Камчатки, где на некоторых станциях были превышены наблюдавшиеся ранее сезонные максимумы.

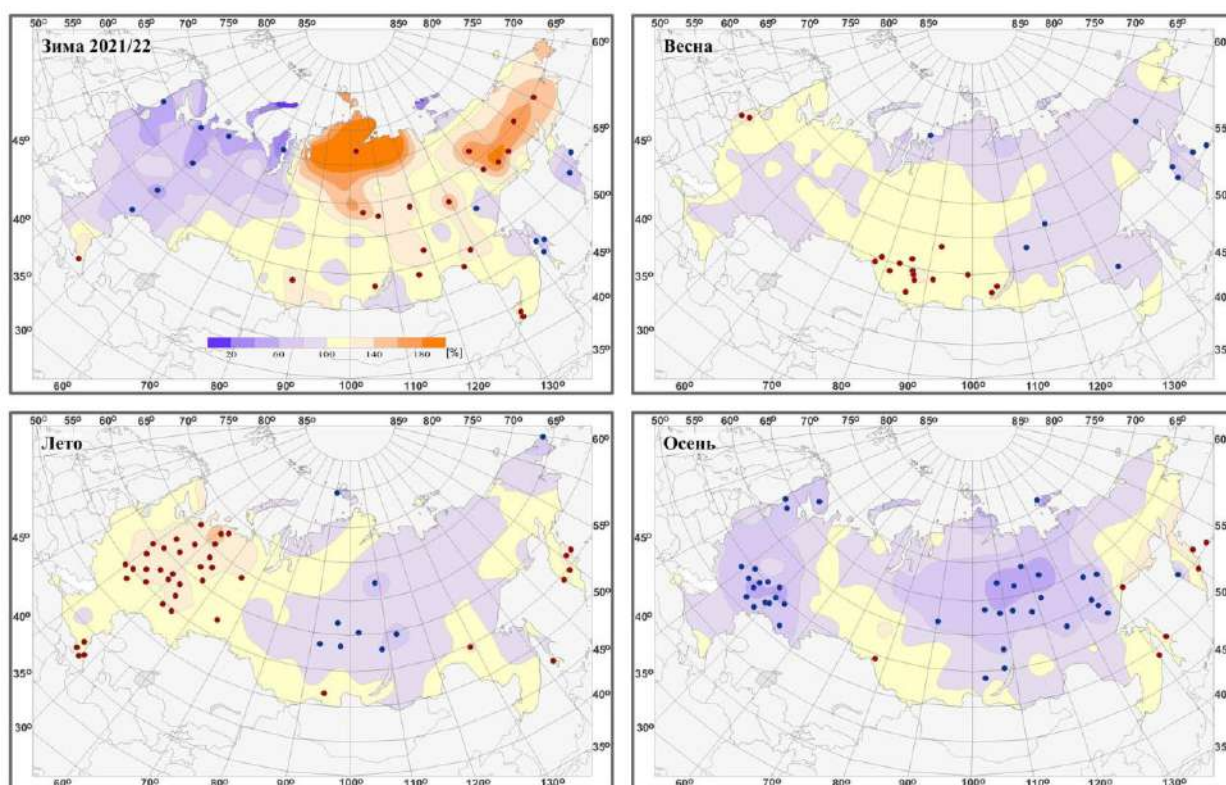


Рисунок 12.2 – Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния (RS, %) на территории РФ в 2022 г. Кругжками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля

В **сентябре** в ЕЧР наблюдался существенный дефицит солнечного сияния – средняя для этого региона аномалия составила 83% от нормы и попала в 5%-й квантиль. В пять минимумов попал Центральный ФО. В АЧР также преобладали отрицательные аномалии. Очаг положительных аномалий наблюдался на севере Камчатки, там были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. В **октябре** на северо-западе ЕЧР сформировался очаг положительных аномалий ПСС (на отдельных станциях более 150% от нормы), а область наибольшего дефицита солнечного сияния (менее 30% от нормы) сместилась на северо-восточные районы региона. В АЧР территория, занятая отрицательными аномалиями, несколько сократилась, но интенсивность аномалий значительно увеличилась – на отдельных станциях ПСС составляла менее 10% от нормы. На целом ряде станций (Красноярский край, Якутия и др.) были обновлены наблюдавшиеся ранее минимумы. Регион «Север Восточной Сибири и Якутии» попал в 5%-й квантиль. Наиболее значительные положительные аномалии наблюдались на крайнем северо-востоке страны (более 200% от нормы). Регион «Чукотка и север Камчатки» попал в 95%-й квантиль (ранг 3). В **ноябре** ПСС на территории РФ (и в ЕЧР, и в АЧР) была ниже нормы. В ЕЧР наблюдались значительные как отрицательные (менее

20%), так и положительные (более 200%) аномалии. В АЧР на крайнем северо-востоке сохранился очаг значительных (более 200%) положительных аномалий.

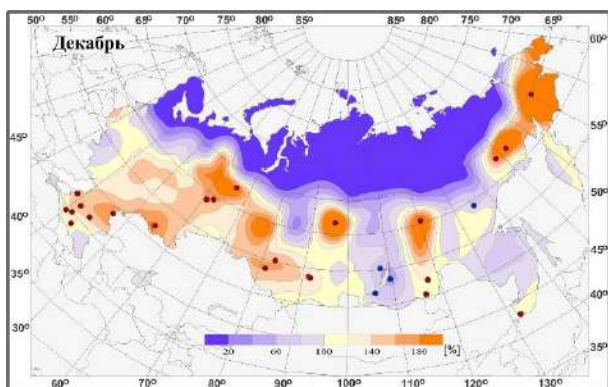


Рисунок 12.3 – Пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории РФ в декабре 2022 года

В *декабре* (рисунок 12.3) средняя аномалия ПСС для ЕЧР составила 124% от нормы, для АЧР – 106%. Два северных региона АЧР попали в пять максимумов – средняя аномалия в них превысила норму более чем в два раза, однако нормы в декабре здесь не велики (2 и 8 часов).

На рисунке 12.4 видно, что для территории РФ в целом наиболее значительные положительные аномалии отмечались в августе (113% от нормы) и декабре (111%). ПСС для августа стала рекордной (с 1961 г.).

Наибольший дефицит солнечного сияния для страны в целом наблюдался в течение всех трех осенних месяцев (сентябрь-ноябрь). Средние положительные аномалии в ЕЧР наблюдались только для пяти месяцев. Максимальная из них отмечалась в августе (131% от нормы, ранг 1), и именно она определила экстремальность этого месяца и летнего сезона для страны в целом. ПСС для марта в ЕЧР попала в 95%-й квантиль (ранг 3). Наиболее значительная отрицательная аномалия ПСС в ЕЧР наблюдались в феврале (76% от нормы). Средняя для АЧР ПСС в большинстве месяцев оказалась близка к норме. В течение четырех месяцев преобладали положительные аномалии, наибольшие из них наблюдались в январе (110% от нормы).

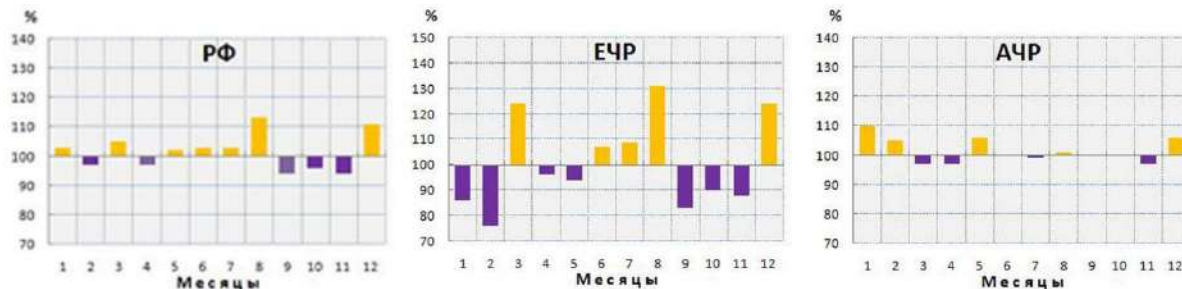


Рисунок 12.4 – Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР; 2022 г.

Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Географическое распределение коэффициентов линейного тренда годовых сумм ПСС, рассчитанных для периода 1976-2022 гг., представлено на рисунке 12.5. Оно мало отличается от полученного годом ранее. По-прежнему изменения ПСС на большинстве станций территории РФ характеризуются положительным трендом. Из 269-ти станций, для которых рассчитывался тренд годовых сумм ПСС, положительный тренд наблюдается на 198-ми станциях (74%), причем на 39% этих станций тренд является статистически значимым (на 5%-м уровне). По-прежнему средняя скорость роста ПСС (коэффициент линейного тренда b) для территории России в целом составляет 1,1%/10лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 30% (таблица 12.3).

Положительный тренд для России в целом наблюдается во все сезоны и является статистически значимым (за исключением осени). Статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС и отдельно для ЕЧР ($b=1,9\%/10\text{лет}$) и АЧР

($b=0,7\%/10\text{лет}$). Наибольший вклад в тренд годовых сумм ПСС в ЕЧР вносит тренд летнего сезона ($b=2,8\%/10\text{лет}$), а в АЧР – зимнего ($b=2,5\%/10\text{лет}$). Наибольший тренд годовых сумм ПСС наблюдается на юге ЕЧР – $2,8\%/10\text{лет}$ в ЮФО, что несколько меньше по сравнению с оценкой, полученной в 2021 г.

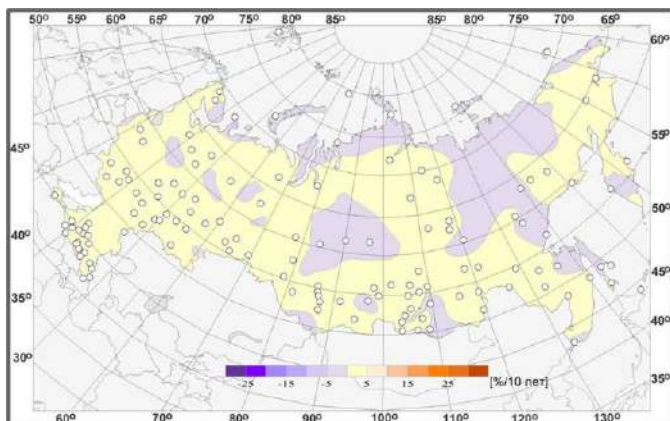


Рисунок 12.5 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий годовой продолжительности солнечного сияния на территории России, по данным за 1976-2022 гг. (%/10 лет). Белыми кружками выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-м уровне

значимыми. Наиболее значительное увеличение зимних сумм ПСС по-прежнему отмечается в регионе «Север Восточной Сибири и Якутии» ($b=10,2\%/10\text{лет}$, $D=45\%$).

Весной статистически значимый положительный тренд ПСС наблюдается как для РФ в целом ($b=1,1\%/10\text{лет}$, $D=16\%$), так и отдельно для ЕЧР ($b=1,8\%/10\text{лет}$, $D=17\%$). Наибольший тренд отмечается в ЮФО ($3,4\%/10\text{лет}$) и ЦФО ($3,3\%/10\text{лет}$). По сравнению с прошлым годом этот тренд несколько уменьшился. На севере ЕЧР, как и в зимний сезон, отмечается слабый, статистически незначимый отрицательный тренд ($-0,4\%/10\text{лет}$). В АЧР, при среднем статистически незначимом положительном тренде ($0,7\%/10\text{лет}$), в регионах «Центр и юг Восточной Сибири» и «Алтай и Саяны», а также в СФО наблюдается статистически значимый положительный тренд. Статистически незначимый отрицательный тренд ($-1,2\%/10\text{лет}$) отмечается на Чукотке.

В **летний** сезон средняя для территории РФ скорость роста ПСС составляет $1,2\%/10\text{лет}$. В ЕЧР, по сравнению с весной, тренд более существенный ($2,8\%/10\text{лет}$), поскольку рост ПСС наблюдается не только в центре и на юге ЕЧР, но и в ПФО. В АЧР летом заметно увеличивается территория с отрицательным трендом – средний тренд имеет отрицательный знак для регионов «Север Восточной Сибири и Якутии» и «Дальний Восток». Средняя скорость роста ПСС в АЧР летом по-прежнему составляет всего $0,2\%/10\text{лет}$, являясь статистически не значимой.

В **осенний** сезон территория страны, занятая отрицательным трендом, еще больше увеличивается, а средний тренд составляет всего $0,3\%/10\text{лет}$ и является статистически не значимым. Для ЕЧР в среднем наблюдается слабый рост ПСС ($0,9\%/10\text{лет}$), а в АЧР тренд отсутствует. При этом для целого ряда регионов и федеральных округов как ЕЧР, так и АЧР результирующим является слабый отрицательный тренд. Статистически значимый положительный тренд ПСС сохраняется осенью только на юге ЕЧР. В регионе «Юг ЕЧР» тренд составляет $1,9\%/10\text{лет}$, в ЮФО – $2,5\%/10\text{лет}$, что несколько меньше оценок прошлого года.

На рисунке 12.7 показан многолетний ход средних годовых и сезонных аномалий ПСС для территории РФ в целом и отдельно для ЕЧР и АЧР.

Временные ряды аномалий годовых сумм ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ представлены на рисунке 12.8. Во всех регионах и

В географическом распределении коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий ПСС (рисунок 12.6) по сравнению с прошлым годом существенных изменений не произошло. Для России в целом в **зимний** сезон наблюдается положительный тренд, он составляет $+1,6\%/10\text{лет}$ и является наибольшим среди всех сезонов. При этом в ЕЧР отмечается отрицательный, но статистически незначимый тренд $-0,8\%/10\text{лет}$. Отрицательные региональные тренды в ЦФО и СЗФО гораздо сильнее, составляют $-5,2\%/10\text{лет}$ и являются статистически

федеральных округах РФ тренд в период 1976-2022 гг. положительный, причем во многих из них является статистически значимым (таблица 12.3).

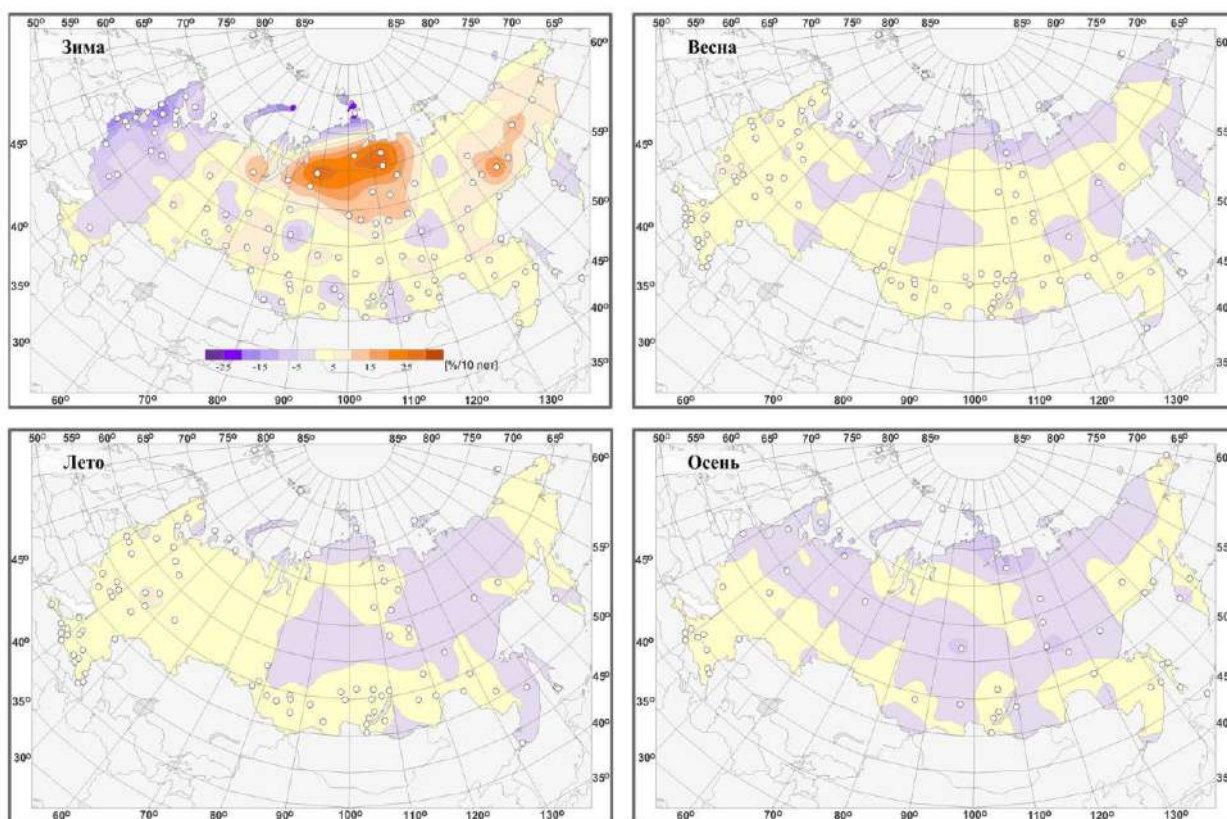


Рисунок 12.6 – Смотри рисунок 12.5, но для коэффициентов линейного тренда относительных аномалий **сезонной** продолжительности солнечного сияния

Таблица 12.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России; 1976-2022 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	1,1	30	1,6	9	1,1	16	1,2	34	0,3	1
ЕЧР	1,9	34	-0,8	1	1,8	17	2,8	41	0,9	2
АЧР	0,7	14	2,5	24	0,7	8	0,2	1	0,0	0
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	0,1	0	-2,2	1	-0,4	0	0,9	2	-2,0	5
Север Вост. Сибири и Якутии	0,3	2	10,2	45	0,3	1	-0,6	3	-0,7	1
Чукотка и север Камчатки	1,1	5	6,5	15	-1,2	2	2,0	7	1,6	2
Центр ЕЧР	2,0	20	-1,4	1	1,6	8	3,2	32	1,0	1
Центр и юг Зап. Сибири	0,7	4	3,6	9	0,6	1	0,4	1	-0,5	0
Центр и юг Вост. Сибири	0,7	10	2,4	19	1,2	17	0,2	1	-0,6	2
Дальний Восток	0,4	5	1,5	10	0,3	0	-0,6	2	1,0	7
Алтай и Саяны	1,0	12	1,1	3	1,4	9	0,9	6	0,2	0
Юг ЕЧР	2,6	44	0,7	1	3,3	25	2,9	48	1,9	9
Федеральные округа РФ										
Центральный	2,4	21	-5,2	8	3,3	18	3,5	33	1,3	1
Южный	2,8	41	0,7	1	3,4	20	2,9	39	2,5	12
Северо-Западный	0,7	3	-5,2	9	1,0	3	1,8	7	-2,2	5
Дальневосточный	0,5	9	2,2	22	0,5	4	-0,2	1	0,3	1
Сибирский	0,8	11	2,7	10	1,2	9	0,3	1	-0,2	0
Уральский	1,0	6	3,3	7	0,1	0	1,5	6	-0,3	0
Приволжский	2,2	18	0,7	0	1,1	2	3,5	31	1,7	2
Северо-Кавказский	2,5	42	0,7	1	3,1	26	3,2	47	1,6	6

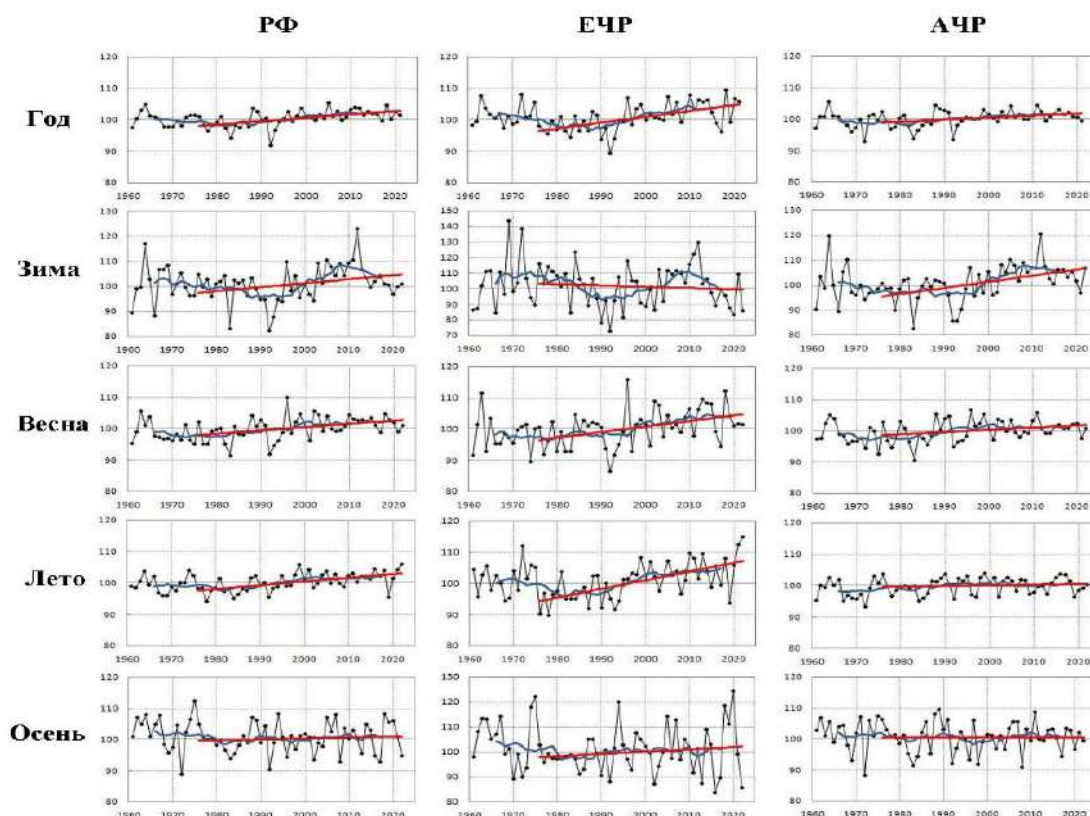


Рисунок 12.7 – Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, усредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей

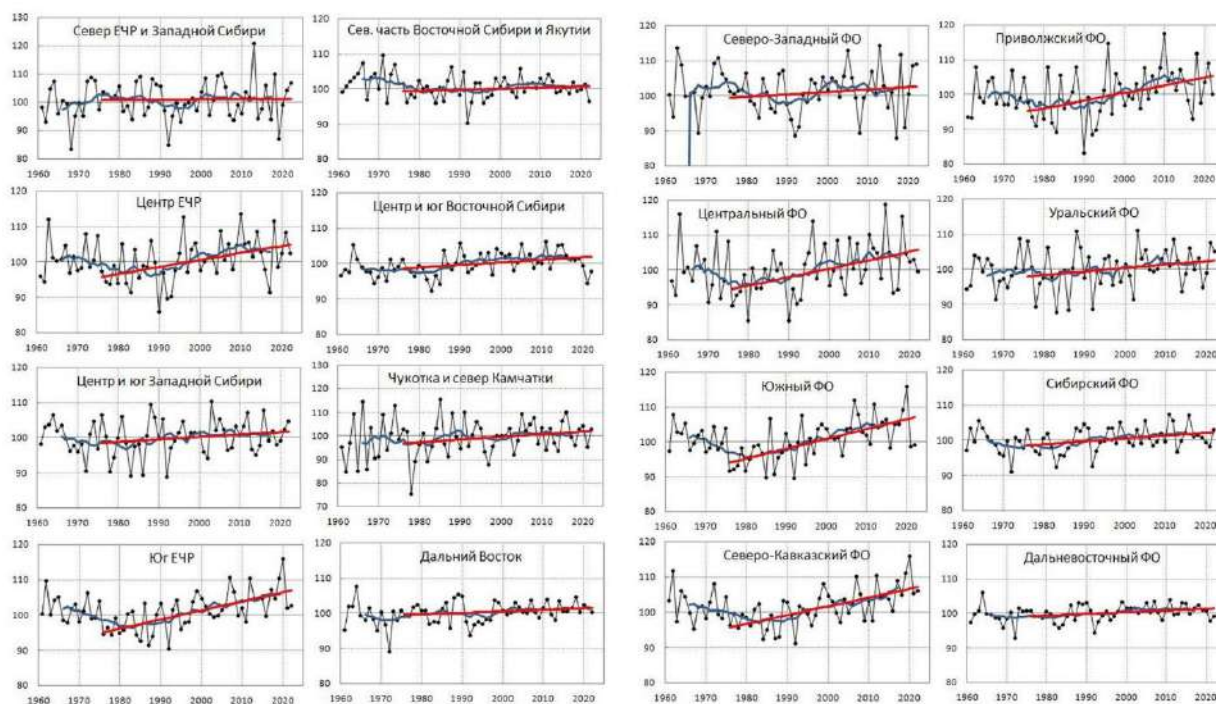


Рисунок 12.8 – Относительные аномалии (%) суммарной за год продолжительности солнечного сияния, усредненной по квази-однородным физико-географическим регионам и федеральным округам РФ

Дополнительно получены оценки средних трендов годовых и сезонных сумм ПСС для всей территории РФ в целом и двух ее частей: ЕЧР и АЧР, для последнего 30-летнего периода и проведено их сопоставление с оценками 2021 г. (таблица 12.4).

