



Федеральная служба  
по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды  
(РОСГИДРОМЕТ)

# ДОКЛАД

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2023 ГОД



Москва  
2024

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И  
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД  
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА  
НА ТЕРРИТОРИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЗА 2023 ГОД

Москва, 2024 г.

**УДК 551.5**  
**ББК 26.2**  
**Д 63**

**Д 63 Доклад об особенностях климата на территории  
Российской Федерации за 2023 год. – Москва, 2024. –  
104 стр.**

**ISBN 978-5-906099-58-7**

В Докладе представлены результаты мониторинга климата Российской Федерации за 2023 год, выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе. Приводятся данные о наблюдавшихся в 2023 году аномалиях различных климатических переменных, об агроклиматических условиях и опасных гидрометеорологических явлениях года, а также о тенденциях современных изменений климата на территории России, в Северной полярной области и над Северным полушарием (температура свободной атмосферы). Доклад является официальным изданием Росгидромета.

**УДК 551.5**  
**ББК 26.2**

© Росгидромет, 2024

RUSSIAN FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY  
AND ENVIRONMENTAL MONITORING  
(ROSHYDROMET)

A REPORT  
ON CLIMATE FEATURES  
ON THE TERRITORY  
OF THE RUSSIAN FEDERATION  
IN 2023

Moscow, 2024

Настоящий ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

М.Ю. Бардин,  
Е.Н. Козлова, Т.В. Платова,  
Э.Я. Ранькова, О.Ф. Самохина  
У.И. Антипина, В.Д. Смирнов  
Г.В. Алексеев,  
Н.Е. Иванов, В.М. Смоляницкий

Т.В. Дементьева, С.Г. Давлетшин,  
Н.Н. Коршунова, А.Ф. Финаев,  
А.С. Лавров, А.М. Стерин,  
А.В. Хохлова, А.Б. Шерстюков,  
Н.М. Аржанова

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

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

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

Н.С. Сидоренков, В.А. Акилина  
В.М. Колий

Н.С. Иванова, Ю.Н. Потанин

Б.А. Ашабоков, Л.А. Кешева,  
А.А. Ташилова, Н.В. Теунова,  
М.Д. Докукин

Е.Л. Баранова, В.Н. Вишератин,  
В.А. Коршунов, А.Ф. Нерушев,

Т.Р. Жемчугова

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

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	<b>Стр.</b>
TABLE OF CONTENTS	
ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО.....	6
OPENING ADDRESS	
ВВЕДЕНИЕ .....	8
INTRODUCTION	
1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА .....	11
SURFACE AIR TEMPERATURE	
2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ .....	19
PRECIPITATION	
3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2021-2022 гг. ....	27
SNOWCOVER IN WINTER 2021-2022	
4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК .....	34
RIVER FREEZE-UP AND SPRING BREAK	
5. ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ .....	36
GLAZE-ICE AND RIME DEPOSITION	
6. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ .....	41
NORTH POLAR REGION	
7. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА .....	44
PERMAFROST	
8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .....	48
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS	
9. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ .....	54
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS	
10. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ.....	57
SOLAR RADIATION	
11. ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕДНИКОВО-МОРЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА.....	61
CHANGES IN GLACIAL-MORaine COMPLEXES AND GLACIAL LAKES OF THE CENTRAL CAUCASUS	
12. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ.....	63
SUNSHINE DURATION	
13. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ.....	72
TEMPERATURE IN FREE ATMOSPHERE	
14. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА.....	78
WIND	
15. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ .....	81
WIND IN FREE ATMOSPHERE	
16. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ .....	86
GREENHOUSE GASES	
17. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ .....	92
SOIL TEMPERATURE	
18. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ .....	95
OZONE LAYER	
19. СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ.....	98
STRATOSPHERIC AEROSOL	
ВЫВОДЫ .....	101
CONCLUSIONS	
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	111
LIST OF ABBREVIATIONS	

## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО



Наблюдаемое в последние десятилетия глобальное потепление, беспрецедентное по темпу и масштабам в последние десять тысяч лет, является серьезным вызовом для устойчивого развития человечества. Повышение температуры приведет к дефициту водных ресурсов особенно в областях, где эти ресурсы исходно ограничены. Рост числа и интенсивности волн жары значительно увеличит риск засухи. Крупномасштабные летние волны жары можно считать наиболее значительной климатически обусловленной угрозой экономике России. В качестве яркой иллюстрации возможных потерь от таких явлений можно привести введенный после засухи 2010 года мораторий на экспорт зерна из Российской Федерации, который был продлён в 2011 году. Такого рода потери в сельском хозяйстве - не единственная угроза от масштабных волн жары: лесные и торфяные пожары с потерями для лесного хозяйства, дающими о себе знать десятилетиями и даже с человеческими жертвами, резко возрастающая смертность в группах риска при волнах продолжительностью от 7 дней. В **Третьем оценочном докладе Росгидромета** об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации отмечено, что в последние годы основной причиной смертности от погодно-климатических экстремумов стали именно волны тепла. Другие опасности для территории России связаны с изменениями в криосфере. Деграция ледников в горных областях приводит к росту лавинной опасности, прорыву дамб с разрушениями и жертвами. Деграция вечной мерзлоты несёт опасность разрушения возведённых на ней конструкций: трубопроводов, ЛЭП, фундаментов.

Основным источником тепла у поверхности Земли является проходящая на поверхность солнечная радиация. В отсутствие атмосферы глобальный баланс солнечной радиации к поверхности за год был бы практически постоянен. Однако, в условиях наличия атмосферы, содержащей радиационно-активные газы, поглощающие часть уходящего от поверхности теплового излучения и переизлучающие его, в том числе к поверхности, изменение концентрации этих газов (в первую очередь водяной пар, двуокись углерода CO<sub>2</sub>, метан CH<sub>4</sub> и др.) приводит к изменению температуры у поверхности. Облачность и атмосферный аэрозоль в значительной мере усложняют эти процессы, внося

дополнительную неопределенность в результаты расчётов с климатическими моделями. Мониторинг остаётся основным средством оценки происходящих изменений.

Результаты мониторинга, ведущегося в Росгидромете и крупнейших зарубежных климатических центрах, подтверждают, что глобальное потепление, начавшееся в 1970-е годы, продолжается в настоящее время. Развернутый список индикаторов этого потепления приводится в Шестом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Если посмотреть только на данные о глобальной температуре у поверхности Земли, то можно отметить, что, начиная с середины 1970-х годов средняя температура каждого последующего десятилетия оказывалась выше, чем температура предыдущего, а 9 из 10 максимальных температур наблюдались в последнее десятилетие. По данным Университета Восточной Англии 2023 год стал самым тёплым за всю историю метеорологических наблюдений.

Представленные в Докладе данные об основных климатических аномалиях и изменениях различных составляющих климатической системы на территории Российской Федерации получены по данным Государственной наблюдательной сети, осуществляющей гидрометеорологические наблюдения на территории страны и являющейся основой мониторинга климата РФ. Эти данные будут полезны широкому кругу пользователей, заинтересованных в актуальной климатической информации: центральным и региональным органам власти, научным организациям, лицам, принимающим решения в секторах народного хозяйства, бизнесе, при разработке мер по адаптации к изменению климата и смягчению их неблагоприятных последствий, при реализации единой государственной политики в области климата.

Руководитель Росгидромета



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 2023 году. В частности, приводятся данные о климатических аномалиях температуры и осадков, об особенностях режима солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния, агроклиматических условиях, о состоянии снежного покрова, о сроках вскрытия и замерзания рек, об экстремальных погодных и климатических явлениях. Представлены данные о современном состоянии вечной мерзлоты и озонового слоя, о тенденциях изменения содержания в атмосфере двуокси углерода и метана. Рассмотрены особенности климатических условий в Северной полярной области и Северном Ледовитом океане. Добавлены сведения о наблюдавшихся в теплый период засухах. Данные приводятся для различных масштабов временного и пространственного осреднения (в целом за год и по сезонам) поля локальных значений и их региональные обобщения.