Согласно полученным оценкам, в среднем для территории РФ положительный тренд ПСС, который наблюдается в 30-ти летний период 1993-2022 гг. в среднем за год и во все сезоны, замедлился и стал статистически незначимым (на 5%-м уровне). В ЕЧР уменьшился и стал статистически незначимым положительный тренд годовых и весенних сумм ПСС, а в осенний сезон тренд поменял знак и стал отрицательным. В то же время остался статистически значимым и даже усилился положительный тренд в летний сезон. В АЧР при сравнении двух 30-летних периодов наблюдается ослабление всех положительных трендов ПСС: как среднего за год, так и сезонных – зимнего, который все же сохранил статистическую значимость, а также весеннего и осеннего. При этом наблюдавшийся в летний сезон отрицательный тренд ПСС заметно усилился.

Из таблицы 12.4 видно, что оценки 30-ти летних трендов весьма неустойчивы, претерпевают большие изменения, являясь более чувствительными к ежегодным изменениям в рядах данных. Оценки, полученные с учетом данных 2022 года, подтверждают рост ПСС на территории РФ, но свидетельствуют о присутствии тенденции к его замедлению. Следует отметить, что при рассмотрении линейного тренда средней для территории РФ годовой суммы ПСС по скользящим 30-летиям (с шагом пять лет), начиная с 1961 г., наибольший тренд ПСС оказался в период 1981-2010 гг., он составил +31 ч/10 лет (1,6%/10 лет).

13. 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

Таблица 12.4 – 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	1992-2021			1993-2022		
	<i>b</i> (ч/10л)	<i>b</i> (%/10л)	<i>D</i>	<i>b</i> (ч/10л)	<i>b</i> (%/10л)	<i>D</i>
РФ						
Год	26,0	1,3	21	14,5	0,8	12
Зима	7,4	3,5	15	4,4	2,1	7
Весна	8,0	1,3	10	4,0	0,6	3
Лето	6,4	0,9	9	5,9	0,8	8
Осень	4,3	1,4	6	0,9	0,3	0
ЕЧР						
Год	42,0	2,3	20	27,2	1,5	12
Зима	3,4	2,2	2	-1,2	-0,8	0
Весна	16,0	2,7	14	9,7	1,7	6
Лето	18,6	2,3	16	20,8	2,6	18
Осень	4,3	1,4	2	-1,6	-0,5	0
Год	42,0	2,3	20	27,2	1,5	12
АЧР						
Зима	16,8	0,8	12	7,2	0,4	4
Весна	9,8	4,0	23	7,7	3,1	17
Лето	3,4	0,5	3	0,7	0,1	0
Осень	-0,7	-0,1	0	-2,9	-0,4	2

функционировавших в 2022 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 метеорологических величин в свободной атмосфере, включая статистические характеристики температуры, на стандартных изобарических поверхностях для каждой из станций. На основе взвешенного вертикального обобщения рассчитываются также значения температуры в основных слоях атмосферы: 850-300 гПа (тропосфера), 100-50 гПа (нижняя стратосфера), 300-100 гПа (переходный слой, характеризующийся значительной нестабильностью). Следующим этапом расчетов является расчет месячных аномалий температуры. Аномалии температуры на основных изобарических поверхностях и в каждом из указанных слоев атмосферы для каждого месяца, – вычислялись для каждой станции. В качестве норм использовались соответствующие характеристики температуры для этой станции, осредненные за период 1981-2010 гг. Такой выбор периода вычисления норм объясняется, во-первых, целесообразностью проводить в дальнейшем сопоставления с рядами аномалий температуры в свободной атмосфере, полученными на основе спутниковых наблюдений, начало которым положено с 1979 года. Во-вторых, оценки норм за такой период вычисления наименее, по сравнению с другими вариантами выбора тридцатилетнего периода, подвержены влиянию возможных неоднородностей в рядах, возникающих из-за особенностей функционирования глобальной сети радиозондирования.

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

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

Наконец, наряду с пространственным осреднением постанционных месячных аномалий по пятиградусным и тридцатиградусным широтным поясам Северного полушария и по Северному полушарию в целом, проводилось дополнительно осреднение постанционных месячных аномалий по сезонам для каждого сезона 2022 года (зимний сезон включал декабрь 2021 г. и январь-февраль 2022 г.), а также для 2022 года в целом.

Особенности температурного режима в свободной атмосфере в 2022 г.

В таблице 13.1 приведены значения аномалий температуры за 2022 год для каждого из 12 месяцев, для двух широтных зон Северного полушария (30-60° с.ш. и 60-90° с.ш.) для отдельных изобарических поверхностей: 850 гПа, 500 гПа, 300 гПа и 100 гПа. Перечисленные изобарические поверхности в среднем для года отвечают примерно высотам 1,23 км, 4,95 км, 8,52 км и 16,21 км над уровнем моря соответственно.

В умеренных широтах в тропосфере в 2022 году во все месяцы, за исключением декабря на высоте 850 гПа, наблюдались положительные аномалии температуры. Наибольшие аномалии температуры наблюдались в июне и августе в нижних слоях тропосферы и составили 1,16°C и 1,04°C соответственно. В июле на всех относящихся к тропосфере поверхностях аномалии температуры были около 0,95°C. Такие же аномалии наблюдались в сентябре на высоте 850 гПа и феврале, и августе на высоте 300 гПа.

Наименьшие положительные аномалии в умеренных широтах Северного полушария наблюдались в марте и декабре.

Во всем слое тропосферы они не превышали 0,25°C, а на высоте 850 гПа в марте составляли 0,16°C, а в декабре были отрицательные со значением -0,23°C. В феврале,

Таблица 13.1 – Аномалии температуры за 2022 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	0,25	0,39	0,36	0,10	1,12	1,43	0,16	-3,10
Февраль	0,57	0,70	0,97	-0,26	1,58	0,66	-1,52	-6,19
Март	0,16	0,17	0,25	-0,66	1,09	0,04	-1,47	-4,12
Апрель	0,48	0,55	0,38	-1,50	0,70	0,43	-0,07	0,57
Май	0,47	0,52	0,66	-0,32	1,17	0,30	-0,19	0,17
Июнь	1,16	0,84	0,63	-0,97	1,41	0,80	-0,12	-0,47
Июль	0,94	0,97	0,93	-0,79	1,03	1,11	0,79	-0,29
Август	1,04	0,80	0,95	-0,33	1,04	1,03	0,89	-0,17
Сентябрь	0,94	0,77	0,78	-0,25	0,41	0,42	0,47	0,13
Октябрь	0,78	0,47	0,45	-0,38	1,49	0,81	0,21	-0,26
Ноябрь	0,72	0,57	0,12	-0,51	0,69	0,36	-0,45	0,12
Декабрь	-0,23	0,11	0,19	-0,95	0,24	0,27	0,62	-0,98

март, мае и декабре аномалии температуры в тропосфере росли с увеличением высоты. В нижней стратосфере положительная аномалия наблюдалась только в январе и составила 0,10°C. Наибольшая аномалия температуры в нижней стратосфере умеренных широт наблюдалась в апреле и составила -1,50°C. Наибольшее изменение аномалий температуры с высотой наблюдалось в июне: разность аномалий на поверхностях 850 и 100 гПа составила 2,13°C.

В высоких широтах в тропосфере Северного полушария в 2022 году

отрицательные аномалии температуры наблюдались на высоте 300 гПа с февраля по июнь и в ноябре. В феврале и марте они достигали -1,52 и -1,47°C соответственно. В апреле они были близки к нулю. На высоте 850 гПа аномалии температуры не превысили 1°C только в апреле, сентябре, ноябре и декабре. Наибольшие положительные аномалии температуры на высоте 850 гПа наблюдались в феврале и октябре и составили 1,58 и 1,49°C соответственно. В нижней стратосфере высоких широт в апреле, мае, сентябре и ноябре наблюдались положительные аномалии температуры. В апреле они достигали 0,57°C. С января по март в нижней стратосфере высоких широт наблюдались большие отрицательные аномалии температуры, составляющие -3,10°C, -6,19°C и -4,12°C соответственно.

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 13.2 приведены аномалии температуры, обобщенные для каждого из четырех сезонов 2022 года (зимний сезон включает период декабрь 2021-февраль 2022 г) и для года в целом, осредненные по вертикали внутри слоев 850-300 гПа (тропосфера) и 100-50 гПа (нижняя стратосфера) для тридцатиградусных широтных зон Северного полушария и полушария в целом.

В тропосфере низких широт 2022 год вошел в десятку самых теплых лет во всех сезонах. Самым теплым сезоном стала осень с аномалией температуры 0,59°C и 4 местом в ряду самых теплых лет. Рекордных аномалий температуры не наблюдалось ни в одном сезоне, ни в одном широтном поясе, тем не менее лето в умеренных и высоких широтах стало 4 и 3 в ряду самых теплых лет за всю историю наблюдений. Аномалии температуры составили 0,90 и 0,98°C соответственно. Остальные сезоны в высоких широтах не попали в десятку самых теплых сезонов, также, как и лето низких широт и весна умеренных широт. В целом за год 2022 год вошел в десятку самых теплых лет в тропосфере с аномалией температуры 0,52°C.

В нижней стратосфере в 2022 году зима в высоких широтах стала рекордно холодной за всю историю наблюдений. Аномалия температуры достигла $-3,69^{\circ}\text{C}$. Предыдущий рекорд ($-3,41^{\circ}\text{C}$) наблюдался в 1996 году. При этом аномалии температуры зимой в низких и умеренных широтах были близки к нулю. В целом по Северному полушарию весна, лето и осень заняли последние места в десятке самых холодных лет с аномалиями температуры $-0,65^{\circ}\text{C}$, $-0,78^{\circ}\text{C}$ и $-0,69^{\circ}\text{C}$ соответственно. При этом в отдельных широтных поясах в десятку самых холодных лет вошли только весна и лето низких широт с одинаковой аномалией в $-1,05^{\circ}\text{C}$, и осень умеренных широт с аномалией в $-0,66^{\circ}\text{C}$. В высоких широтах в десятку самых холодных лет не вошел ни один сезон кроме зимнего, а весной вообще наблюдалась нулевая аномалия температуры. В целом за год 2022 год занял 8 место, а в высоких широтах – 3 место, в ряду самых холодных лет в нижней стратосфере с аномалиями температуры $-0,68$ и $-0,94^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Более детально вертикально-широтная структура для годовых аномалий температуры в 2022 г. показана на рисунке 13.1, а для аномалий температуры отдельных сезонов 2022 г. – на рисунке 13.2.

На рисунке 13.3 представлены посезонно ранги 10 самых теплых в тропосфере и 10 самых холодных в нижней стратосфере лет, причем отдельно выделено положение 2022 г.

Таблица 13.2 – Аномалии температуры в тропосфере и нижней стратосфере от норм 1981-2010 гг., ΔT_{2022} – величина аномалии в градусах Цельсия, R (-R) – ранг (обратный ранг) в рядах, упорядоченных по возрастанию значений соответствующих аномалий за период 1958-2022 гг.

Сезон	0-30 С. Ш.		30-60 С. Ш.		60-90 С. Ш.		Северное полушарие	
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
	ΔT_{2022}	-R	ΔT_{2022}	-R	ΔT_{2022}	-R	ΔT_{2022}	-R
Зима	0,40	9	0,63	6	0,48	11	0,55	6
Весна	0,63	6	0,41	12	0,33	17	0,48	7
Лето	0,24	14	0,90	4	0,98	3	0,68	5
Осень	0,52	8	0,63	5	0,57	11	0,59	4
Год	0,42	8	0,56	7	0,66	5	0,52	6
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа								
	ΔT_{2022}	R	ΔT_{2022}	R	ΔT_{2022}	R	ΔT_{2022}	R
Зима	-0,01	30	-0,07	22	-3,69	1	-0,34	17
Весна	-1,05	9	-0,54	14	0,00	29	-0,65	10
Лето	-1,05	9	-0,69	10	-0,40	13	-0,78	9
Осень	-0,87	11	-0,66	8	-0,11	23	-0,69	10
Год	-0,84	10	-0,56	11	-0,94	3	-0,68	8

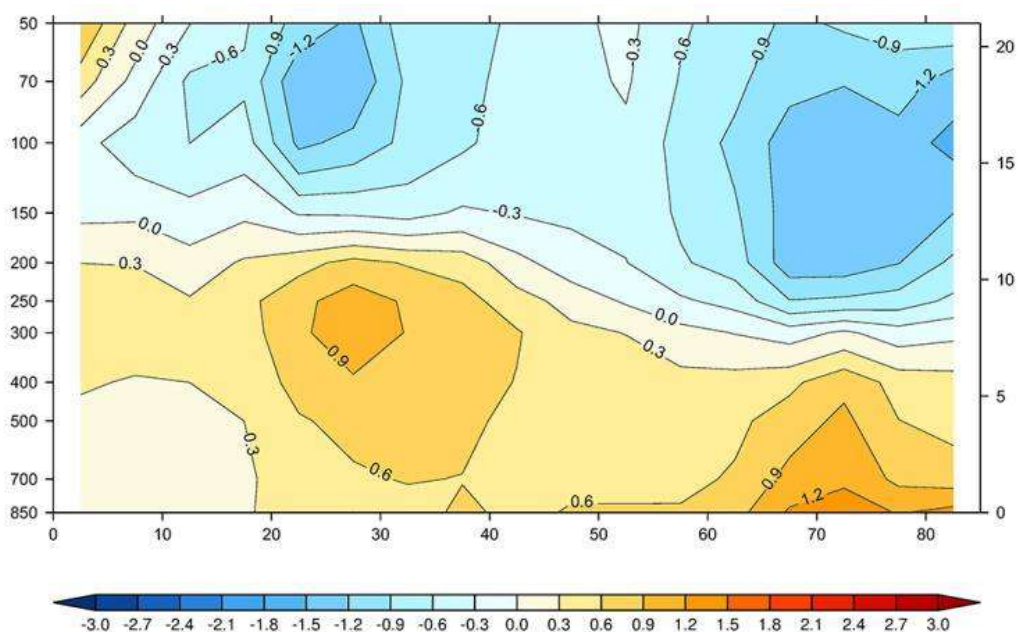


Рисунок 13.1 – Вертикально-широтная структура годовых аномалий температуры свободной атмосферы в 2022 г. Горизонтальная ось – широты, левая вертикальная ось – давление на стандартных изобарических поверхностях, правая вертикальная ось – высоты над уровнем моря, в км

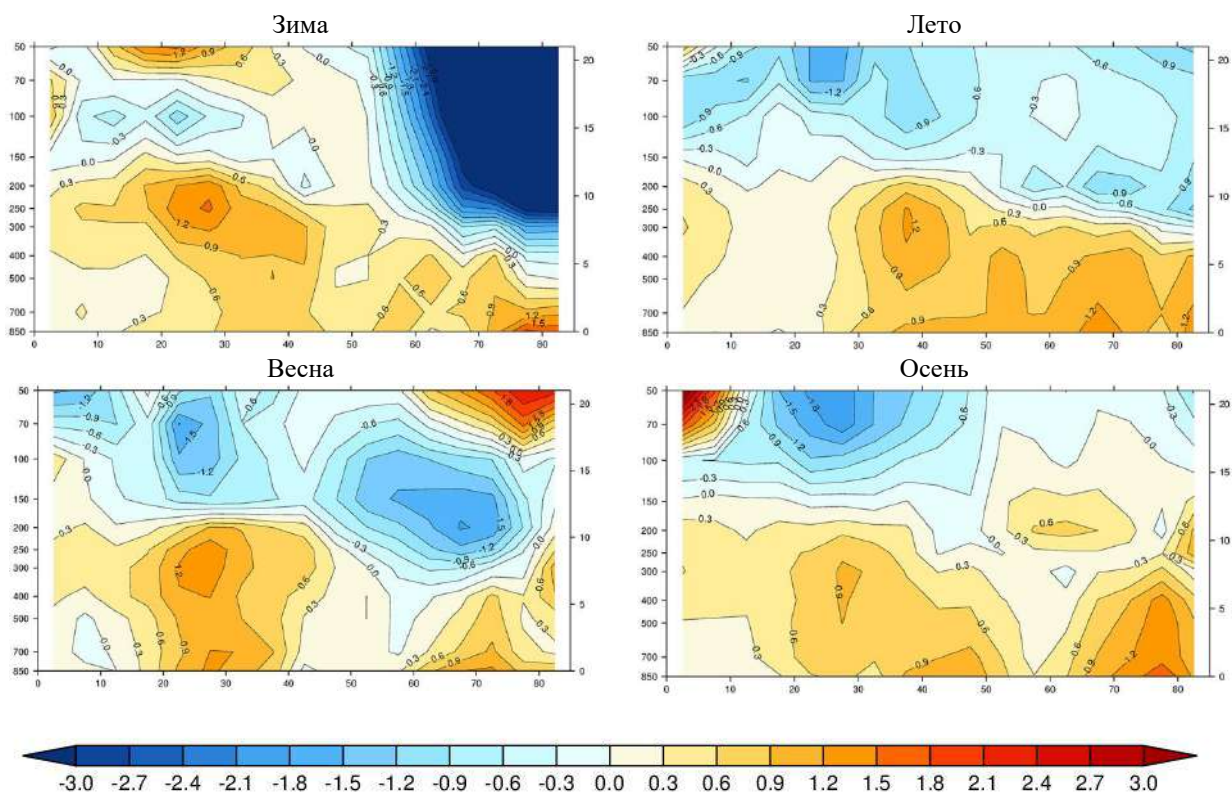


Рисунок 13.2 – То же, что на рис 13.1, но для отдельных сезонов (зима 2021/2022 гг., весна, лето и осень 2022 г.)

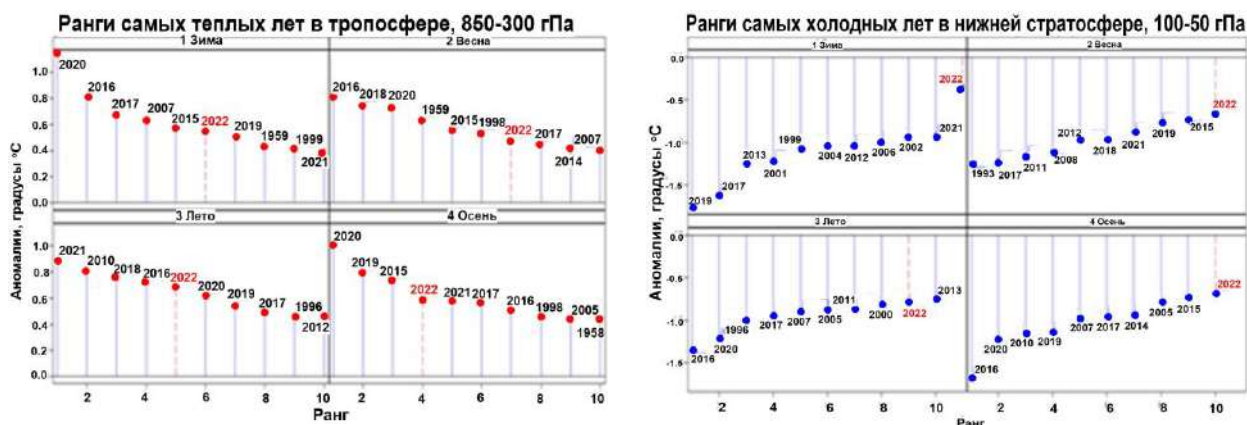


Рисунок 13.3 – Ранги самых значительных сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1958-2022 гг. Левая панель – положительные аномалии, тропосфера (850-300 гПа), правая панель – отрицательные аномалии, нижняя стратосфера (100-50 гПа). Обозначения сезонов по аналогии с рисунком 13.2, 2022 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 13.4, где, наряду с рядами сезонных аномалий, представлены линии трендов.

Таблица 13.3 содержат значения линейных трендов, вычисленных за период 1981-2022 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 13.3, в тропосфере тенденции потепления во всех широтных зонах всех сезонов статистически значимы.