Для характеристики климатических изменений в Докладе приводятся временные ряды климатических переменных (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова, протяженность морского льда и др.) за достаточно длительный период времени (как правило, несколько десятилетий), заканчивающийся в 2023 году. 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, квазиоднородных климатических регионов: рисунки 3, 4.



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

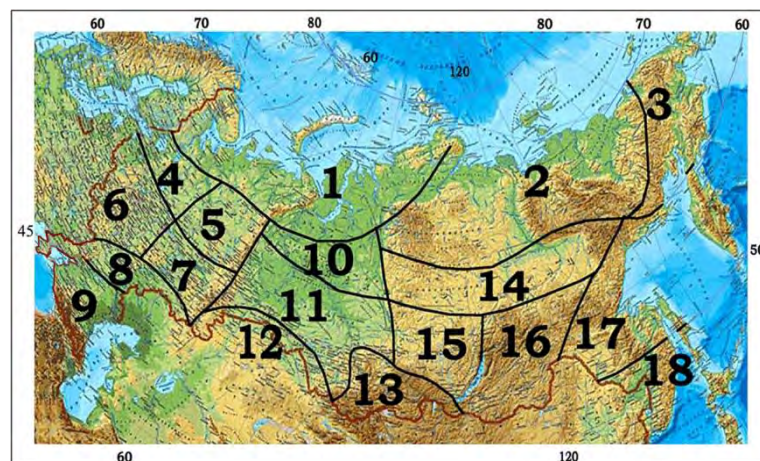
Все оценки, приведенные в Докладе, получены с использованием данных гидрометеорологических наблюдений на станциях государственной наблюдательной сети Росгидромета (ссылки на списки используемых станций приведены в соответствующих разделах Доклада). Аномалии определены как отклонения наблюдаемых значений от «нормы», за которую принято многолетнее среднее значение 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 неперевышения, 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** – Квазиоднородные 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** – Квазиоднородные 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-сайтах 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>), а также 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 1936-2022 гг. Ранги приведены для ряда 1936-2023 гг.

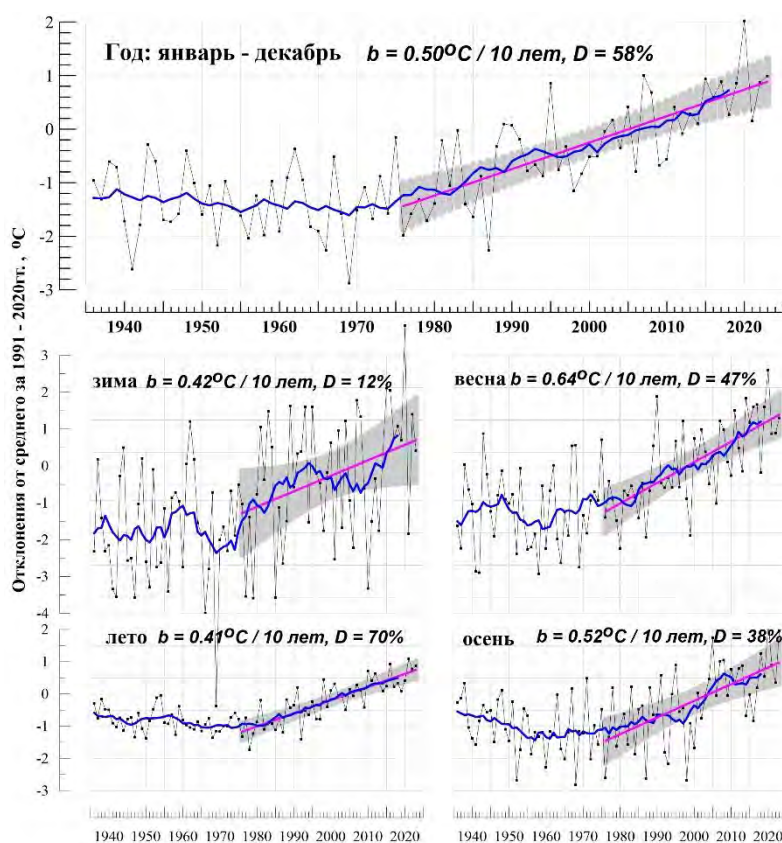
### Особенности температурного режима в 2023 году.