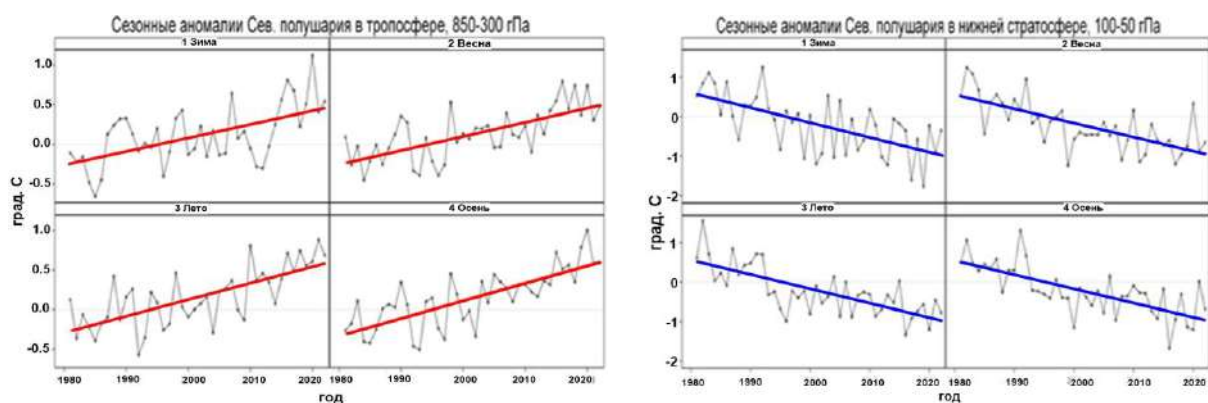


Рисунок 13.4 – Ряды сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1981-2022 гг. Левая панель – тропосфера (850-300 гПа), правая панель – нижняя стратосфера (100-50 гПа). Линии трендов построены методом наименьших квадратов для тропосферы (красный цвет) и нижней стратосферы (синий цвет). Обозначения сезонов по аналогии с рисунком 13.2

По сравнению с 2021 годом увеличились оценки трендов весенних аномалий в низких широтах, зимних и летних в умеренных широтах, а также летних в высоких широтах. Во всех случаях оценки тренда увеличилась на $0,01^{\circ}\text{C}/10$ лет. Осенний тренд в высоких широтах уменьшился на $0,02^{\circ}\text{C}/10$ лет и составил $0,24^{\circ}\text{C}/10$ лет и составил $0,24^{\circ}\text{C}/10$ лет. В среднем по Северному полушарию по сравнению с прошлым годом увеличился только летний тренда, а значения трендов температуры принимали значения от $0,17^{\circ}\text{C}/10$ лет зимой до $0,21^{\circ}\text{C}/10$ лет летом и осенью. Годовой тренд по сравнению с 2021 годом не изменился и составил $0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Для нижней стратосферы очевидное статистически значимое похолодание имеет место для всех осуществленных вариантов оценки тренда, за исключением зимнего сезона в высоких широтах. При этом зимний тренд в высоких широтах существенно изменился с $-0,01^{\circ}\text{C}/10$ лет в 2021 году до $-0,13^{\circ}\text{C}/10$ лет в 2022 году. В низких широтах абсолютные значения трендов уменьшились во всех сезонах, за исключением осени. Летом наблюдалось наибольшее уменьшение значений трендов с $-0,54^{\circ}\text{C}/10$ лет до $-0,50^{\circ}\text{C}/10$ лет. В умеренных широтах уменьшился летний тренд по абсолютному значению, осенний – увеличился. Во все остальные сезоны всех широтных зон значения трендов уменьшились по абсолютному значению по сравнению с 2021 годом. Исключение составляет весна низких широт. В этот сезон оценка тренда не изменилась. Наибольшее уменьшение на $0,06^{\circ}\text{C}/10$ лет наблюдалось зимой и осенью в низких широтах. В среднем по Северному полушарию уменьшились абсолютные значения всех сезонных трендов. Годовой тренд уменьшился с $-0,37^{\circ}\text{C}/10$ лет до $-0,36^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Выводы

Температурных рекордов в тропосфере Северного полушария в 2022 году не наблюдалось. Тем не менее, в низких и умеренных широтах для тропосферы три сезона из

Таблица 13.3 – Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2022 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	41	0,16	16	0,14	22	0,17	32
Весна	0,13	22	0,21	41	0,14	15	0,18	47
Лето	0,10	21	0,26	50	0,27	42	0,21	50
Осень	0,15	29	0,24	49	0,24	37	0,21	55
Год	0,15	38	0,22	58	0,20	46	0,19	58
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа								
Зима	-0,58	45	-0,30	20	-0,13	1	-0,37	39
Весна	-0,49	53	-0,29	29	-0,36	16	-0,36	49
Лето	-0,49	50	-0,32	44	-0,21	34	-0,36	52
Осень	-0,53	42	-0,31	45	-0,21	40	-0,37	51
Год	-0,52	63	-0,30	55	-0,23	22	-0,36	65

четырёх вошли в десятку самых теплых лет с 1958 года. В высоких широтах лето 2022 года стало третьим в ряду самых теплых лет с аномалией температуры $0,98^{\circ}\text{C}$. В целом по Северному полушарию 2022 год стал шестым в ряду самых теплых для слоя тропосферы лет с аномалией температуры $0,52^{\circ}\text{C}$. Таким образом, 2015-2022 гг. являются восемью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария.

В нижней стратосфере зимой в низких и умеренных широтах наблюдались близкие к нулевым аномалиям температуры, а в высоких широтах – рекордно низкая аномалия температуры со значением $-3,69^{\circ}\text{C}$. Предыдущий рекорд ($-3,41^{\circ}\text{C}$) наблюдался в 1996 году. Несмотря на это рекордное значение для 2022 года, тренд температуры в нижней стратосфере высоких широт в зимний сезон является статистически незначимым. Зимняя аномалия температуры в нижней стратосфере высоких широт 2022 года повлияла на то, что соответствующая годовая аномалия стала третьей. Помимо этого, в умеренных широтах осенью наблюдалась аномалия температуры, равная $-0,66^{\circ}\text{C}$, что является восьмым местом в ряду самых холодных лет. В низких широтах весной и летом аномалия температуры была равна минус $1,05^{\circ}\text{C}$, что стало девятым местом в ряду самых холодных лет. В целом за год 2022 год стал восьмым самым холодным годом с аномалией температуры $-0,68^{\circ}\text{C}$. 2022 год стал первым годом, попавшим в десятку самых холодных лет с 2019 года.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2022 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере.

В тропосфере добавление оценок аномалий за 2022 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2021 года включительно, привело к увеличению значений трендов отдельных сезонов на отдельных широтных полосах: трендов в рядах весенних аномалий в низких широтах, зимних и летних в умеренных широтах, а также летних в высоких широтах.

В нижней стратосфере во всех сезонах всех широтных зон, за исключением осени низких и умеренных широт, а также зимы высоких широт и весны низких широт, произошло уменьшение абсолютных значений оценок трендов.

Среднегодовой тренд температуры в тропосфере всего Северного полушария не изменился и составил $0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере всего Северного полушария уменьшилось по сравнению с предыдущим годом на $0,01^{\circ}\text{C}/10$ и составило $-0,36^{\circ}\text{C}/10$ лет.

14. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА

Мониторинг скорости приземного ветра проведен на основе данных из архива Госфонда и данных оперативного потока, поступающих по каналам связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с метеорологических станций (≈ 1480 пунктов наблюдений). Нормативные характеристики, используемые для оценки аномальности и экстремальности режима ветра в 2022 году, рассчитаны за 30-летний период с 1991 по 2020 год. Анализ многолетних изменений режима приземного ветра проводился по осредненным для 9 квази-однородных 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 14.1а.

Максимальная из средних скоростей ветра 15 м/с и выше наблюдалась в 2022 году на арктическом побережье, Чукотке, юге Камчатки, западном побережье Охотского моря и отдельных метеорологических станциях. На отдельных метеорологических станциях, расположенных на Урале, Нижней Волге, Новой Земле и в Сибири, максимальная

скорость ветра превысила 25 м/с. Наибольшее число дней со средней скоростью ветра ≥ 15 м/с (рисунок 14.1 в), отмечалось на арктическом и тихоокеанском побережье страны, однако максимум зафиксирован на метеорологической станции Кара-Тюрек, которая находится в горных районах Республики Алтай, (49 дней, что на 15 дней меньше значения предыдущего года). На Кольском п-ове (метеорологическая станция Териберка) было 46 дней с сильным ветром (≥ 15 м/с). В Крыму и на Нижней Волге число дней с сильным ветром не превышало 5 дней.

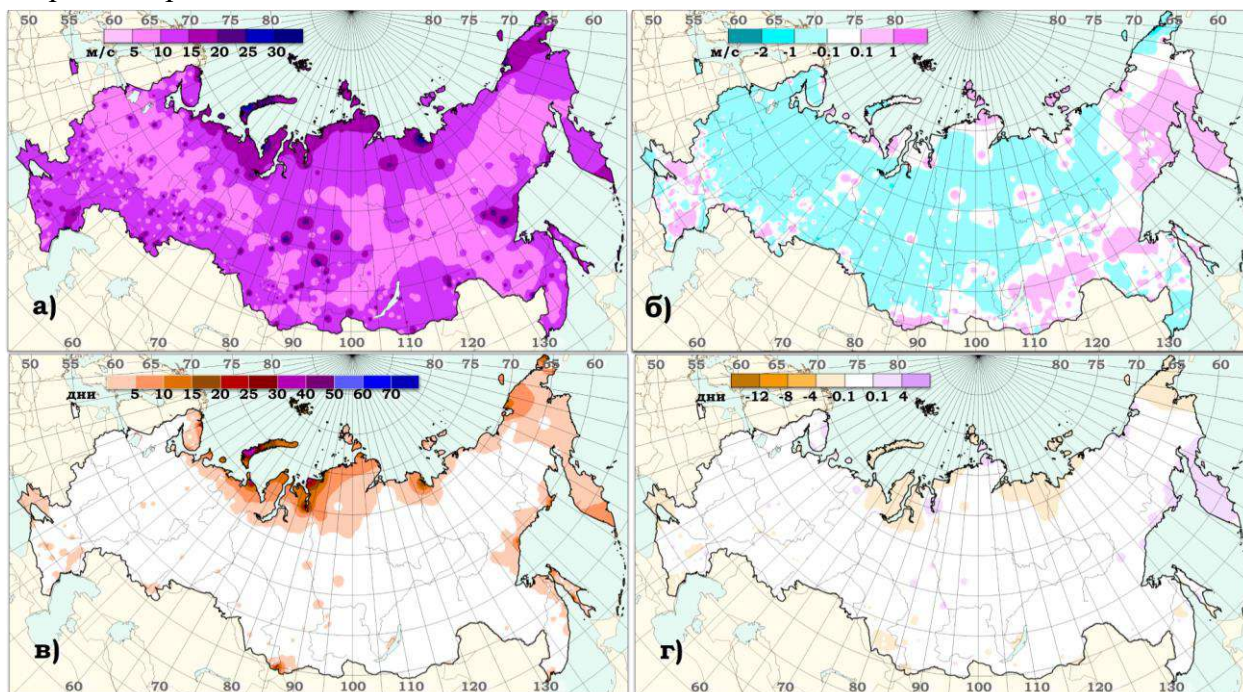


Рисунок 14.1 – а) Максимальная скорость ветра за 2022 г. (без учета порывов); б) Аномалии среднегодовой скорости ветра в 2022 г.; в) Число дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2022 г.; г) Аномалии (отклонение от средних многолетних значений) числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2022 г.

Аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с (рисунок 14.1 г) на большей части территории России близки к 0, что в значительной степени обусловлено переходом на нормы за период 1991-2020 гг. В нынешнем году числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с наблюдалось меньше на арктическом побережье, за исключением Кольского побережья, районов Тазовской Губы и мыса Челюскина. Наибольшая по абсолютной величине отрицательная аномалия числа дней с сильным ветром в 2022 году отмечалась на метеорологической станции Малые Кармакулы Ненецкого АО и составила $-2,07$ дней. Число дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с превысило норму на Камчатке и северном побережье Охотского моря. Наибольшие положительные аномалии числа дней со скоростью ветра больше (или равно) 15 м/с, наблюдались на метеорологических станциях Териберка (Мурманская область) и Мыс Братьев (Магаданская область) и равны $\approx 2,5$ дня.

Распределение аномалий скорости ветра по сезонам отражены на рисунке 14.2. Во все сезоны отрицательные аномалии преобладают на европейской территории, включая Калининградскую область и Республику Крым, и в Западной Сибири. Значительные отрицательные аномалии во все сезоны года отмечались на метеорологических станциях Липецк, Тамбов, Новороссийск, Орел (≈ -2 м/с). На территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов во все сезоны преобладают положительные аномалии средней скорости.

На территории Дальневосточного федерального округа преобладают положительные аномалии средней скорости во все сезоны года. Наиболее обширная зона положительных аномалий охватывает Чукотку и северо-восточные районы Якутии. Наибольшее положительное отклонение от среднемноголетних значений отмечались летом на метеорологических станциях Теракли-Мактеб и Кизляр (Дагестан) и составило 2

м/с. Зимой наибольшие аномалии со значением 1,5 м/с отмечались на метеорологических станциях Одопту и Углегорск Сахалинской области.

Количество дней с экстремальным ветром (скорость ветра выше значения, соответствующего 95-ому процентилю) в 2022 году на территории РФ отмечено цифрами на рисунке 14.2. Наибольшее количество таких дней наблюдалось на метеорологической станции Средняя Олёкма (Читинская область) – 35 дней зимой. Количество таких дней велико также на метеорологических станциях Усть – Умалыта Хабаровского края весной, Томпа (Бурятия) летом – 19 дней; Шелагонцы (Якутия) зимой и Воейково (Ленинградская область) летом – 15 дней; Токо (Якутия) и Усть-Нюкжа (Амурская область) зимой, Теракли – Мактеб (Дагестан) летом – 14 дней; Кизляр (Дагестан) летом – 12 дней.

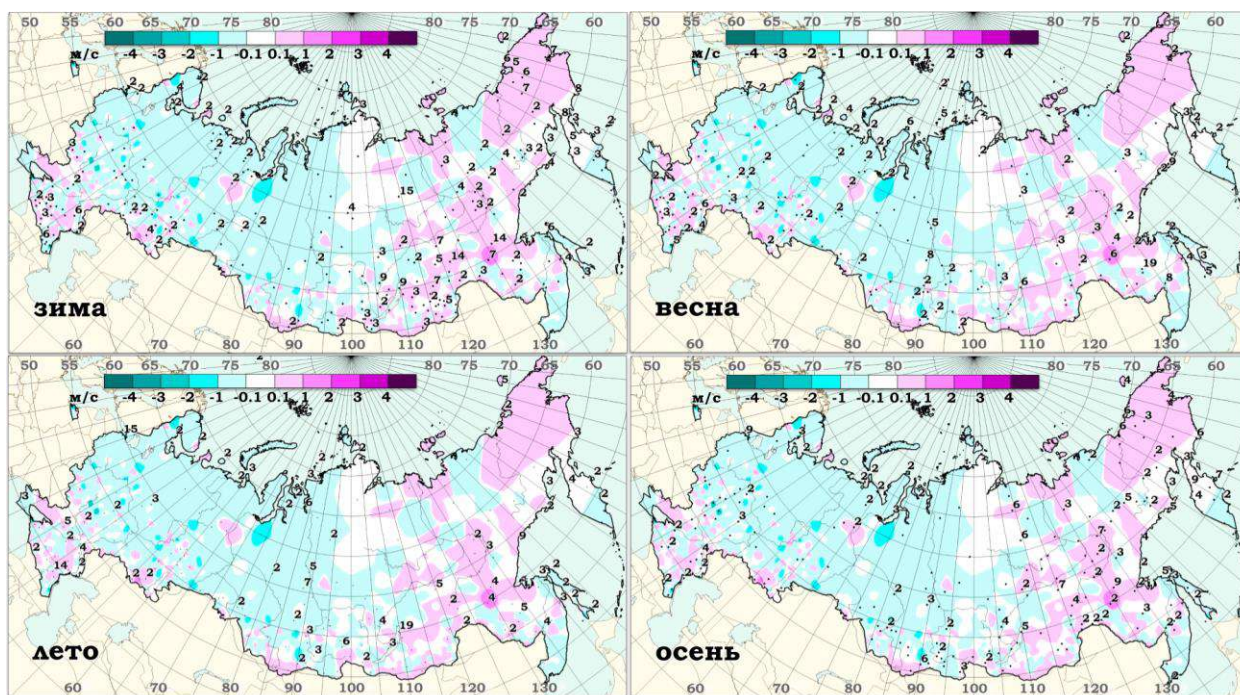


Рисунок 14.2 – Аномалии средней скорости ветра по календарным сезонам 2022 года. Точками и цифрами обозначены станции, на которых скорость ветра превышала 95-й процентиль и число дней с такой экстремальной скоростью ветра

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 1976-2022 гг., которые рассчитаны, по данным стационарных наблюдений, показано на рисунках 14.3 и 14.4. Тренд выражен в м/с за 10 лет и в днях за 10 лет соответственно.

Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Дагестан (о. Тюлений) во все сезоны года, кроме лета. Рост не превышает 0,6 м/с за 10 лет. Летом наибольший коэффициент линейного тренда отмечается на метеорологической станции Мраково Республика Башкортостан (0,52 м/с/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 метеорологической станции Серафимович Волгоградской области коэффициент линейного тренда близок к -1 м/с за 10 лет, но только зимой.

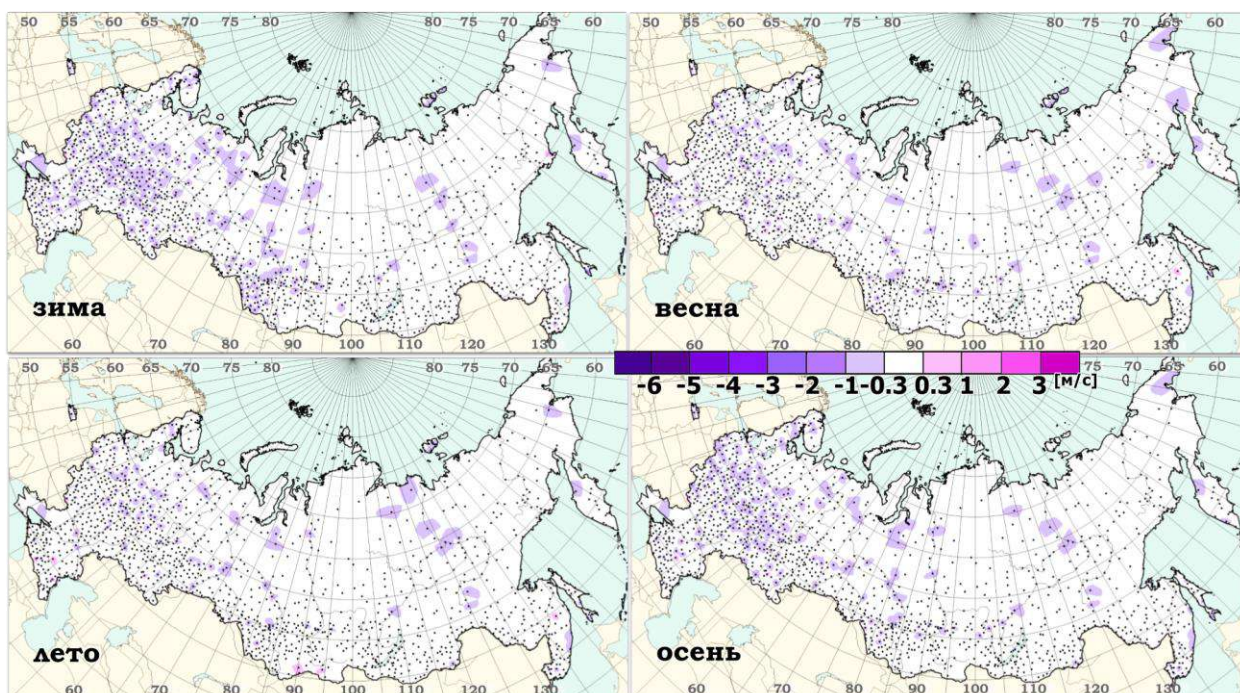


Рисунок 14.3 – Коэффициенты линейного тренда ((м/с)/10 лет) в рядах средней скорости ветра (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2022 гг.

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с также статистически незначим на большей территории РФ (рисунок 14.4). Только в 4 пунктах наблюдений для всех сезонов отмечается положительный коэффициент линейного тренда.

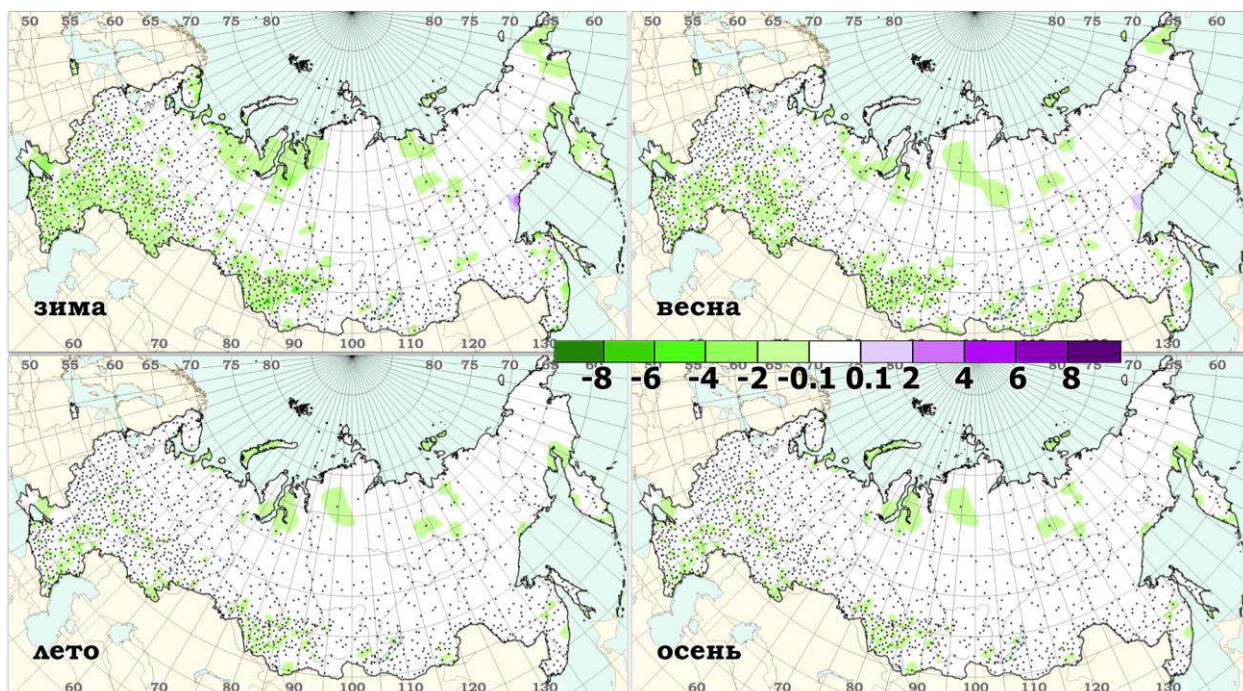


Рисунок 14.4 – Коэффициенты линейного тренда (день/10 лет) в рядах числа дней со скоростью больше 15 м/с (статистически значимые на 5%-м уровне значимости). 1976-2022 гг.

Наибольшие значения получены за осенне-зимний период для метеорологической станции Уля (Хабаровский край) – 2 дня за 10 лет, весной – для метеорологической станции Певек (Чукотский АО) – 1,72 дня за 10 лет. Максимальный по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда (-5,4 дня/10 лет) получен зимой

на метеорологической станции Ненастная (Республика Хакасия), весной, летом и осенью – на метеорологической станции 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 метеорологической станции Усть-Чарышская пристань (Алтайский край) – 5 дней в 10 лет зимой и 4 дня в 10 лет весной и осенью.

Согласно результатам оценки региональных изменений, во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается (таблица 14.1). Скорости уменьшаются и в большинстве квазиоднородных регионов. Число дней с ветром более 15 м/с зимой и осенью также уменьшается в большинстве регионов.

Таблица 14.1 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-м уровне значимости) регионально осредненных характеристик ветра для регионов России за 1976-2022 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	-0,14	-0,10	-0,10	-0,14				-0,16
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0,22	-0,16	-0,16	-0,21	-0,52	-0,14	-0,14	-0,61
Север Восточной Сибири и Якутии	-0,07	-0,09	-0,09	-0,06				
Чукотка и север Камчатки	-0,16			-0,15				
Центр ЕЧР	-0,23	-0,15	-0,15	-0,22	-0,72	-0,15	-0,15	-0,32
Центр и юг Западной Сибири	-0,22	-0,12	-0,12	-0,17	-1,03	-0,31	-0,31	-0,93
Центр и юг Восточной Сибири		-0,05	-0,05	-0,05				
Дальний Восток	-0,10	-0,09	-0,09	-0,12		-0,32	-0,32	-0,69
Алтай и Саяны	-0,08			-0,06				
Юг ЕЧР	-0,16	-0,08	-0,08	-0,11	-1,57	-0,31	-0,31	-0,54

15. 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 ВМО 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 метеорологических величин 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 2022 г. включал декабрь 2021 г. и январь-февраль 2022 г.) и для 2022 года в целом. Для анализа конкретного временного интервала:

месяца или сезона – использовались только станции, число наблюдений на которых за соответствующий период составляет не менее 50% от максимального числа наблюдений за этот период на соответствующей изобарической поверхности или в соответствующем слое.

На рисунках 15.1 и 15.2 изображены годовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в тропосфере. В целом за 2022 год над большей частью территории России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра, превышающие -1 м/с только в отдельных областях. Положительные аномалии скорости ветра наблюдались на востоке Дальнего Востока, на юго-западе европейской части России и над Кольским полуостровом. Над Чукоткой и Камчаткой они достигали 2 м/с. Направление ветра в среднем за год соответствовало климатическому.

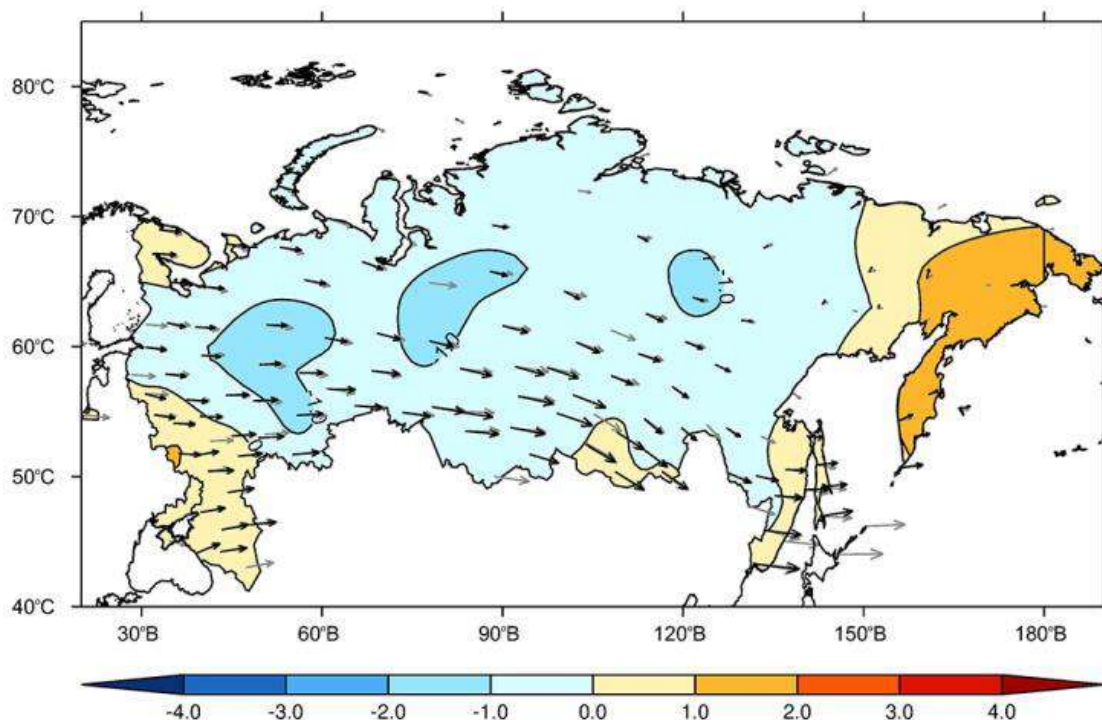


Рисунок 15.1 – Аномалии скорости ветра в 2022 г. в тропосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2022 г., серые – за период 1985-2014 гг.

Зимой 2022 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались на юге и юго-западе европейской части России, а также в районе Магаданской области и Камчатского края. В Крыму и на севере Камчатки они превышали 2 м/с. Отрицательные аномалии скорости ветра, преобладающие над большей частью азиатской территории России, не превышали -1 м/с по абсолютному значению. Большие аномалии наблюдались только на юге Сибири и Дальнего Востока, а также в районе Восточно-Сибирского моря. Отрицательные аномалии на севере ЕЧР превышали -1 м/с по абсолютному значению.

При этом в декабре 2021 г. на юге Сибири наблюдались большие положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 6 м/с. В январе и феврале 2022 г. как положительные, так и отрицательные аномалии скорости ветра практически над всей Россией не превышали 2 м/с по абсолютному значению. Большие положительные аномалии в январе наблюдались только на Юге России и на севере Камчатки. В целом за сезон вследствие положительных аномалий меридионального ветра на востоке ЕЧР наблюдалось юго-западное направление ветра. Над остальной территорией России направление ветра в целом соответствовало климатическому.

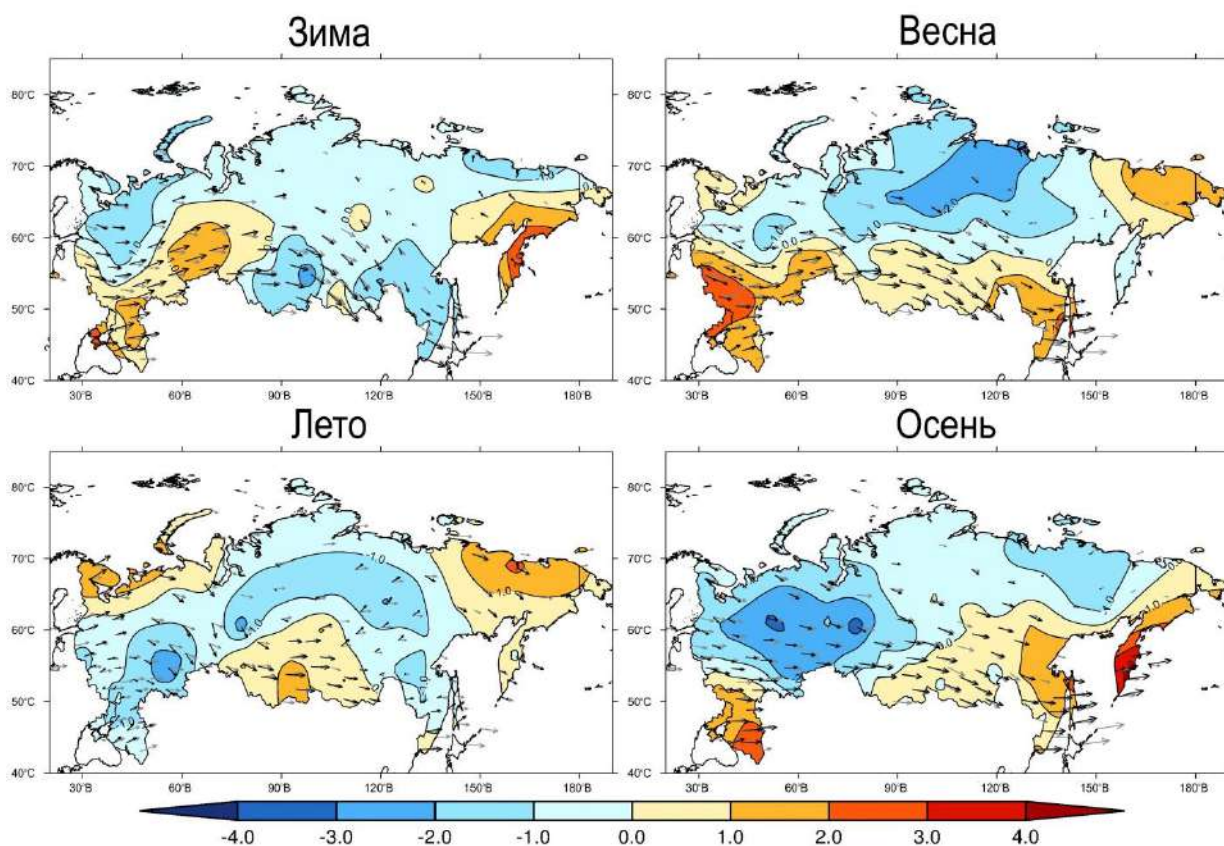


Рисунок 15.2 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2020-2022 гг., весна, лето и осень 2022 года) в тропосфере

Весной 2022 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра преобладали на широтах южнее 60°с.ш., а также на Чукотке, в Карелии и Мурманской области. На юго-востоке России они превышали 2 м/с. Наибольшие отрицательные аномалии, превышающие -2 м/с, наблюдались на северо-востоке Сибири. Практически аналогичная картина распределения аномалий наблюдалась в апреле. В мае положительные аномалии преобладали на Дальнем Востоке, юге ЕЧР и на северо-западе Сибири. В марте – на севере и в центре ЕЧР, юге Сибири и на Чукотке, а на севере Сибири наблюдались большие отрицательные аномалии, превышавшие – 4 м/с. Также в марте на западе ЕЧР наблюдалось северное направление ветра. В среднем за сезон направление ветра на западе ЕЧР было северо-западным из-за отрицательных аномалий меридионального ветра. Над остальной частью России направление ветра в среднем за сезон соответствовало климатическому.

Летом 2022 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра, превышающие 1 м/с, наблюдались на севере ЕЧР, юге Сибири и на северо-востоке Дальнего Востока. На юго-востоке ЕЧР отрицательные аномалии превышали -1 м/с по абсолютному значению. На протяжении всех летних месяцев над ЕЧР наблюдались значительные аномалии направления ветра. В июне из-за отрицательных аномалий меридионального ветра над большей частью ЕЧР преобладало северо-западное направление ветра. На северо-востоке ЕЧР наблюдались также большие отрицательные аномалии зонального ветра, из-за чего преобладало северное направление ветра. В июле в центре ЕЧР доминирующее направление ветра отсутствовало, а на западе преобладало юго-западное направление ветра из-за положительных аномалий меридионального ветра. Также южное направление ветра наблюдалось на востоке Сибири, а на северо-востоке Дальнего Востока – северо-западное. В августе существенное влияние на направление ветра над ЕЧР оказала антициклоническая активность. При этом в среднем за сезон значительное отклонение направление ветра над ЕЧР от климатического наблюдалось

только на востоке ЕЧР. Там было северо-западное направление ветра из-за отрицательных аномалий меридионального ветра. На востоке Сибири наблюдалось юго-западное направление ветра.

Осенью 2022 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались на Юге России, на юго-востоке Сибири и на Дальнем Востоке. На юге Камчатки они достигали 4 м/с. Над центральной частью ЕЧР наблюдались отрицательные скорости ветра, достигавшие -2 м/с. В октябре и ноябре над большей частью территории России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. В ноябре над Уральскими горами они достигали -4 м/с, а направление ветра в северной части ЕЧР из-за отрицательных аномалий зонального и меридионального ветра наблюдалось северное. В сентябре положительные аномалии скорости ветра наблюдались на юге ЕЧР и южнее 65°с.ш. АЧР. В центральной части ЕЧР наблюдалось юго-западное направление ветра. В среднем за сезон направление ветра над всей территорией России соответствовало климатическому.

На рисунках 15.3 и 15.4 показаны среднегодовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в нижней стратосфере. В целом за 2022 год над всей территорией России, за исключением отдельных станций на востоке Сибири, наблюдались положительные аномалии скорости ветра. На юге Сибири и на Дальнем Востоке они достигали 3 м/с. На западе Чукотского автономного округа они превышали 3 м/с. Направление ветра в среднем за год соответствовало климатическому.

Зимой 2022 года в нижней стратосфере практически над всей территорией России наблюдались большие положительные аномалии скорости ветра, превышающие 4,5 м/с. В районе Восточно-Сибирского моря и Ханты-Мансийского АО они превышали 6 м/с. Отдельные очаги отрицательных аномалий температуры наблюдались только на юге и востоке Сибири и на западе Юга России. Направление ветра над всей территорией России в среднем за сезон и в отдельные месяцы в целом соответствовало климатическому.

Весной 2022 года в нижней стратосфере практически над всей территорией России преобладали положительные аномалии скорости ветра. Наибольшие аномалии, превышавшие 6 м/с, наблюдались на юге АЧР и на севере Дальнего Востока. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на северо-западе Сибири и над Карским морем. Среднесезонное распределение аномалий скорости ветра практически полностью определяется распределением мартовских аномалий. При аналогичном географическом распределении средняя оценка положительных аномалий скорости ветра в марте составляет 10,5 м/с, а на юге АЧР и на севере Дальнего Востока аномалии превышают 14 м/с. В апреле на севере ЕЧР и на северо-западе Сибири также наблюдается область отрицательных аномалий скорости ветра. А на севере Дальнего Востока – область положительных аномалий скорости ветра, превышающих 7 м/с. В Приморском крае положительные аномалии достигали 14 м/с. В мае над всей территорией России аномалии скорости ветра были в диапазоне от -2 до 2 м/с, превышая эти значения только на отдельных станциях. Положительные аномалии при этом наблюдались на юге ЕЧР и на юго-западе Сибири. В среднем за сезон направление ветра соответствовало климатическому, только на северо-востоке Сибири из-за отрицательных аномалий зонального ветра ветер имел южное направление.

Летом 2022 года в нижней стратосфере аномалии скорости ветра не превышали 1,5 м/с по модулю. Только на отдельных станциях наблюдались положительные аномалии большие 1,5 м/с. Над АЧР преобладали положительные аномалии. Отрицательные наблюдались на северо-западе Сибири и в Иркутской области. Над ЕЧР положительные аномалии скорости ветра наблюдались на севере и на Юге России. Из-за отрицательных аномалий меридионального ветра на юго-востоке ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра, а на северо-востоке ЕЧР – северное направление.

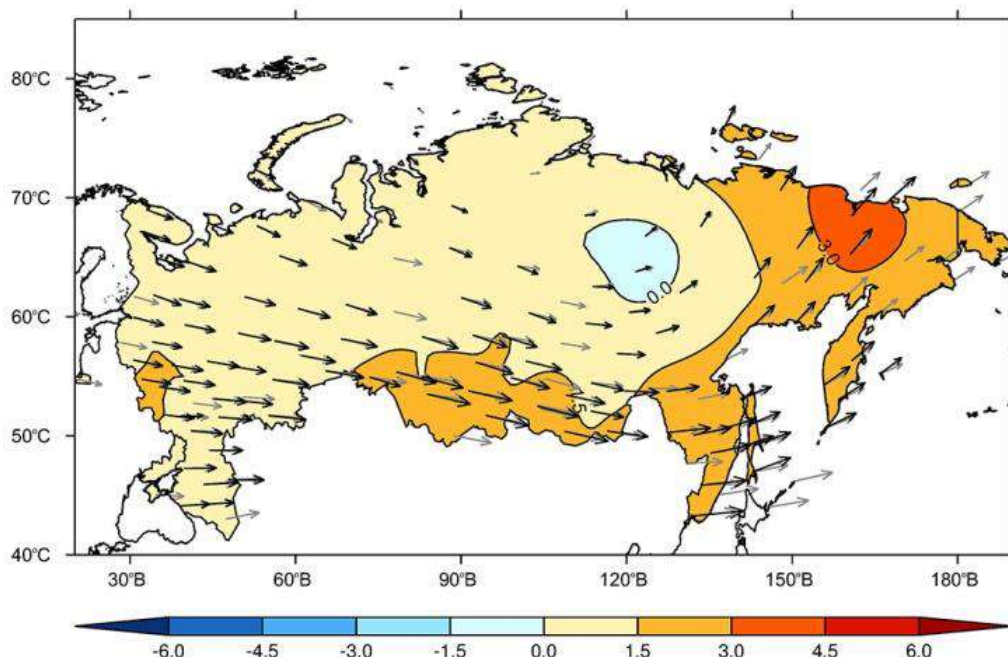


Рисунок 15.3 – Аномалии скорости ветра в 2022 г. в нижней стратосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2022 г., серые – за период 1985-2014 гг.

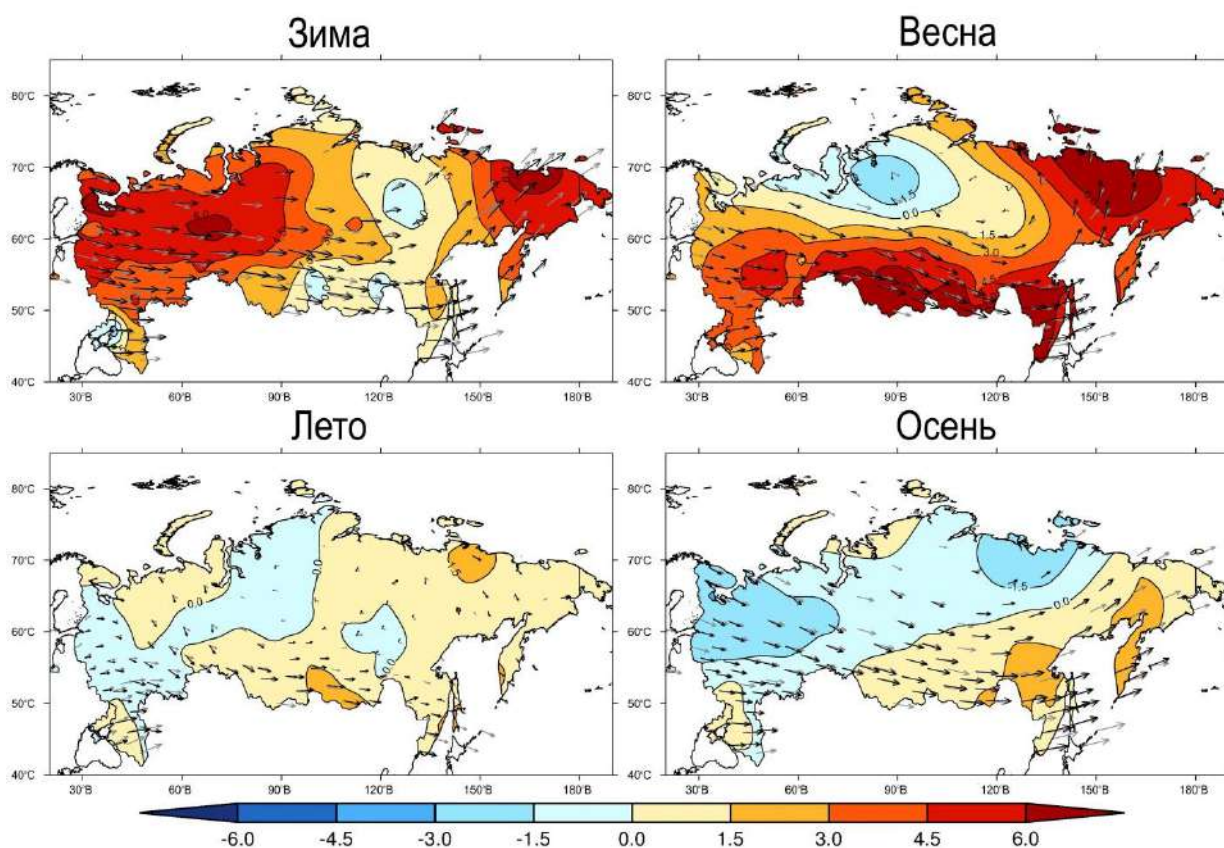


Рисунок 15.4 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2021/2022 гг., весна, лето и осень 2022 г.) в нижней стратосфере.

Осенью 2022 года в нижней стратосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались над Карским морем, на западе Юга России, на юге Сибири и на Дальнем Востоке. На Дальнем Востоке они превышали 1,5 м/с. Отрицательные аномалии на севере ЕЧР и над морем Лаптевых превышали -1,5 м/с по абсолютному значению. В сентябре над большей частью территории России преобладали положительные аномалии скорости ветра, превышающие 3 м/с на широтах южнее 55°с.ш. Отрицательные аномалии,

наблюдались на северо-западе ЕЧР и на северо-востоке Сибири. В октябре положительные аномалии скорости ветра, достигающие 2 м/с, наблюдались на западе ЕЧР, на юге Сибири и на Дальнем Востоке. На северо-востоке ЕЧР наблюдалась область больших отрицательных аномалий, превышавших -2 м/с по абсолютному значению. В ноябре положительные аномалии наблюдались на Дальнем Востоке и над Карским морем. Над ЕЧР отрицательные аномалии скорости ветра превышали -3,5 м/с, а в Ленинградской области они превышали -7 м/с. В среднем за сезон направление ветра соответствовало климатическому. Но в сентябре из-за положительных аномалий меридионального ветра направление ветра над ЕЧР было более южным чем обычно. А в ноябре из-за отрицательных аномалий меридионального ветра – северо-западным.