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.

**2023 год** для России в целом занял 3-е место в ранжированном по убыванию ряду среднегодовых температур с 1936 года, аномалия среднегодовой температуры воздуха (отклонение от среднего за 1991-2020 гг.) составила  $+0,99^{\circ}\text{C}$ .

Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны (кроме отдельных районов Чукотки). Доля площади страны с аномалиями более 80-го перцентиля составила 92% (больше только в 2020 году. (99%)). 95%-е экстремумы отмечены повсеместно в южной половине ЕЧР, на Урале и Западной Сибири. Ранги

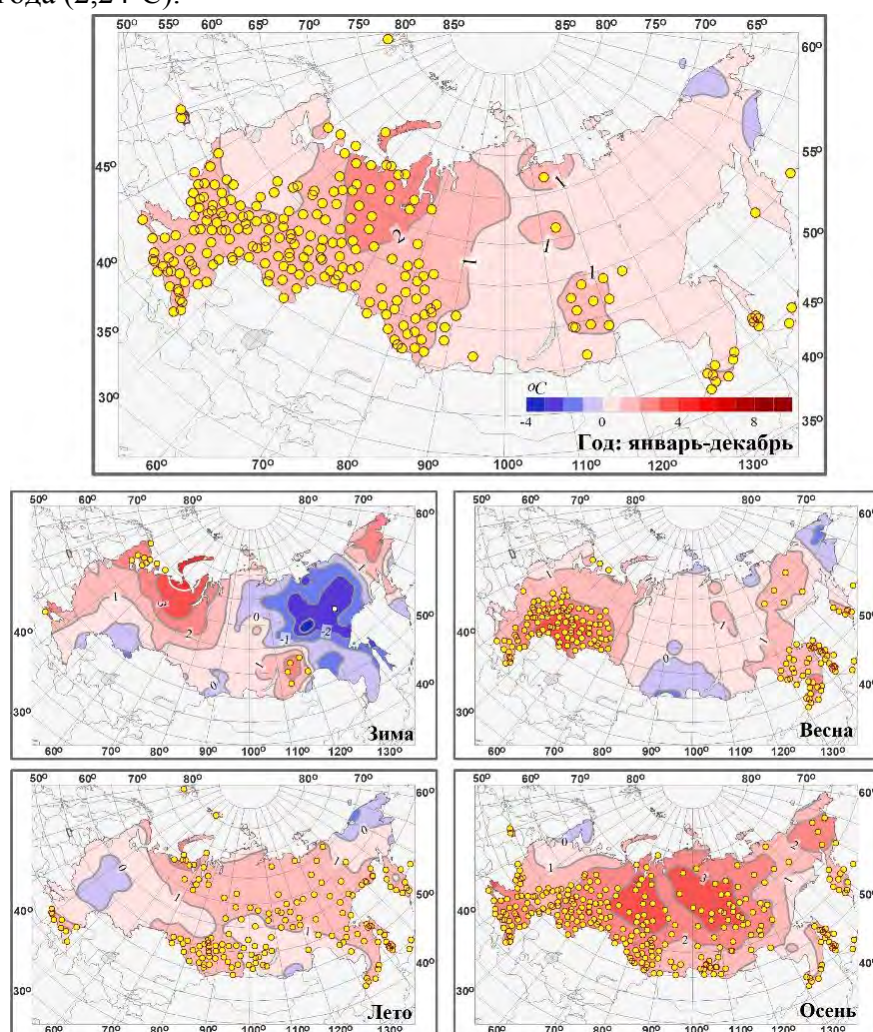


**Рисунок 1.1** – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), осредненные по территории России, 1936-2023 гг.

Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1991-2020 гг. Показаны также 11-летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2023 гг. с 95%-й доверительной полосой,  $b$  – коэффициент тренда ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет),  $D$  (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию

средних температур по ЕЧР, Западной Сибири и по всем федеральным округам (кроме ДФО) с первого по пятый.