Таким образом, в 2022 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались над Камчаткой и Чукоткой. Наибольшие отрицательные (до -2 м/с) – над центром ЕЧР и на отдельных станциях в Сибири. Над Камчаткой большие положительные аномалии скорости ветра (до 4 м/с) наблюдались зимой и осенью. На юго-запад ЕЧР – во все сезоны, кроме летнего. Наибольшие отрицательные аномалии зимой наблюдались на юге Сибири, весной – на севере Сибири, а летом и осенью – над ЕЧР. Летом – над центральной и южной частью ЕЧР, осенью – над северной и центральной частью. Направление ветра в целом за год соответствовало климатическому. В отдельные сезоны наибольшее отклонение направления ветра от климатического наблюдалось над европейской частью России. Весной на западе и летом на востоке ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра из-за отрицательных аномалий меридионального ветра. А зимой из-за положительных аномалий меридионального ветра на востоке ЕЧР наблюдалось юго-западное направление ветра.

В нижней стратосфере в среднем за год над всей территорией России, за исключением отдельных станций на востоке Сибири, наблюдались положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 3 м/с на юге Сибири и на Дальнем Востоке. Зимой и весной большие положительные аномалии скорости ветра, достигающие 6 м/с, преобладали над большей частью территории России. Область отрицательных аномалий зимой находилась на востоке Сибири, а весной – на северо-западе Сибири. Летом и осенью над большей частью территории России аномалии скорости ветра не превышали 1,5 м/с по модулю. Осенью аномалии скорости ветра, превышающие по модулю это значение, наблюдались на севере ЕЧР и над морем Лаптевых (отрицательные), и на Дальнем Востоке (положительные). В среднем за год направление соответствовало климатическому. Весной на северо-востоке Сибири из-за отрицательных аномалий зонального ветра ветер имел южное направление. Летом из-за отрицательных аномалий меридионального ветра на юго-востоке ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра, а на северо-востоке ЕЧР – северное направление.

16. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Анализ изменчивости концентрации парниковых газов (ПГ) выполнен на основе результатов измерений в приземном слое атмосферы на пяти станциях. Три станции (Териберка, Тикси, Новый Порт) расположены в Арктической зоне РФ. Измерения на этих станциях, выполняются в соответствии с требованиями ВМО. Станции Териберка (Мурманское УГМС) и Новый Порт (Северное УГМС) курирует ФГБУ «ГГО», измерения на станции Тикси (Якутское УГМС) в настоящее время обеспечивает ФГБУ «ААНИИ» при методической поддержке ФГБУ «ГГО». 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. Характеристики станций приведены в таблице 16.1.

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 парниковым газам (WDCGG). Станции

Таблица 16.1 – 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	N ₂ O
				с 2015	OC CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, H ₂ O

Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ подвержены значительному влиянию региональных источников, которое было рассмотрено в Докладе об особенностях климата на территории РФ за 2019г.

Для сравнения полученных результатов привлечены данные станции Барроу (США), расположенной в Арктической зоне (71,32° с. ш., 156,6° з. д.), данные которой представлены в Мировом центре данных по парниковым газам (WDCGG).

Содержание и изменчивость CO₂ и CH₄ в северных широтах РФ

Результаты мониторинга парниковых газов на российских арктических станциях представлены на рисунке 16.1 (среднемесячные значений концентрации CO₂ и CH₄) в сравнении с данными станции Барроу и в таблице 16.2 – среднегодовые значения и межгодовой рост для станций Териберка и Тикси.

Увеличение концентрации как CO₂, так и CH₄ продолжается. Уровень концентрации CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2022 г. очередного максимума. Среднегодовое значение на фоновых станциях РФ превысило 422 млн⁻¹, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, приближаются к значению 430млн⁻¹. Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу.

По данным фоновых станций РФ в 2022 г. темпы роста концентрации CO₂ возрастают по сравнению с 2020 и 2021 г. Увеличение концентрации за 2022 г. составило 3,4-3,5 млн⁻¹, что существенно выше среднеглобальной скорости роста за предыдущие 10 лет и 2021 год, составившей, согласно бюллетеню ВМО по ПГ №18 от 26 октября 2022 г. 2,5 млн⁻¹/год.

Среднегодовая концентрация метана на российских Арктических станциях в 2022 г. достигла рекордных значений, приблизившись к 2020 млрд⁻¹. Тенденция повышенного роста CH₄ начала проявляться с 2019 г., в котором на станции Тикси регистрировались высокие значения концентрации в период максимума природной эмиссии (август-сентябрь). В 2020 г. значения CH₄ на этой станции оставались высокими до конца года и эта тенденция начала прослеживаться на станции Териберка. В 2022 г., зафиксировано сильное увеличение концентрации метана на станции Териберка (20 млрд⁻¹/год) и снижение прироста на станции Тикси, при этом уровень концентрации CH₄ на этих двух станциях сравнялся.

Тенденция возрастания скорости роста концентрации метана отмечается не только для станций Арктического побережья РФ, но и в глобальном масштабе. Согласно

Бюллетеню ВМО № 18 от 26 октября 2022 г. в 2020 и 2021 г. прирост концентрации метана за год (15 и 18 млрд⁻¹) явился рекордным для всего периода наблюдений с начала 80-х годов прошлого столетия. По данным станции Териберка (рисунок 16.2) увеличение среднемесячного значения концентрации для периода с апреля по август 2022 г. по сравнению с теми же месяцами 2021 г. превысило 30 млрд⁻¹, что также является рекордным для всего периода наблюдений на станции Териберка.

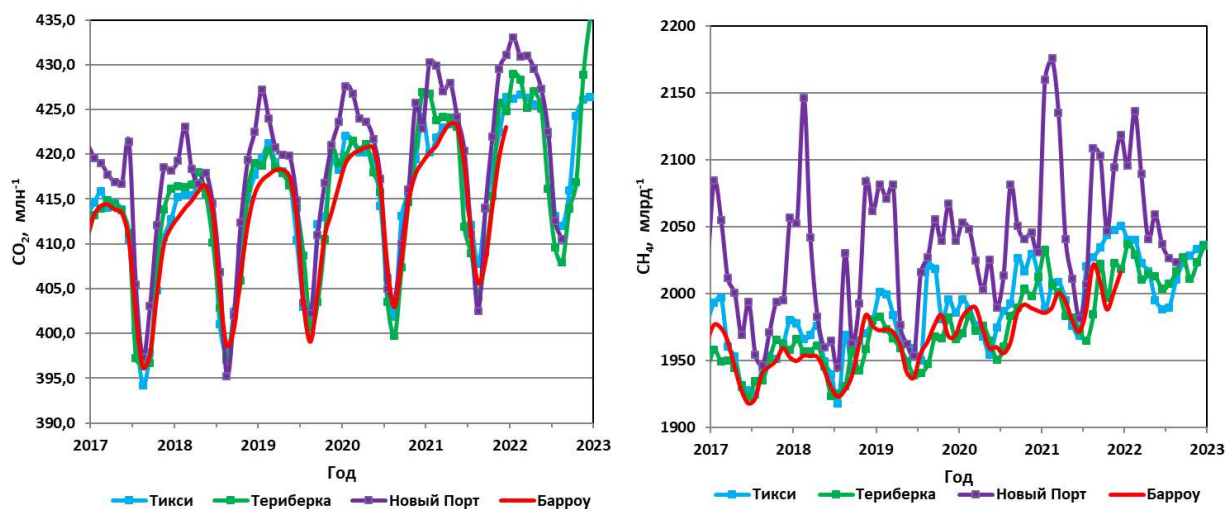


Рисунок 16.1 – Временной ход концентрации CO₂ и CH₄ на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу (НУОА, США)

Таблица 16.2 – Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации CH₄ и CO₂.

Год	Териберка				Тикси			
	CH ₄ , млрд ⁻¹	Δ CH ₄ , млрд ⁻¹	CO ₂ , млн ⁻¹	Δ CO ₂ , млн ⁻¹	CH ₄ , млрд ⁻¹	Δ CH ₄ , млрд ⁻¹	CO ₂ , млн ⁻¹	Δ CO ₂ , млн ⁻¹
2016	1946,7	22,3	405,7	3,4	1946,4	6,3	406,1	2,9
2017	1947,1	0,4	409,1	3,5	1956,7	10,3	408,7	2,6
2018	1950,4	3,3	411,4	2,2	1960,4	3,7	411,3	2,6
2019	1961,8	11,4	414,1	2,7	1983,7	23,3	414,3	3,0
2020	1980,4	18,6	415,8	1,8	1993,6	9,9	416,5	2,2
2021	1999,1	18,7	418,5	2,6	2014,1	20,5	419,1	2,6
2022*	2019,1	20,0	422,0	3,5	2018,7	4,6	422,5	3,4

* Данные 2022 г. могут быть уточнены за счет дополнения и отбраковки.

Поступление метана в атмосферу происходит как от антропогенных, так и природных источников, при этом возрастание природной эмиссии может быть вызвано потеплением климата. Какая из этих причин является ответственной за изменение темпов роста концентрации метана пока не установлено.

Долговременный тренд концентрации, определенный по десятилетнему ряду наблюдений на станциях Териберка и Тикси несколько выше, чем среднеглобальные значения, приведенные в бюллетене ВМО по ПГ №18 от 26 октября 2022 г. Они составляют 2,6 млн⁻¹ для CO₂ и 11,5-11,7 млрд⁻¹ для CH₄, в то время как среднеглобальные значения соответственно равны 2,5 млн⁻¹ и 9,2 млрд⁻¹.

Особенности сезонного хода концентрации CO₂ и CH₄ на станции Новый Порт связаны с влиянием региональных, как естественных, так и антропогенных источников. Станция является труднодоступной. В 2022 г., отсутствие наземного транспорта с октября по декабрь привело к тому, что ряд наблюдений не завершен. Данные на рисунке 16.1 представлены только по август 2022 г.

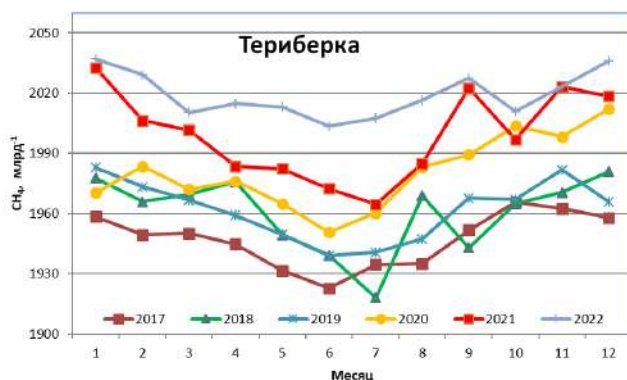


Рисунок 16.2 – Сезонный ход концентрации CH_4 на станции Териберка

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.

Концентрация углекислого газа, метана и закиси азота в приземном слое атмосферы.

Вариации средних годовых значений CO_2 , CH_4 с 1998 по 2022 гг. и N_2O с 2015 по 2022 гг. представлены на рисунке 16.3.

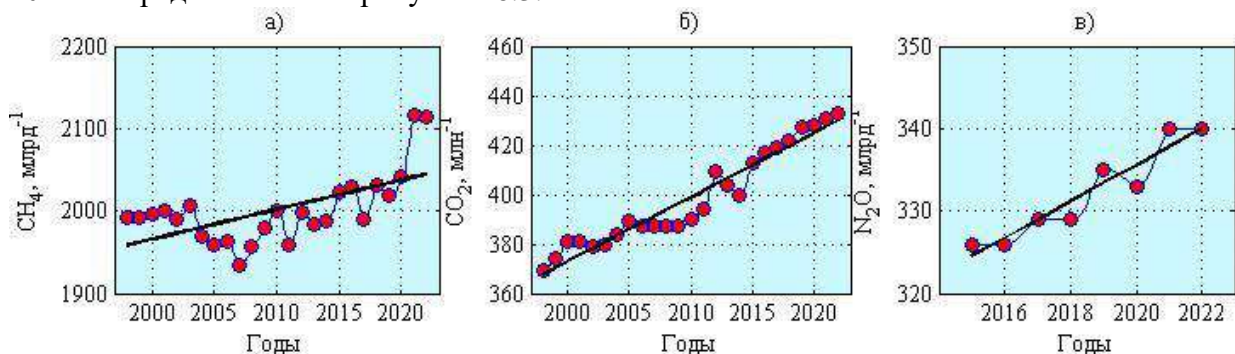


Рисунок 16.3 Динамика многолетней изменчивости средних годовых значений CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) в приземном слое атмосферы

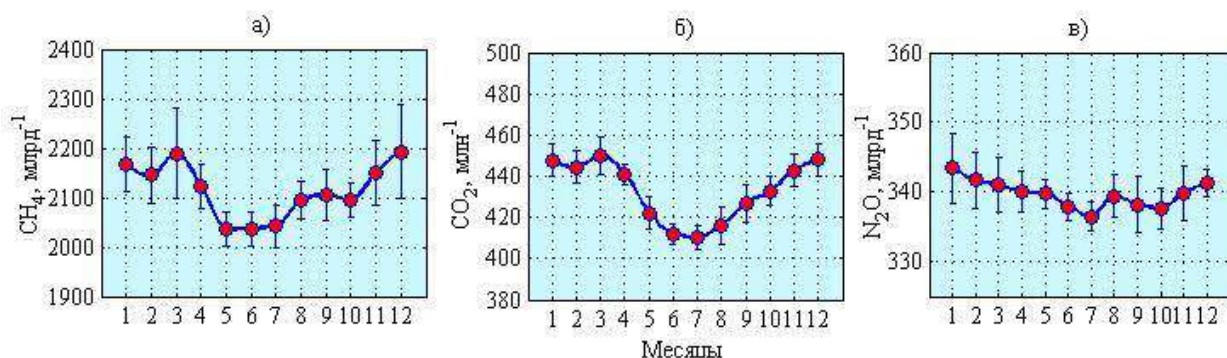


Рисунок 16.4 – Сезонный ход концентрации CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) в приземном слое атмосферы в 2022 году

За весь период наблюдений с 1998 г. по 2022 г. величина положительного линейного тренда среднегодовых концентраций CO_2 равна $2,6 \pm 0,6$ млн⁻¹ в год. Для CH_4 значение линейного тренда равно $3,6 \pm 1,2$ млрд⁻¹ в год для всего периода измерений и $9,3 \pm 2,7$

млрд⁻¹ в год для периода роста с 2007 г. Линейный тренд N₂O за период с 2015 по 2022 гг. составил $2,2 \pm 0,9$ млрд⁻¹ в год. По данным мирового центра данных по парниковым газам ВМО среднеглобальное значение тренда за последние 10 лет составляет $2,5$ млн⁻¹, $9,2$ млрд⁻¹ и $1,01$ млрд⁻¹ для CO₂, CH₄, и N₂O соответственно. Значения приведены в бюллетене ВМО по ПГ №18 от 26 октября 2022 г., где отмечается также рекордный глобальный рост CH₄ в 2020 г. и 2021 г.

Сезонный ход средних месячных концентраций CO₂, CH₄ и N₂O в 2022 г. (с оценкой среднеквадратичных отклонений результатов измерений) приведен на рисунке 16.4. По сравнению с 2021 г. среднегодовое значение CO₂ в 2022 г. увеличилась на 2 млн⁻¹, концентрации CH₄ и N₂O остались на прежнем уровне. Так же, как и в предыдущие годы, минимальные концентрации для всех парниковых газов наблюдались в летний, а максимальные – в зимний период.

Общее содержание углекислого газа, метана, закиси азота и водяного пара в толще атмосферы.

Вариации средних годовых значений, усредненных по всей толще атмосферы концентраций CO₂, CH₄ и N₂O за период с 2015 по 2022 гг., полученные с помощью комплекса МР-32/МГС, представлены на рисунке 16.5.

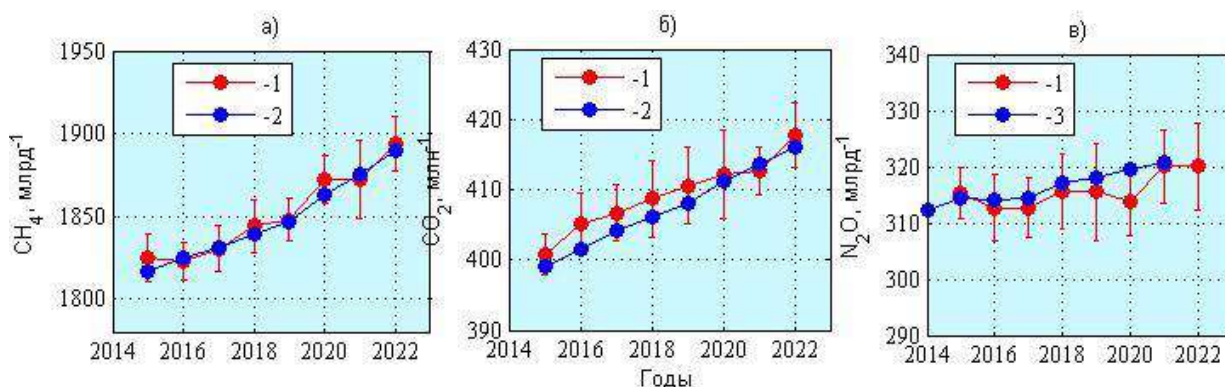


Рисунок 16.5 – Вариации средних годовых значений средней по высоте объемной концентрации CH₄ (а), CO₂ (б), N₂O (в). 1 – станция «Обнинск», 2 – спутниковые данные GOSAT, 3 – данные станции «Карлсруэ», подробнее смотри текст

За период с 2015 по 2022 гг. значимый положительный тренд среднегодовых значений средней по высоте объемной концентрации парниковых газов составил $10,2 \pm 3,7$ млрд⁻¹ в год, $2,1 \pm 0,7$ млн⁻¹ в год и $0,9 \pm 0,4$ млрд⁻¹ в год для метана, углекислого газа и закиси азота соответственно. На рисунке 16.5 приведены также результаты измерений средней по высоте объемной концентрации CO₂ и CH₄ 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 $5^\circ \times 5^\circ$ относительно расположения ст. «Обнинск». По данным GOSAT тренды метана и углекислого газа составляют $10,3 \pm 3,7$ млрд⁻¹ в год и $2,4 \pm 0,9$ млн⁻¹ в год и согласуются с данными наземных измерений. Для сопоставления результатов измерений N₂O использовались последние доступные данные (по декабрь 2021 г.) станции «Карлсруэ», Германия ($49,1^\circ$ с.ш., $8,44^\circ$ в.д.), входящей в сеть TCCON (Total Carbon Column Observing Network, <https://tcccon.org>). Тренд N₂O по данным ст. Карлсруэ равен $1,2 \pm 0,4$ млрд⁻¹ в год.

Средние сезонные разности концентраций в приземном слое и в толще атмосферы за период с 2015 по 2022 гг. приведены на рисунке 16.6.

Наибольшие превышения приземных концентраций CH₄ и CO₂ над концентрациями в толще атмосферы наблюдаются в зимний период. В летний период для углекислого газа концентрации примерно совпадают, а для метана и закиси азота характерной чертой сезонного хода является постоянное превышение приземных

концентраций над средними концентрациями в толще атмосферы.

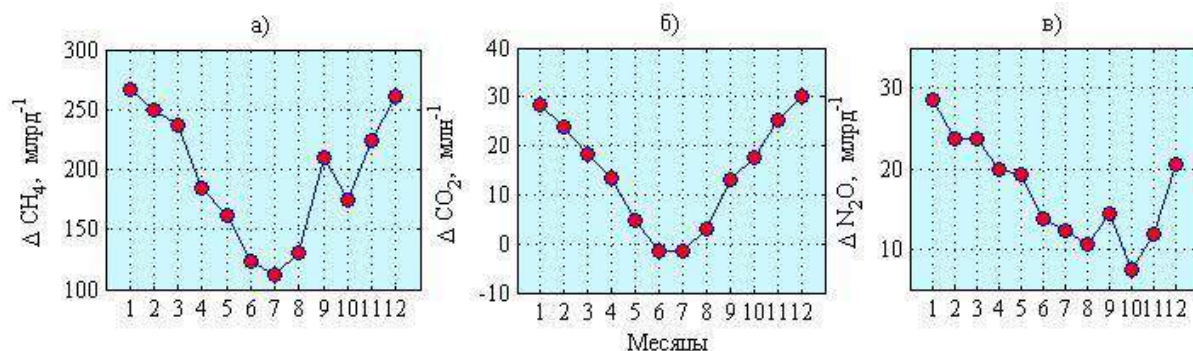


Рисунок 16.6 –Сезонный ход разности концентраций в приземном слое и в толще атмосферы за период с 2015 по 2022 гг. на станции «Обнинск»

Данные мониторинга содержания парниковых газов *в приземном слое атмосферы на станции в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике* свидетельствуют о продолжающемся росте концентраций парниковых газов. Среднегодовая концентрация диоксида углерода в 2022 году была равна 447,5 млн⁻¹. За всё время наблюдений с 2011 г. она увеличилась на 34,7 млн⁻¹, что соответствует средней годовой скорости роста концентрации равной 3,15 млн⁻¹/год.

Среднегодовая концентрация метана в приземном воздухе на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике составила 2036,9 млрд⁻¹. За весь период наблюдений с 2006 года она выросла на 120,6 млрд⁻¹, таким образом, средний годовой абсолютный прирост содержания метана в воздухе равен 7,5 млрд⁻¹ в год.

Изменения содержания диоксида углерода по результатам измерений, выполненных в течение 2022 года, представлены на рисунке 16.7. Среднемесячные концентрации диоксида углерода варьировали в интервале от 408,9 млн⁻¹ до 469,4 млн⁻¹. Минимальные в течение года концентрации диоксида углерода регистрируются в летний период, что является типичным для сезонной изменчивости CO₂, наблюдаемой в средних широтах Северного полушария.

В 2022 году среднемесячные концентрации метана изменялись в диапазоне от 1975,6 млрд⁻¹ до 2079,1 млрд⁻¹. Сезонный ход среднемесячных концентраций метана в 2022 году показан на рисунке 16.7. Наименьшие концентрации метана в приземном слое атмосферы наблюдаются в июне-июле, что, согласно данным станций наблюдений, расположенных в средних широтах Северного полушария, характерно для сезонных изменений содержания метана в воздухе.

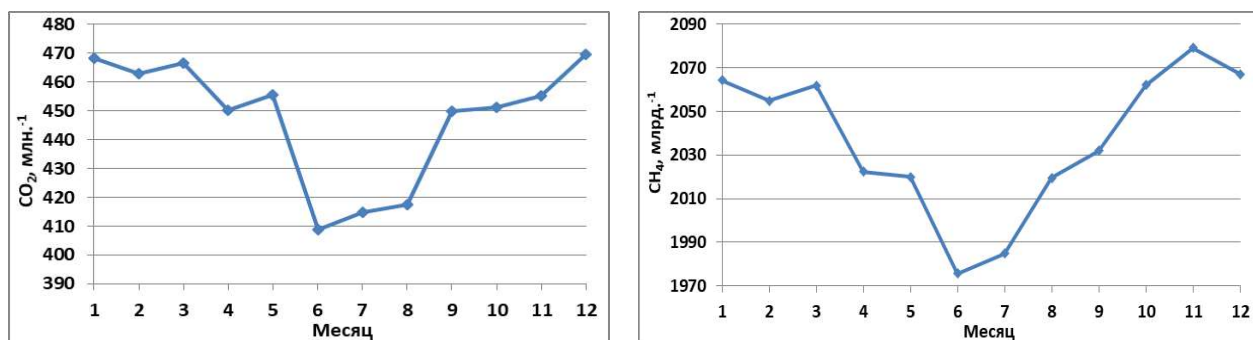


Рисунок 16.7 – Изменение среднемесячных концентраций CO₂ и CH₄ в приземном слое атмосферы на станции ПТБЗ в 2022 году

Заключение:

Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2022 г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ,

расположенных в фоновых условиях, превысило 422 млн⁻¹. Станции, подверженные влиянию региональных источников, также демонстрируют рост концентрации CO₂. В 2022 г. среднегодовые значения концентрации CO₂ составили 447,5 млн⁻¹ и 433 млн⁻¹ на станциях ПТБЗ и Обнинск соответственно.

По данным фоновых станций РФ в 2022 г. темпы роста концентрации CO₂ возрастают по сравнению с 2020 и 2021 г. Увеличение концентрации за 2022 г. составило 3,4-3,5 млн⁻¹, что существенно выше среднеглобальной скорости роста за предыдущие 10 лет и 2021 год, составившей, согласно бюллетеню ВМО по ПГ №18 от 26 октября 2022 г. 2,5 млн⁻¹/год.

Среднегодовая концентрация метана на российских Арктических станциях в 2022 г. приблизилась к 2020 млрд⁻¹, на станциях ПТБЗ и Обнинск она достигли значений 2036,9 млрд⁻¹ и 2115 млрд⁻¹ соответственно. В 2022 г. зафиксировано сильное увеличение концентрации метана на станции Териберка (20 млрд⁻¹/год). Тенденция возрастания скорости роста концентрации метана отмечается в глобальном масштабе. Согласно Бюллетеню ВМО № 18 от 26 октября 2022 г. в 2020 и 2021 г. прирост концентрации метана за год (15 и 18 млрд⁻¹) явился рекордным для всего периода наблюдений с начала 80-х годов прошлого столетия. По данным станции Териберка увеличение среднемесячного значения концентрации для периода с апреля по август 2022 г. по сравнению с теми же месяцами 2021 г. превысило 30 млрд⁻¹, что также является рекордным для всего периода наблюдений на станции Териберка.

17. 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 460 метеорологическим станциям России за 1976-2022 гг. 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.

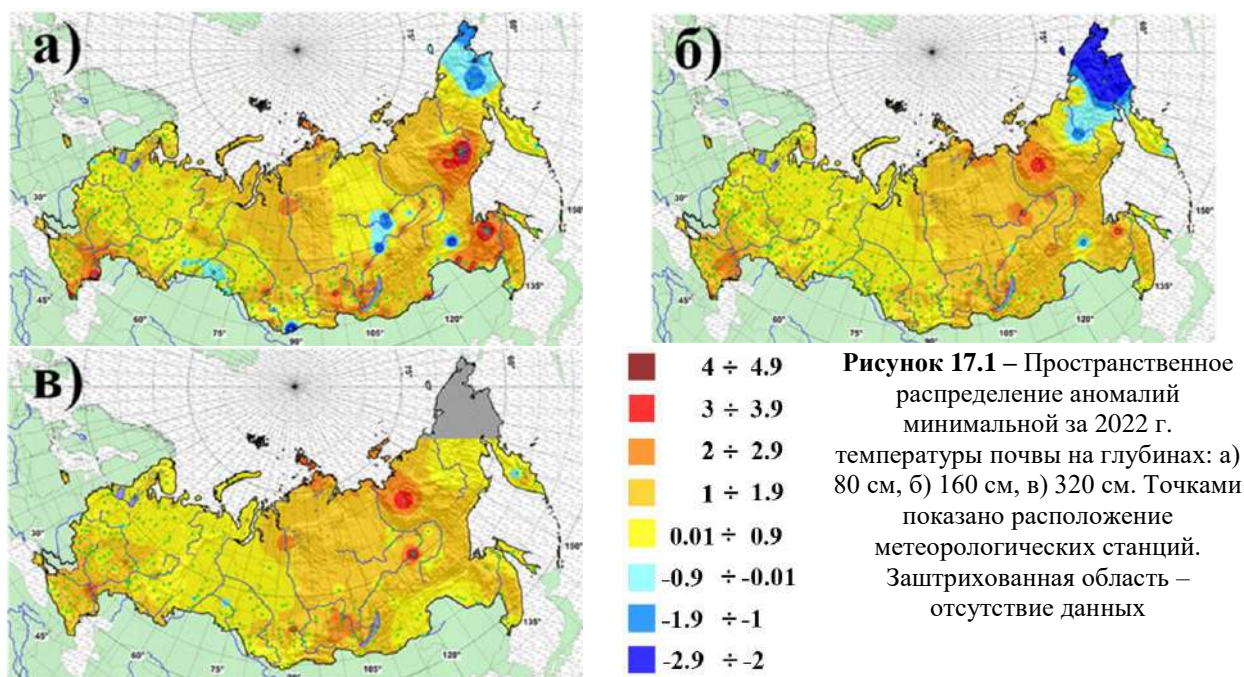
Особенности температурного режима почвы в 2022 г.

Пространственное распределение аномалий минимальной температуры почвы за 2022 г. (от нормы за период 1971-2000 гг.) на глубинах 80, 160, 320 см представлено на рисунке 17.1.

На глубине 80 см (рисунок 17.1а) на преобладающей части территории России аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют менее 1°C. На юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, в Средней и Восточной Сибири аномалии немного выше и достигают 2 – 3°C. Высокие значения аномалий наблюдаются на юге Восточной Сибири и Дальнего Востока и составляют 2 –

4°C. Исключением является северо-восточная часть Дальнего Востока, долины рек Вилюй и Лена с отрицательными аномалиями -1 – -2°C.

На глубине 160 см (рисунок 17.1б) аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют 1 – 2°C. Положительные аномалии 2 – 3°C наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, а также в Средней Сибири и на севере Восточной Сибири. Отрицательные аномалии -1 – -3°C наблюдаются в северо-восточной части Дальнего Востока.



На глубине 320 см (рисунок 17.1в) отток тепла в холодный сезон, также как приток тепла в теплый сезон, и межгодовые изменения температуры почвы ослаблены. На этой глубине преобладают слабые положительные аномалии минимальной за год температуры почвы и составляют менее 1°C. В Средней Сибири и на севере Восточной Сибири аномалии составляют 1 – 2°C достигая в долинах рек Яна и Лена 3°C и более.

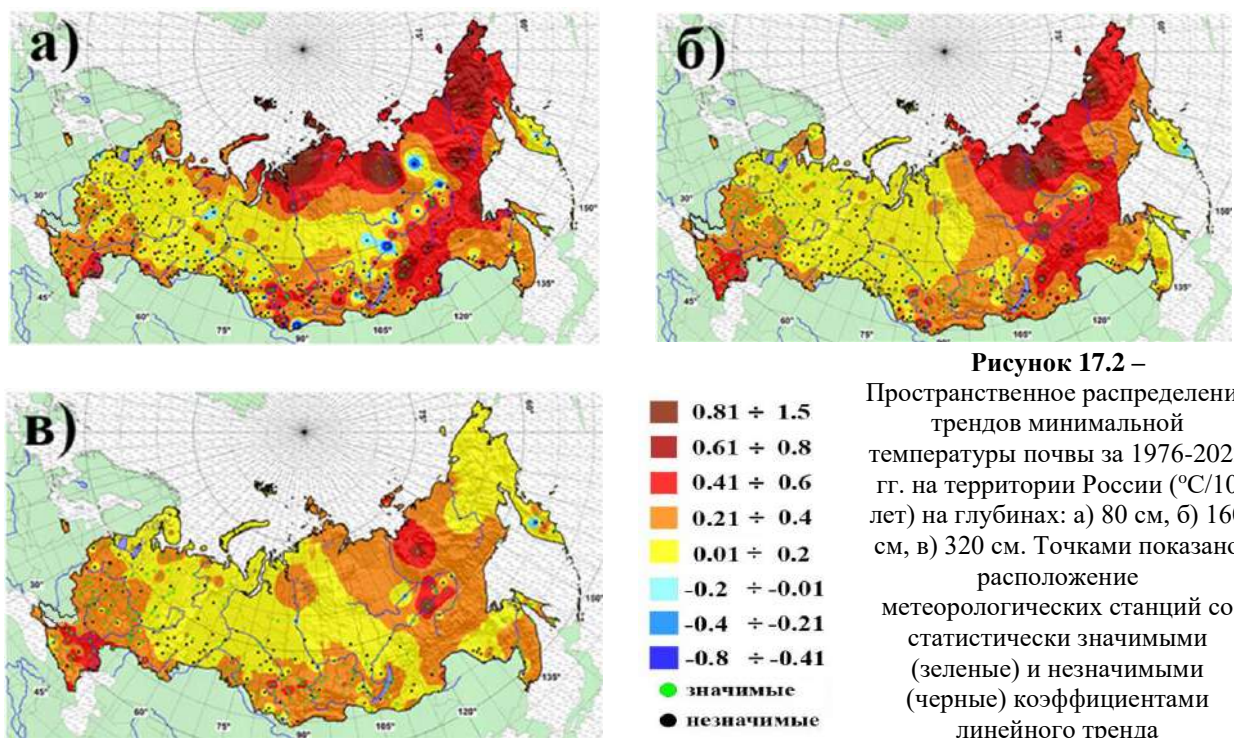
Из сопоставления трех карт (рисунок 17.1) можно сделать вывод, что с увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвы. На большей части территории России во всем слое до 320 см преобладают положительные аномалии менее 2°C. Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Восточной Сибири.

Тенденции изменений температуры почвы

Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвы на глубинах до 320 см показано на рисунке 17.2.

На глубине 80 см (рисунок 17.2а) тренды минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные на большей части территории России. Повышенные значения трендов 0,4 – 0,8°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°C/10 лет. Исключением являются долины рек Яна и Алдан, а также Вилюй и Лена с отрицательными, но незначительными трендами около -0,4°C/10 лет. На юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе потепление составило 0,2 – 0,4°C/10 лет, на остальной части Восточно-Европейской равнины и в Западной Сибири преобладают слабые положительные тренды.

На глубине 160 см (рисунок 17.2б) 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 (с вероятностью 95%) потепление ($0,2 - 0,4^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдается на юге Восточно-Европейской равнины и в Средней Сибири. На Кавказе потепление достигает $0,4 - 0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет. На остальной части Восточно-Европейской равнины и в Западной Сибири слабые положительные тренды. Отрицательные тренды не наблюдаются.



На глубине 320 см (рисунок 17.2в), тренды положительные на всей территории России, повышенные значения ($>0,4^{\circ}\text{C}/10$ лет) встречаются на Кавказе и в северной половине Восточной Сибири. Статистически достоверные (с вероятностью 95%) тренды $>0,2^{\circ}\text{C}/10$ лет наблюдаются в южной половине Восточно-Европейской равнины, на юге Западной и Средней Сибири, а также в Восточной Сибири.

Из сопоставления трех карт (рисунок 17.2) можно сделать вывод, что в 1976-2022 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, проникающее до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири, в устьях рек Лена и Яна.

18. 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 OMI (США). Обобщены основные данные наблюдений общего содержания озона (ОСО) за 2022 год. Более подробная информация о поведении ОСО над территорией Российской Федерации и прилегающими территориями ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология».

В течение 2022 года отдельные существенные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в феврале, марте (рисунок 18.1), апреле и июле.

В **феврале-апреле** среднемесячные значения общего содержания озона (ОСО) над большей частью территории РФ были ниже средних многолетних значений. Аномальный дефицит среднемесячных значений ОСО зарегистрирован на севере АЧР: в феврале на станциях Тикси, Оленек, Якутск и Тура, в марте также о. Хейса, Туруханск, Витим, Красноярск, Иркутск, Ханты-Мансийск; дефицит на этих станциях составил 17-30%, или 2,6-5,1 стандартного отклонения. В марте превышение ОСО нормы отмечено на единственной станции Феодосия (4%, менее 1 стандартного отклонения).

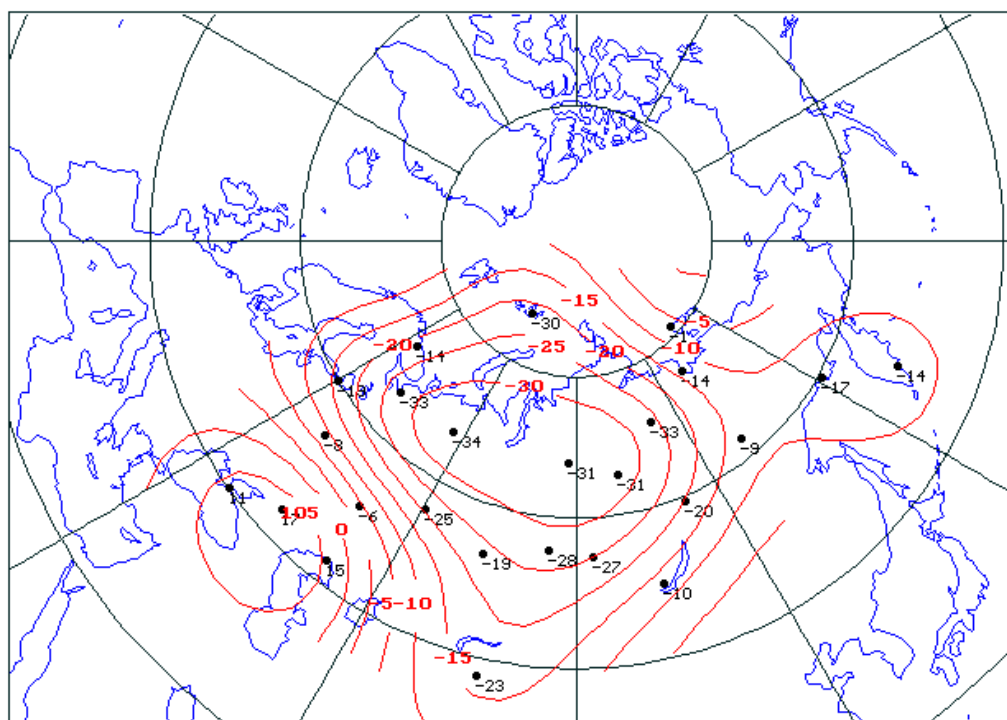


Рисунок 18.1 – Отклонения ежедневных значений ОСО в % от нормы 17 марта

С 27 февраля по 20 марта (рисунок 18.1) и с 24 по 28 марта пониженные на 23-44% среднесуточные значения ОСО над Эвенкией, Якутией, Красноярским краем и Иркутской областью (247-366 ед. Д.).

В **апреле** над Иркутской областью, Якутией и Красноярским краем среднемесячные значения ОСО были ниже норм на 8-14%. Со 2 по 6 апреля пониженные на 24-34% среднесуточные значения ОСО над югом Красноярского края и Иркутской областью (280-324 ед. Д.). Максимальное превышение нормы отмечалось в Мурманске; оно составило 5%.

В остальные месяцы значения ОСО были в основном близки к средним многолетним значениям.

В **январе** (рисунок 18.2) максимальный дефицит среднемесячных значений ОСО зарегистрирован на станции Печора; он составил 19% или 2,48 единиц стандартного отклонения. Максимальное превышение нормы отмечалось в Москве; оно составило 14% или 2,3 единиц стандартного отклонения. Над центральными и южными регионами Европейской части территории России превышение среднемесячных значений ОСО составляло 5-14% (376-393 ед. Д.). Над севером Урала и Сибири дефицит среднемесячных значений составлял 7-19% (292-395 ед. Д.).

В **мае** аномальный дефицит среднемесячных значений ОСО зарегистрирован в Красноярске; он составил 11% или 2,9 стандартного отклонения. Максимальное превышение нормы отмечалось в Москве; оно составило 9% или 2,1 единиц стандартного отклонения. С 3 по 6 **июля** повышенные на 18-22% среднесуточные значения ОСО над

юго-восточными районами Европейской части территории России, Южным Уралом и западными районами Казахстана (372-385 ед. Д.). В целом июльские значения ОСО были близки к норме. В *августе* максимальный дефицит среднемесячных значений ОСО зарегистрирован в Архангельске; он составил 8% или 2,1 единиц стандартного отклонения. Максимальное превышение нормы отмечалось на севере АЧР на станциях Якутск и Оленек; оно составило 6% или 1,7 и 1,8 стандартного отклонения соответственно. В *сентябре* над центральными и южными районами Европейской части территории России и Якутией наблюдались повышенные на 5-12% среднемесячные значения ОСО. Аномальное превышение нормы в процентах отмечалось на станциях Москва и Самара; оно составило 12% или 3,0 и 3,3 стандартного отклонения соответственно. В *октябре* максимальный дефицит среднемесячных значений ОСО зарегистрирован на станции Тура; он составил 10% или 2,0 стандартного отклонения. Максимальное превышение нормы отмечалось на станции Самара; оно составило 9% или 2,2 стандартного отклонения. В *ноябре* над центральной частью Европейской территории России и Центральной Сибирью превышение достигало 9-15%. Дефицит среднемесячных значений ОСО зарегистрирован только на станции Якутск; он составил 2% или 0,4 стандартного отклонения. Аномальное превышение нормы отмечалось на станциях Самара и Томск; оно составило 13 и 15% или 2,7 и 2,5 стандартного отклонения соответственно.

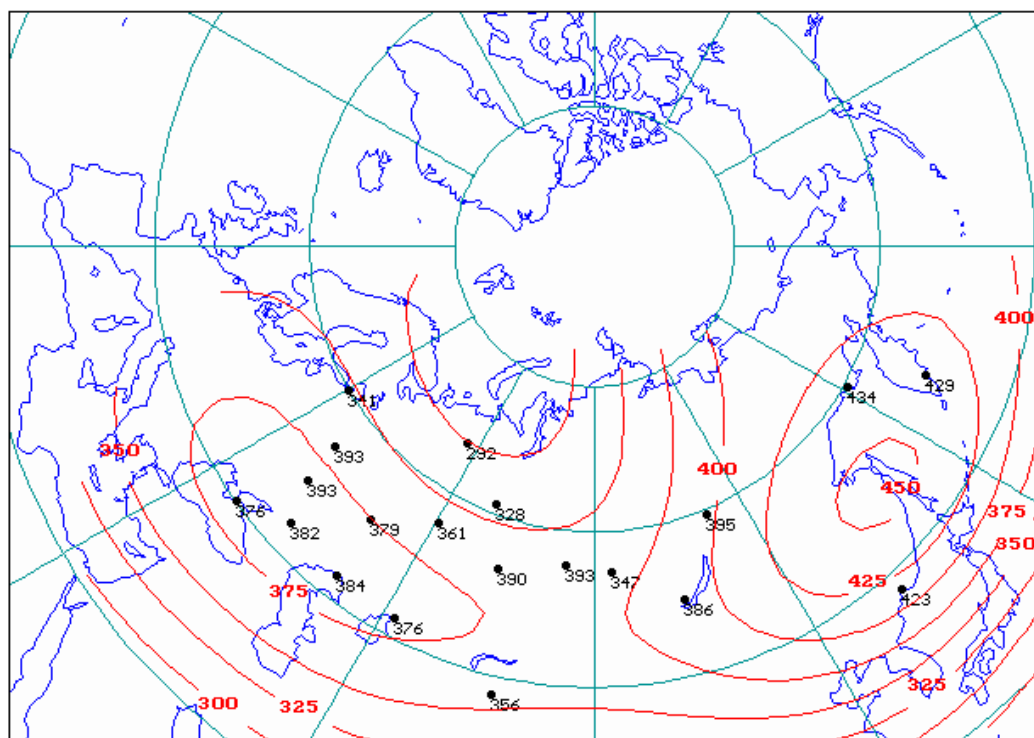


Рисунок 18.2 – Значения ОСО в январе 2022 г. (ед.Д)

19. СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ

Стратосферный сернокислотный аэрозоль относится к числу важных климатообразующих факторов. Его постоянное присутствие в атмосфере обеспечивает небольшой отрицательный радиационный форсинг, который значительно возрастает после крупных вулканических извержений. В области тропопаузы образуются перистые облака. Их влияние на радиационные характеристики имеет более сложный характер и зависит как от оптической толщины, так и от размеров и формы частиц.

В разделе использованы результаты измерений стратосферного аэрозоля и перистой облачности верхнего яруса (выше 8 км) на лидарных станциях Росгидромета. Регулярные лидарные наблюдения проводятся в Обнинске с 2012 г. На других станциях выполнены серии наблюдений различной длительности. Измерения стратосферного аэрозоля проводятся в ночное время при отсутствии плотной облачности с помощью лидара АК-3 разработки НПО «Тайфун». Ниже представлены данные об изменчивости параметров аэрозоля по измерениям на длине волны 532 нм. Непосредственно измеряемой величиной является коэффициент обратного аэрозольного рассеяния [$\text{км}^{-1}\text{ср}^{-1}$]. Интегральная по высоте величина коэффициента обратного аэрозольного рассеяния (ИКОР) служит мерой аэрозольного наполнения стратосферы. Обычно рассматривается интервал высот от 15 до 30 км, который на всех широтах относится к стратосфере. Кроме того, представлены данные для расширенного интервала высот от 10 до 30 км. С учетом средней высоты термической тропопаузы 11,1 км в зоне измерений этот интервал захватывает также аэрозоль, содержащийся в области, непосредственно прилегающей к тропопаузе.

На рисунке 19.1 показано временное изменение ИКОР в слое от 15 до 30 км, полученное на трех лидарных станциях, расположенных в Обнинске (55,1° с.ш., 36,6° в.д.), Знаменске (48,6° с.ш., 45,7° в.д.) и Новосибирске (55,0° с.ш., 82,9° в.д.). Точки представляют отдельные измерения. Период с 2012 по 2018 гг. можно отнести к фоновому вулканическому периоду. В 2019 г. произошло извержение среднеширотного вулкана Райкоке (Курильские о-ва, 48,3° с.ш., 153,2° в.д.) аэрозоль которого первоначально был сосредоточен на высотах от 23 до 18 км и был зарегистрирован на всех трех лидарных станциях. В период с 2020 по 2022 гг. произошло некоторое увеличение аэрозольного наполнения слоя 15-30 км.

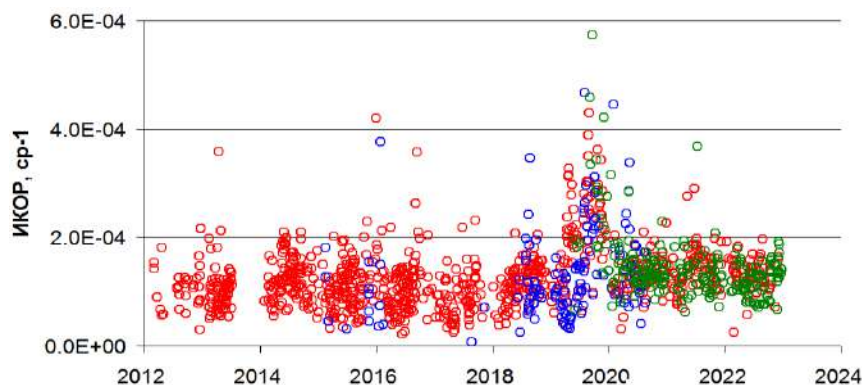


Рисунок 19.1 – ИКОР в слое от 15 до 30 км на лидарных станциях Обнинска, Новосибирска и Знаменска (красные, синие и зеленые кружки)

Основным климатообразующим фактором стратосферного аэрозоля является его оптическая толщина. Она оценивалась по измерениям ИКОР с использованием разработанной в НПО «Тайфун» оптической модели стратосферного аэрозоля. На рисунке 19.2 показан временной ход среднегодовых величин оптической толщины аэрозоля τ для двух слоев стратосферы – 10-30 км и 15-30 км. Для слоя 10-30 км исключены случаи появления перистых облаков, которые рассмотрены ниже отдельно. В расширенном диапазоне высот 10-30 км оптическая толщина аэрозоля в 2-3 раза выше, чем в слое 15-30 км. Это показывает, что значительная доля

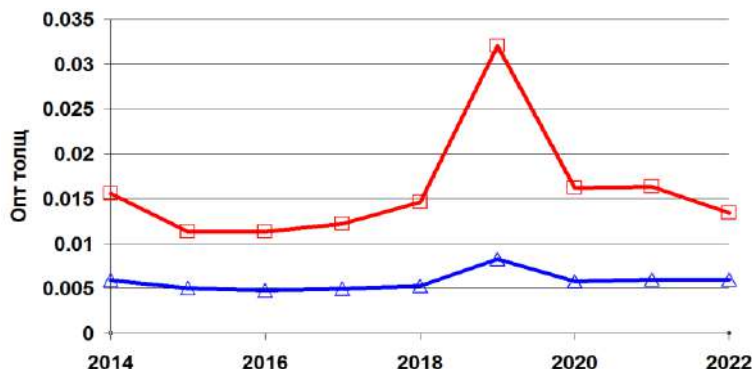


Рисунок 19.2 – Временной ход среднегодовых значений оптической толщины в стратосферных слоях 10-30 км (квадраты) и 15-30 км (треугольники)

стратосферного аэрозоля содержится в нижней стратосфере. Для стратосферного аэрозоля можно считать, что величина радиационного форсинга $[Вт/м^2]$ пропорциональна оптической толщине τ с коэффициентом -28 , что в среднем за указанный период дает $-0,16 Вт/м^2$ и $-0,44 Вт/м^2$ для слоев 15-30 км и 10-30 км.

На рисунке 19.3 представлен сезонный ход ИКОР в двух слоях стратосферы – 13-23 км и 23-30 км по данным измерений за 2014-2018 гг. В слое 13-23 км заметен короткий зимний максимум и продолжительный подъем во II полугодии с выделенным сентябрьским максимумом. Подъем во II полугодии можно связать с аэрозолем природных пожаров (АПП), происходивших, в первую очередь, в Северной Америке.

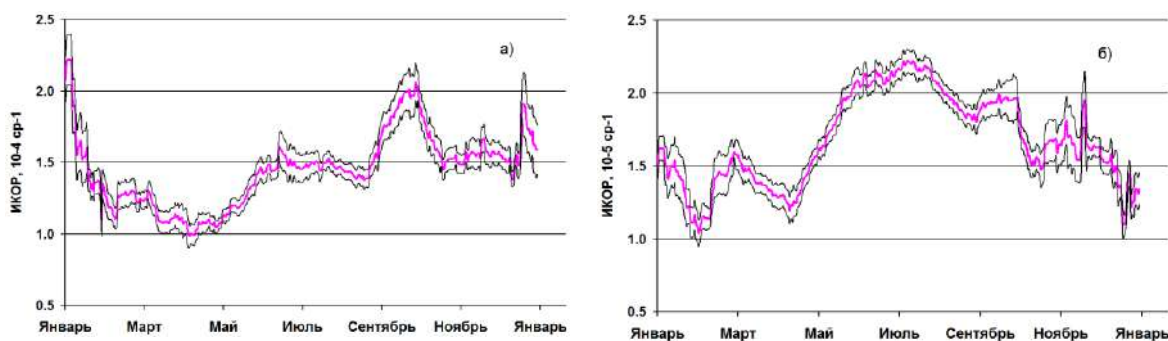


Рисунок 19.3 – Сезонный ход ИКОР в слоях стратосферы 13-23 км (а) и 23-30 км (б) за период с 2014 по 2018 гг. Черные линии показывают среднеквадратическое отклонение

Дополнительным подтверждением увеличения влияния АПП во II полугодии является рост средней степени деполяризации обратного рассеяния летом и осенью (0,020, 0,028, и 0,049 для весны, лета и осени). Определенный вклад в указанное увеличение может давать и аэрозоль, образовавшийся под влиянием летнего азиатского муссона в нижней стратосфере и перенесенный затем в средние широты.

В средней стратосфере 23-30 км максимум аэрозольного содержания наблюдается в летнее время, что говорит об активизации фотохимических процессов образования аэрозоля под влиянием усиливающейся солнечной инсоляции. Отмечается также небольшой сентябрьский пик, что говорит о поднятии некоторого количества АПП в результате конвективных, либо фотофоретических процессов.

На рисунке 19.4 представлено отклонение ИКОР в 2022 г. от сезонного хода. В среднем отклонение ИКОР имеет положительный знак и постепенно уменьшается в течение года. Частично такой ход ИКОР можно связать с влиянием извержения подводного вулкана Хунга-Тонга ($-20,6^{\circ}S$, $-175,4^{\circ}W$) в январе 2022 г. В результате извержения Хунга-Тонга в стратосферу было выброшено около 140 Мт водяного пара, что

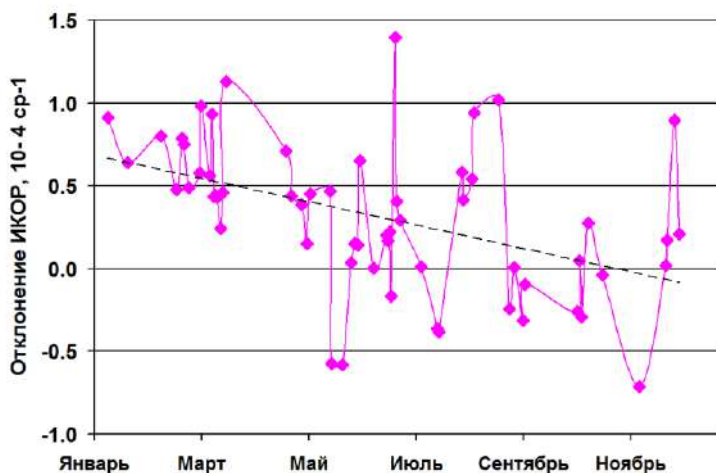


Рисунок 19.4 – Отклонение ИКОР в слое 13-23 км от сезонного хода в 2022 г. Штриховая линия показывает линейный тренд

составляет примерно 10% общего содержания водяного пара в стратосфере.

Максимальная высота аэрозольного выброса по данным спутникового лидара CALIOP составила 35-40 км. Согласно данным спутниковых измерений OMPS-LP через 2,5 месяца после извержения аэрозоль Хунга-Тонга появился в средних и высоких широтах северного полушария на высотах $\sim (20 \div 24$ км) и $\sim (10 \div 15$ км).

Измерения на лидарных станциях Росгидромета

подтверждают эти данные – в апреле, мае и октябре наблюдались аэрозольные слои повышенного обратного рассеяния на высотах от 20 до 24 км с отношением обратного рассеяния R (532) от 1,2 до 1,4. Влияние извержения Хунга-Тунга проявилось также в увеличении средней оптической толщины аэрозоля τ в весенний период. В марте 2022 г. величина τ_{15-30} в слое 15-30 км составила $6,5 \cdot 10^{-3}$, что примерно на 40% превышает средний уровень за 2014-2021 гг.

На рисунке 19.5 представлен временной ход среднегодовых значений оптической толщины перистых облаков и вероятности их появления в интервале высот от 8 до 12 км по данным лидарных измерений. С 2014 года наблюдался спад оптической толщины перистых облаков и вариативное поведение вероятности. В 2022 г. вероятность появления

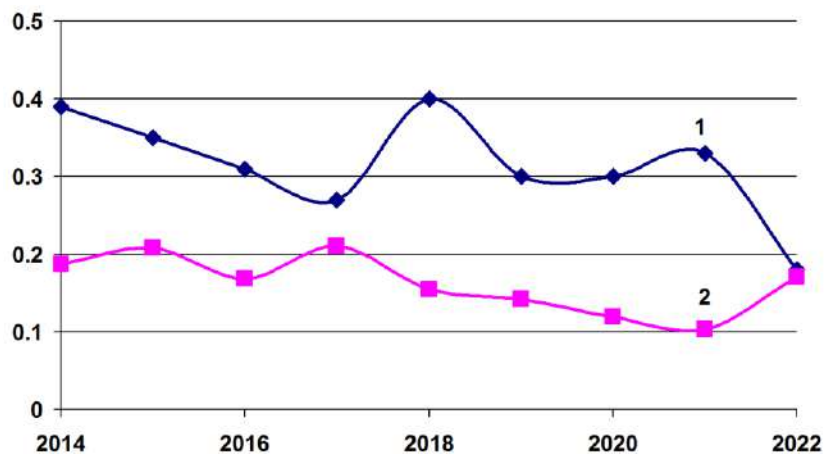


Рисунок 19.5 – Вероятность появления (1) и средняя оптическая толщина (2) перистых облаков

перистых облаков упала до уровня 0,18, что значительно ниже, чем средняя с 2012 по 2020 гг. вероятность 0,33. В то же время средняя оптическая толщина облаков возросла. Вероятным объяснением является влияние вулканического извержения Хунга-Тунга, однако конкретные физические механизмы этого влияния неясны.

ВЫВОДЫ

- 2022 год в России был в целом тёплым. Среднегодовая аномалия (отклонение от среднего за 1991-2020 гг.) температуры воздуха в среднем по РФ составила $+0,87^\circ\text{C}$ – пятая величина с 1936 года. Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны (кроме Саян). 95%-е экстремумы отмечены на севере ЕЧР, Западной и Средней Сибири, в Хабаровском крае, на Сахалине, на Камчатке, а также на юге ЕЧР. Во всех физико-географических регионах и федеративных округах средняя температура была не ниже седьмой в ряду с 1936 года; исключение: регион Прибайкалье и Забайкалье – ранг 15.

Наиболее теплые условия сложились *летом*. Осредненные по РФ в целом и по ЕЧР аномалии температуры составили $+0,77^\circ\text{C}$ и $+1,69^\circ\text{C}$ – третьи величины в соответствующих рядах. Очень тепло в центре и на севере ЕЧР и на севере Западной Сибири, в предгорьях Кавказа; а также в южной половине дальневосточного региона. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в центральных и южных районах СФО, в районе Байкала, на Чукотке. Из месяцев выделяются июль в АЧР: $+0,73^\circ\text{C}$ – вторая в ряду и август в ЕЧР: $+3,50^\circ\text{C}$ – рекордная величина.

Зимой 2021/22 гг. средняя по России аномалия составила $+1,40^\circ\text{C}$ (ранг 9). На большей части страны температуры были выше климатической нормы. Очень тепло на юге ЕЧР: в ЮФО: $+2,96^\circ\text{C}$, в СКФО: $+2,48^\circ\text{C}$ – обе величины вторые в ряду. Тепло на юге Западной Сибири и Средней Сибири, на Сахалине, на Камчатке. Температуры ниже климатической нормы наблюдались местами в дальневосточном регионе. Из месяцев выделяется февраль в ЕЧР: $+5,23^\circ\text{C}$ – ранг 5 и в УФО $+6,86^\circ\text{C}$ – ранг 5.

Весной средняя по РФ аномалия составила $+0,59^\circ\text{C}$ – во втором десятке. На большей части АЧР температуры были выше климатической нормы; очень тепло в Восточной Сибири: $+1,68^\circ\text{C}$ – ранг 4, на юге СФО, в Приморье, на Сахалине. Температуры

ниже климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР: в целом по региону аномалия $-0,84^{\circ}\text{C}$ – так холодно весной в текущем веке было лишь в 2005 г., в отдельных районах ДФО. Из месяцев выделяется контрастный май: на АЧР аномально тепло $+1,62^{\circ}\text{C}$, ранг 2; а на ЕЧР холодно: $-2,08^{\circ}\text{C}$ — среди 20 самых холодных, особенно, в ЦФО: $-3,18^{\circ}\text{C}$ – минимальная величина с начала столетия.

Осенью средняя по РФ аномалия составила $+0,35^{\circ}\text{C}$ — в середине второго десятка в ряду. На большей части страны аномалии по модулю не превышали 1°C . Аномалии ниже -1°C наблюдались на северо-востоке страны.

На всех станциях Северного Кавказа наблюдались положительные аномалии сезонных и годовых средних температур, за исключением весеннего сезона в Терсколе (отрицательная аномалия более одного стандартного отклонения) и Теберде (отрицательная аномалия в пределах одного стандартного отклонения).

- Современное потепление, начавшееся в 70-е годы прошлого столетия, продолжается на всей территории России в целом за год и во все сезоны. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за период 1976-2022 гг. составила $0.49^{\circ}\text{C} / 10$ лет (вклад в общую изменчивость 56%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной ($0.64^{\circ}\text{C} / 10$ лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ($0.40^{\circ}\text{C} / 10$ лет: описывает 68% суммарной дисперсии).

Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой все еще наблюдается небольшая область убывания температуры. 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 и сезонные значимы на 5%-ном уровне, кроме зимнего, весеннего и осеннего трендов в Терсколе. Наиболее высокие темпы роста средних температур наблюдаются летом и зимой.

- В СПО начало современного потепления приходится на 1990-е годы. Зимой, после максимума 2016-2018 гг. наметилось понижение температуры, а летом – остановка роста. В морской Арктике ПТВ начала повышаться во второй половине 1990-х годов (зимой с 1998г., а летом с 1996 года). На акватории арктических морей, по которым проходит СМП наблюдается большая межгодовая изменчивость ПТВ, но отмечаются те же особенности, что и во всей морской Арктике.

Потепление в Арктике сопровождается сокращением площади морского льда во все месяцы, кроме отдельных незначимых близких к нулю трендов в арктических морях с февраля по апрель. Наиболее заметно потеплело в 2010-е годы на акватории Сибирских арктических морей (Карское – Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь. Максимальные по абсолютной величине тренды приходятся на октябрь. Зимой сокращение ледовитости меньше, чем летом.

Площадь, занятая морским льдом на акватории российских морей в конце летнего сезона, в сентябре, за десять лет с середины 1990-х к середине 2000-х годов уменьшилась в несколько раз – с более 1200 до ~200 тыс. кв. км. В последующие годы площадь льда колебалась в основном ниже этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. кв. км в 2016 году, превысившим предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. кв. км). С ноября по июнь моря покрываются сплоченными льдами, концентрация и толщина которых достигает максимума в апреле.

- Температурных рекордов в тропосфере Северного полушария в 2022 году не наблюдалось. Тем не менее, в низких и умеренных широтах для тропосферы три сезона из четырех вошли в десятку самых теплых лет с 1958 года. В высоких широтах лето 2022 года стало третьим в ряду самых теплых лет с аномалией температуры $+0,98^{\circ}\text{C}$. В целом по Северному полушарию 2022 год стал шестым в ряду самых теплых для тропосферы лет с аномалией температуры $+0,52^{\circ}\text{C}$. Таким образом, 2015-2022 гг. являются восемью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария.

В нижней стратосфере зимой в низких и умеренных широтах наблюдались близкие к нулевым аномалиям температуры, а высоких широтах – рекордно низкая аномалия температуры со значением $-3,69^{\circ}\text{C}$. Предыдущий рекорд ($-3,41^{\circ}\text{C}$) наблюдался в 1996 году. Зимняя аномалия температуры в нижней стратосфере высоких широт 2022 года повлияла на то, что соответствующая годовая аномалия стала третьей. Помимо этого, в умеренных широтах осенью наблюдалась аномалия температуры, равная $-0,66^{\circ}\text{C}$, что является восьмым местом в ряду самых холодных лет. В низких широтах весной и летом аномалия температуры была равна $-1,05^{\circ}\text{C}$, что стало девятым местом в ряду самых холодных лет. В целом за год 2022 год стал восьмым самым холодным годом с аномалией температуры $-0,68^{\circ}\text{C}$. 2022 год стал первым годом, попавшим в десятку самых холодных лет с 2019 года.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2022 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере.

В тропосфере добавление оценок аномалий за 2022 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2021 года включительно, привело к увеличению значений трендов отдельных сезонов в отдельных широтных поясах: весенних аномалий в низких широтах, зимних и летних в умеренных, а также летних в высоких широтах.

В нижней стратосфере во всех сезонах всех широтных зон, за исключением осени низких и умеренных широт, а также зимы высоких широт и весны низких широт, произошло уменьшение абсолютных значений оценок трендов. Несмотря на рекордное значение для зимы 2022 года, тренд температуры в нижней стратосфере высоких широт в зимний сезон остается статистически незначимым.

Среднегодовой тренд температуры в тропосфере всего Северного полушария не изменился и составил $0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере всего Северного полушария уменьшилось по сравнению с предыдущим годом на $0,01^{\circ}\text{C}/10$ и составило $-0,36^{\circ}\text{C}/10$ лет.

• Осадки в 2022 г. в целом по России составили 105% нормы (базовый период 1991-2020 гг.). Значительный избыток осадков наблюдался на большей части АЧР (106% – ранг 4-5), особенно много осадков выпало в Средней Сибири (120% – ранг 1) и в ДФО: (113% – ранг 2-3). Много осадков выпало в ЦФО (116% – ранг 5). Сильный дефицит осадков наблюдался в Саянах и в районе Обской губы.

Из сезонов выделяется «снежная» зима на ЕЧР (120% – ранг 3) и в УФО (124% нормы – ранг 5), «влажное» лето в Средней Сибири (139% – ранг 1), «влажная» осень в ЦФО (143% – ранг 5). Следует особо отметить «сухую» осень в Западной Сибири (82% нормы – среди пяти «самых сухих») и засушливые условия летом всюду на ЕЧР (83%), в основном, за счет «сухого» августа (выпало 50% нормы – вторая среди минимальных величин в ряду)

На Северном Кавказе в 2022 году имел место дефицит осадков (ниже 5%-го перцентиля) в летний период на станциях Ахты, Терскол и Нальчик, в зимний период – на станции Прохладная и в весенний – на станции Нальчик. В осенний сезон имело место превышение суммы осадков относительно нормы (среднее за 1961-1990 гг.) более чем на 1σ на станциях Теберда, Терскол, Нальчик.

• На территории России в целом преобладает тенденция к **увеличению годовых сумм осадков**: тренд за 1976-2022 гг. составляет $1,8\%$ / 10 лет, вклад в дисперсию 35%. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается **весной** ($5,7\%$ / 10 лет, вклад в дисперсию 40%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако **летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают**: в ЮФО тренд $-5,4\%$ в десятилетие.

Тренд годовых осадков за период 1976-2021 гг. на всех станциях Кавказского региона статистически незначим, но весной на горной станции Теберда наблюдался статистически значимый на 5% уровне рост сумм осадков ($D=10\%$).

- Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2021/2022 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы. В северных районах страны и центральных районах Восточной Сибири отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова вошли в десятку наибольших по величине с 1967 года. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась значительно выше климатической нормы и попала в десятку наибольших значений в ряду. Максимальный запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался ниже нормы в лесу, но превысил норму в поле. Запасы воды в лесу в районах VI и VIII (центр и юг Восточной Сибири, Алтай и Саяны) попали в десятку наименьших. В поле значительные отрицательные аномалии запаса воды в снеге в поле получены на Чукотке и Камчатке (III район), причем это значение попало в десятку наименьших. Запас воды в снеге на полевых маршрутах в I, IV районах (центр и север ЕЧР и север Западной Сибири) и для России в целом вошли в десятку наибольших.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова, при этом наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2022 гг. по данным маршрутных наблюдений в поле не изменились, а по данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

- **Числа случаев с гололедом** были выше нормы в ЦФО, ЮФО, на востоке СЗФО, юге ЯНАО, ниже – в ПФО и юге УФО. Суммарная **продолжительность гололеда** выше нормы отмечалась на севере ЦФО и ПФО, юго-западе СЗФО, на большей части ЮФО, Карелии, востоке ХМАО, юге Приморского края. **Вес гололеда** превысил норму на северо-востоке ЮФО (0,8-1,6 г/см и более).

Максимальные отрицательные аномалии **числа случаев** кристаллической изморози отмечались на арктическом побережье ЕЧР, севере УФО, Иркутской области, в Забайкалье, Чукотском АО, Камчатском крае (от 5 до 10 дней) положительные – в ПФО, на юге УФО, в Амурской области и на юге Магаданской области (от 5 до 10 дней и более). **Продолжительность** кристаллической изморози была выше нормы в Архангельской области, Коми, юге ПФО и УФО (от 12 до 48 часов), ниже нормы – на западе и востоке ЕЧР, юге Сибири и Дальнего Востока, Чукотке. **Вес** кристаллической изморози был большей частью меньше нормы, особенно на арктическом побережье ЕЧР, Урала и на Чукотке (1,2-1,6 г/см и более); выше нормы – на юго-востоке ПФО, юге УФО и Сибири.

В распределении **числа случаев** отложения мокрого снега преобладали положительные аномалии. **Продолжительность** отложения мокрого снега была выше нормы на станциях СЗФО, ЦФО, ЮФО, УФО. **Вес** отложений мокрого снега был выше нормы в западной половине СЗФО, ЦФО, ЮФО, в УФО (за исключением северо-западных районов), на востоке ПФО (0,8-1,6 г/см), меньше нормы – юге ЦФО и в центральных районах Камчатского края.

Преобладают положительные тенденции **числа случаев с гололедом** на ЕЧР, особенно на севере ПФО, юго-востоке СЗФО и в Астраханской области (0,8-1,6 случаев за 10 лет, на многих станциях тренд статистически значим на 5% уровне). Тенденция роста **продолжительности гололеда** получена в центральных областях ЕЧР.

Положительный тренд **числа случаев с** отложением мокрого снега отмечался в ЕЧР и Западной Сибири. Рост **продолжительности** сохраняется почти на всей ЕЧР, Урале и в Западной Сибири. Во многих квази-однородных климатических регионах (кроме северных и восточных) положительные тенденции значимы.

- Аномалии агроклиматических показателей термического и влажностного режима оцениваются по отношению к базовому климатическому периоду 1991–2020 гг. Осреднение по федеральным округам выполнено 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. восточнее.

На преобладающей части сельскохозяйственной зоны дата возобновления вегетации (переход через 5°C весной) наблюдалась от 3 до 6 дней ранее среднесезонных значений. Продолжительность периода вегетации ($T > 5^{\circ}\text{C}$) превышала среднесезонные значения на всей рассматриваемой территории и в среднем по РФ составила 6 дней. **Сокращение** периода активной вегетации ($T > 10^{\circ}\text{C}$) на 6–12 дней наблюдалось на ЕЧР, за исключением самых южных областей.

Положительные аномалии сумм температур за период вегетации ($T > 5^{\circ}\text{C}$) отмечались на всей территории ЕЧР и АЧР, особенно большие в СКФО (237°C). Аномалии сумм температур за период активной вегетации (период с температурой воздуха выше 10°C) изменялись от 200 – 300°C (в южных областях ЕЧР) до -48 – -59°C (в ПФО и ЦФО).

Сумма осадков, выпавших за период вегетации яровых зерновых культур ($R_{\text{зерн.}}$), в 2022 г. в среднем по сельскохозяйственной зоне 5% выше нормы, хотя в северо-западных и центральных областях ЕЧР, на Урале наблюдался дефицит осадков (ниже нормы на 7–13%). В тёплый период года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) в ПФО и ЦФО, осадков выпало на 12–18% больше нормы, в ЮФО и СКФО – ~4% больше нормы.

Индекс сухости М.И. Будыко, рассчитанного за период с температурой выше 5°C для всех федеральных округов отрицательные или близки к нулю, лишь в СКФО ИС равен 0.24 (выше на 25%), что также свидетельствует о том, что уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2022 г. был выше, чем в среднем за 1991–2020 гг.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной на дату возобновления вегетации и вплоть до колошения зерновых культур, а также в пахотном слое почвы в сентябре в период сева озимых зерновых культур были достаточными во всех сельскохозяйственных районах. Локальная почвенная засуха могла наблюдаться в ЮФО и СКФО, а также в южных областях УФО в период с июня по август.

Основные посевные площади яровой пшеницы сосредоточены в СФО, ПФО и УФО. Климатически обусловленная урожайность в Самарской и Оренбургской областях, Республиках Татарстан и Башкортостан в ПФО в 2022 г. превышала средний уровень за 2017–2021 гг. на 12–40%, в Курганской, Омской и Томской областях – от 6 до 20%; в Алтайском крае и Новосибирской области климатически обусловленная урожайность в 2022 г. близка к уровню средней за 2017–2021 гг.

Условия увлажнённости посевов озимых культур урожая 2023 г. в осенний период оцениваются как благоприятные.

В сельскохозяйственной зоне повсеместно продолжается рост теплообеспеченности тёплого периода года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) и периода активной вегетации ($T > 10^{\circ}\text{C}$) сельскохозяйственных культур. Скорость роста суммы активных температур воздуха и суммы температур выше 5°C на ЕЧР от ~90 до ~170 $^{\circ}\text{C}/10$ лет, на АЧР 50–60 $^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода ($T > 5^{\circ}\text{C}$) и периода активной вегетации ($T > 10^{\circ}\text{C}$) (в ЮФО и СКФО ~6 сут./10 лет).

Тенденция к росту весенних осадков сохраняется на прежнем уровне в сельскохозяйственной зоне, и её оценка составляет от 3 до 6 мм/10 лет. Коэффициенты линейного тренда летних осадков за 1976–2022 гг. остаются отрицательными в основных сельскохозяйственных регионах на ЕЧР, за исключением СЗФО.

Степень засушливости в сельскохозяйственной зоне растёт: оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости М.И. Будыко (ИС) за весь тёплый период года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) составляют $-0.03/10$ лет и $0.02/10$ лет, соответственно.

- В 2022 г. на территории России для измерения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты (СТС) была задействована 41 площадка CALM.

На ЕЧР, как и в 2021 году отмечается разнонаправленность изменений толщины СТС. Наиболее значительное увеличение мощности СТС на площадке R23 в районе Воркуты, где глубина протаивания увеличилась на 27 см. Для Западной Сибири

информация освещает в основном полуостров Ямал, отмечается устойчивый характер изменения СТС за последние два года (не более 1-3 см, со знаком плюс или минус). На Полярном Урале площадка R53 характеризует резкое понижение уровня СТС (на 15-20 см) по сравнению с 2020, 2019 и 2018 гг. Данные с трех площадок с п-ова Гыдан показывают устойчивые значения СТС, начиная с 2019 года. В Центральной Сибири на 5 площадках из 6 отмечается незначительное увеличение мощности СТС (на 3-5 см). На трех площадках северо-востока Сибири отмечается увеличение мощности СТС, наибольшее на площадке R38В в низовьях Индигирки (на 31 см); еще на трех площадках – уменьшение. На площадках Чукотки и Камчатки мощность СТС несколько увеличилась.

Тренды мощности СТС (за редким исключением) положительны на территории криолитозоны РФ, что свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в текущем столетии.

- В минимальной за год температуре почвогрунтов на большей части территории России в 2022 г. 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 Восточной Сибири. С увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвы.

В 1976-2022 гг. тенденция повышения минимальной температуры почвы ослабевала с глубиной. На большей части территории России преобладают тренды <0,4°C/10 лет на всех глубинах до 320 см. Наибольшее и статистически достоверное повышение минимальной температуры почвы, проникающее до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири, в устьях рек Лена и Яна.

- В 2022 г. продолжалась деградация ледников на Центральном Кавказе. Высокие темпы деградации ледников Эльбруса сохранились и составляют за последние два года 1,2 км² в год.

Крупные долинные ледники сокращались во фронтальной зоне с разной скоростью. Ледники с протяжёнными языками (Ирик, Безенги, Караугом, Мидаграбин) потеряли за 2020-2022 гг. 9-16 тыс. м² площади во фронтальной зоне и уменьшились по длине на 25-45 м. В некоторых случаях вследствие изменений в подлёдной гидрологической системе исток реки смещался в сторону на расстояние до 45-90 м, и при этом исчезали значительные участки мёртвых льдов. Концы языков некоторых ледников представляли собой массивы мёртвых льдов, ещё не отделившихся от активных частей ледников. В 2022 г. обособились массивы мёртвых льдов от концов ледников Башкара и Шхельда. В будущем от ледника Караугом отделится массив мёртвого льда.

Отдельные ледники в 2022 г. наступали. Возрождающийся ледник Колка за 2020-2022 г. продвинулся вперёд на 85-95 м, а площадь его увеличилась на 33,5 тыс. м². Второй год продолжает наступание Девдоракский ледник.

Современный этап изменения климата характеризуется ускорением деградации массивов горной мерзлоты, что проявляется в сходе крупных селей на участках, где они ранее в таких объёмах не были зафиксированы. С процессами деградации ледников связана активизация обвальных процессов в ледниковой зоне, которые в свою очередь влияют на динамику ледников, вызывая их наступание.

- В 2022 г. в целом на территории РФ отмечалось 976 опасных гидрометеорологических явлений, включая агрометеорологические и гидрологические (меньше, чем в последние 2 года). Из всех ОЯ, наблюдавшихся в 2022 г., 334 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. В целом за год оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета было выпущено 2045 штормовых предупреждений, оправдываемость которых 96% (примерно на уровне прошлого года: 96,8%).

В 2022 году на территории России было зарегистрировано 474 случаев возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений

(КМЯ), сочетание которых образует ОЯ (по сравнению с 2021 годом количество зарегистрированных метеорологических ОЯ уменьшилось на 138 случая). Высокой была повторяемость сильных осадков, сильного ветра, КМЯ и заморозков. По-прежнему наибольший ущерб нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в том числе шквалы), град, а также метели, заморозки, чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в течение май-октябрь.

- В целом радиационный режим 2022 г. на территории России характеризуется пониженным приходом прямой радиации на территории России. В зимний и весенний сезоны области с отрицательными аномалиями по площади значительно превосходили области с повышенным приходом прямой радиации. Наиболее ярко это проявилось зимой. В летний сезон отмечаются большие контрасты в поле аномалий прямой радиации – как месячных (июль и август), так и сезонных. В августе в восточных и северо-восточных районах ЕЧР количество поступающей на земную поверхность прямой солнечной радиации достигало рекордно высоких значений. В то же время в Средней Сибири, в Якутии, на Дальнем Востоке зарегистрированы рекордно низкие значения приходящей солнечной радиации. В поле рассеянной радиации, как и в предыдущие годы, доминировали отрицательные аномалии.

Анализ многолетних изменений пространственно-осредненных аномалий годовых сумм радиации показывает, что на территории ЕЧР с начала 90-х годов XX в. наблюдается положительная тенденция в изменении прямой радиации. В Средней Сибири сохраняется тенденция к снижению приходящей радиации, наметившаяся в начале XXI в.

- В 2022 году средняя годовая аномалия продолжительности солнечного сияния (ПСС) для ЕЧР, и для АЧР была положительной. Наиболее значительные положительные аномалии наблюдались на севере ЕЧР, а также на юге АЧР (в регионе «Алтай и Саяны» относительная аномалия $RS = 107\%$ (ранг 2). Значительная территория АЧР была занята отрицательными аномалиями ПСС (ряд станций попал в 5%-й квантиль).

В целом для территории РФ средняя для зимы и весны ПСС была близка к норме. *Зимой* на ЕЧР отмечались отрицательные аномалии ПСС ($RS = 86\%$), наиболее существенные на севере региона (до 30% от нормы); а почти вся территория АЧР была занята положительными аномалиями ПСС. Регионы: Север Восточной Сибири и Якутии ($RS = 148\%$) Чукотка и север Камчатки ($RS = 143\%$), попали в пять максимумов. При этом на отдельных станциях на востоке АЧР (п-ов Камчатка, о. Сахалин) отмечались отрицательные аномалии (RS менее 60% от нормы). *Весной* очагов с крупными аномалиями ПСС на территории РФ не наблюдалось. На севере ЕЧР преобладали слабые положительные аномалии, на юге – отрицательные. Наибольшие положительные аномалии отмечались на юге АЧР, регион «Алтай и Саяны» ($RS = 112\%$) и СФО ($RS = 109\%$) оказались среди пяти максимумов. *Лето* для РФ было рекордно солнечным ($RS=106\%$) за счет больших положительных аномалий в ЕЧР ($RS=115\%$); а ПСС в регионах: Север ЕЧР и Западной Сибири (118%), Центр ЕЧР (117%), и федеральных округах: ЦФО (112%), в СЗФО (121%), ПФО (117%) – среди пяти максимальных. В АЧР положительные аномалии занимали большую часть Западной Сибири, на остальной территории преобладали отрицательные аномалии. *Осенью* как в ЕЧР, так и в АЧР наблюдались значительные отрицательные аномалии, при этом дефицит солнечного сияния в ЕЧР (86%) – среди двух наименьших значений. Регионы: Север Восточной Сибири и Якутии ($RS=86\%$), Центр ЕЧР ($RS=77\%$), Центр и Восток Сибири ($RS=89\%$), и в ЦФО ($RS=72\%$), ПФО ($RS= 72\%$) – попали в пять минимумов. Заметные положительные аномалии отмечались только на востоке Камчатки.

Изменения ПСС почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом: рост наблюдается на 74% станций. Положительный тренд для России в целом наблюдается во все сезоны и является статистически значимым (за исключением осени). Статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС также

отдельно для ЕЧР и АЧР, при этом его скорость в ЕЧР более чем в 2 раза больше (1,9%/10 лет), чем в АЧР (0,7%/10 лет).

- Во все сезоны отрицательные аномалии средней скорости ветра преобладали на большей части ЕЧР и в Западной Сибири (до ≈ -2 м/с на станциях ЦФО); положительные аномалии средней скорости во все сезоны преобладали в ЮФО, СКФО, ДФО (особенно на северо-востоке Якутии и на Чукотке).

Максимальная средняя скорость ветра 15 м/с и выше наблюдалась в 2022 году на арктическом побережье, Чукотке, юге Камчатки, западном побережье Охотского моря (на отдельных станциях максимальная скорость ветра превысила 25 м/с). Аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с на большей части территории России близки к 0, наименьшая отрицательная аномалия зафиксирована в Ненецком АО (-2,07 дней), наиболее высокая повторяемость дней с сильным ветром – на метеорологических станциях морских побережий (на Камчатке и северном побережье Охотского моря $\approx 2,5$ дня). Наибольшее число дней со средней скоростью ветра ≥ 15 м/с отмечалось на арктическом и тихоокеанском побережье страны (хотя максимум зафиксирован в Кара-Тюреке (Алтай) – 49 дней).

При оценке региональных изменений получено, что во все сезоны года средняя по РФ скорость ветра уменьшается; среднесезонные скорости ветра уменьшаются и в всех квазиоднородных регионах; число дней с ветром более 15 м/с также уменьшается зимой и осенью в большинстве квази-однородных регионах. Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней с сильным ветром (≥ 15 м/с) на большей части РФ отрицательный, но статистически незначим. В целом, осенью, зимой и весной отрицательные тенденции более выражены, чем летом. Рост скорости ветра отмечается в Республике Дагестан во все сезоны года, кроме лета, и не превышает 0,6 м/с за 10 лет, а летом наибольший коэффициент линейного тренда отмечается в республике Башкортостан.

- В 2022 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались над Камчаткой и Чукоткой. Наибольшие отрицательные (до -2 м/с) – над центром ЕЧР и на отдельных станциях в Сибири. Над Камчаткой большие положительные аномалии скорости ветра (до 4 м/с) наблюдались зимой и осенью. На юго-западе ЕЧР – во все сезоны, кроме летнего. Наибольшие отрицательные аномалии зимой наблюдались на юге Сибири, весной – на севере Сибири, а летом и осенью – над ЕЧР. Летом – над центральной и южной частью ЕЧР, осенью – над северной и центральной частью. Направление ветра в целом за год соответствовало климатическому. В отдельные сезоны наибольшее отклонение направления ветра от климатического наблюдалось над европейской частью России. Весной на западе и летом на востоке ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра из-за отрицательных аномалий меридионального ветра. А зимой из-за положительных аномалий меридионального ветра на востоке ЕЧР наблюдалось юго-западное направление ветра.

В нижней стратосфере в среднем за год над всей территорией России, за исключением отдельных станций на востоке Сибири, наблюдались положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 3 м/с на юге Сибири и на Дальнем Востоке. Зимой и весной большие положительные аномалии скорости ветра, достигающие 6 м/с, преобладали над большей частью территории России. Область отрицательных аномалий зимой находилась на востоке Сибири, а весной – на северо-западе Сибири. Летом и осенью над большей частью территории России аномалии скорости ветра не превышали 1,5 м/с по модулю. Осенью аномалии скорости ветра, превышающие по модулю это значение, наблюдались на севере ЕЧР и над морем Лаптевых (отрицательные), и на Дальнем Востоке (положительные). В среднем за год направление соответствовало климатическому. Весной на северо-востоке Сибири из-за отрицательных аномалий зонального ветра ветер имел южное направление. Летом из-за отрицательных аномалий

меридионального ветра на юго-востоке ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра, а на северо-востоке ЕЧР – северное направление.

- Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2022 г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ, расположенных в фоновых условиях, превысило 422 млн⁻¹. Станции, подверженные влиянию региональных источников, также демонстрируют рост концентрации CO₂. В 2022 г. среднегодовые значения концентрации CO₂ составили 447,5 млн⁻¹ и 433 млн⁻¹ на станциях ПТБЗ и Обнинск соответственно.

По данным фоновых станций РФ в 2022 г. темпы роста концентрации CO₂ возрастают по сравнению с 2020 и 2021 г. Увеличение концентрации за 2022 г. составило 3,4-3,5 млн⁻¹, что существенно выше среднеглобальной скорости роста за предыдущие 10 лет и 2021 год, составившей, согласно бюллетеню ВМО по ПГ №18 от 26 октября 2022 г. 2,5 млн⁻¹/год.

Среднегодовая концентрация метана на российских Арктических станциях в 2022 г. приблизилась к 2020 млрд⁻¹, на станциях ПТБЗ и Обнинск она достигли значений 2036,9 млрд⁻¹ и 2115 млрд⁻¹ соответственно. В 2022 г., зафиксировано сильное увеличение концентрации метана на станции Териберка (20 млрд⁻¹/год). Тенденция возрастания скорости роста концентрации метана отмечается в глобальном масштабе. Согласно Бюллетеня ВМО № 18 от 26 октября 2022 г. в 2020 и 2021 г. прирост концентрации метана за год (15 и 18 млрд⁻¹) явился рекордным для всего периода наблюдений с начала 80-х годов прошлого столетия. По данным станции Териберка увеличение среднемесячного значения концентрации для периода с апреля по август 2022 г. по сравнению с теми же месяцами 2021 г. превысило 30 млрд⁻¹, что также является рекордным для всего периода наблюдений на станции Териберка.

- Над территорией Российской Федерации в 2022 г. отдельные существенные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в феврале, марте, апреле и июле: с 27 февраля по 20 марта и с 24 по 28 марта пониженные на 23-44% среднесуточные значения ОСО над Эвенкией, Якутией, Красноярским краем и Иркутской областью (247-366 ед. Д.); со 2 по 6 апреля пониженные на 24-34% среднесуточные значения ОСО над югом Красноярского края и Иркутской областью (280-324 ед. Д.); с 3 по 6 июля повышенные на 18-22% среднесуточные значения ОСО над юго-восточными районами Европейской части территории России, Южным Уралом и западными районами Казахстана (372-385 ед. Д.).

- В период с 2020 по 2022 гг. произошло увеличение аэрозольного наполнения слоя 15 - 30 км.

В сезонном ходе ИКОР (интегральной по высоте величине коэффициента обратного аэрозольного рассеяния) в слое 13-23 км заметен короткий зимний максимум и продолжительный подъем во II полугодии с выделенным сентябрьским максимумом. Подъем во II полугодии можно связать с АПП (аэрозолям природных пожаров), происходивших, в первую очередь, в Северной Америке.

В сезонном ходе ИКОР в средней стратосфере 23-30 км максимум аэрозольного содержания наблюдается в летнее время, что говорит об активизации фотохимических процессов образования аэрозоля под влиянием усиливающейся солнечной инсоляции. Отмечается также небольшой сентябрьский пик, что говорит о поднятии некоторого количества АПП в результате конвективных, либо фотофоретических процессов.

В среднем отклонение ИКОР в 2022 г. от сезонного хода имеет положительный знак и постепенно уменьшается в течение года. (Частично такой ход ИКОР можно связать с влиянием извержения подводного вулкана Хунга-Тонга (-20,6°S, -175,4°W) в январе 2022 г.)

В 2022 г. вероятность появления перистых облаков упала до уровня 0,18, что значительно ниже, чем средняя с 2012 по 2020 гг. вероятность 0,33. В то же время средняя оптическая толщина облаков возросла.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение	Полное название
CALM	Circum Polar Active-Layer Monitoring
WDCGG	World Data Centre for Greenhouse Gases
АПП	Аэрозоль природных пожаров
АЧР	Азиатская часть России
БКП	Биоклиматический потенциал
ВАОА	Весенняя Антарктическая озоновая аномалия
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
г.	город (в разделе 4)
ГИО	Гололедно-изморозевые отложения
ГСА	Глобальная служба атмосферы
ГТК	Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова
Доклад	Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации
ДФО	Дальневосточный федеральный округ
ед. Д.	Единица Добсона — единица измерения содержания озона в атмосфере Земли (одна единица Добсона равна слою озона 10 мкм при стандартных давлении и температуре)
ЕЧР	Европейская часть России
ИКОР	Интегральная по высоте величина коэффициента обратного аэрозольного рассеяния
ИС	Индекс сухости М.И. Будыко
КМЯ	Комплекс метеорологических явлений
ММГ	Многолетнемерзлые грунты
МПАБ	Международная программа арктических буёв
н.у.м.	ниже уровня моря
о.	остров
ОСО	Общее содержание озона
ОЯ	Опасные гидрометеорологические явления
п.	поселок
ПГ	Парниковые газы
пгт	поселок городского типа
п-ов	полуостров
пол. ст.	полевой стан
ПСС	Продолжительность солнечного сияния
ПТБЗ	Приокско-Террасный биосферный заповедник
ПТВ	Приповерхностная температура воздуха
ПФО	Приволжский федеральный округ
р.	река
р. п.	рабочий поселок
с.	село
СГДМ	сумма градусодней мороза
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
ФО	Федеральный округ
ЦФО	Центральный федеральный округ
ЮФО	Южный федеральный округ
ЯНАО	Ямало-Ненецкий автономный округ