Аномально теплыми сезонами были лето (+0,77°C – третья величина в ряду после 2021 (+1,08°C) и 2016 (+0,93°C) и осень (+1,96°C - вторая величина в ряду после осени 2020 года (2,24°C).



**Рисунок 1.2** – Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2023 г. (отклонения от средних за 1991-2020 гг.) с указанием локализации 95%-х экстремумов (желтые кружки)

Сибири, на Алтае и в Саянах (на многих станциях севера ЕЧР отмечались 95%-е экстремумы), на Чукотке. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на Среднесибирском плоскогорье и далее на восток до Чукотки, на ряде станций СФО и ДФО отмечались 5%-е экстремумы холода с аномалией среднемесячной температуры до -8...-10°C (рисунок 1.3). В муниципальных районах Красноярского края удерживались аномальные морозы практически в течение всего месяца. На метеорологической станции Агата особенно холодной выдалась вторая декада, когда даже максимальная температура была значительно ниже нормы по минимальной температуре. 14 и 15 января обновились абсолютные суточные рекорды минимальной температуры воздуха.

**Февраль.** Средняя по РФ аномалия составила +1,35°C. Температуры выше климатической нормы наблюдались в ЕЧР (кроме предгорий Кавказа), в АЧР до течения Лены на севере и до течения Амура на юге. 95%-е экстремумы отмечались на севере Среднесибирского плоскогорья, в Забайкалье (аномалии температуры – до +9°C). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в ДФО (исключая Забайкалье), аномалии температуры до -4,5°C.

### **Зимой 2022-23 гг.**

осредненная по территории РФ сезонная аномалия +0,42°C (ранг 23). Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР (кроме части ПФО), в Западной Сибири.

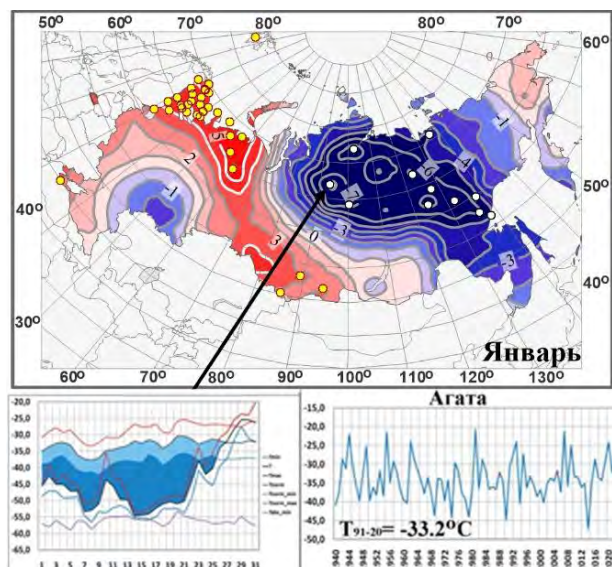
В восточной части положительные аномалии наблюдались лишь в районе Байкала (осредненная по региону Прибайкалье и Забайкалье аномалия температуры составила 1,02°C – ранг 3), на Чукотке. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на большей части ДФО (аномалии до -5,7°C).

**Январь.** Средняя по РФ аномалия составила +0,80°C. Температуры выше климатической нормы наблюдались на западе и севере ЕЧР и далее на западе Западной

**Весной** средняя по РФ аномалия составила  $+1,06^{\circ}\text{C}$  (ранг 8). На большей части страны температуры были выше климатической нормы. 95% - экстремумы на станциях отмечались в центре и на юге ЕЧР ( $1,91^{\circ}\text{C}$  – ранг 4), осредненные по ЦФО, ЮФО, ПФО, СКФО аномалии температуры - среди четырех самых крупных, в Приамурье и Приморье ( $1,73^{\circ}\text{C}$  – ранг 3).

Температуры ниже климатической нормы наблюдались на Алтае и в Саянах, на севере Таймыра, в дельте Яны, на Новосибирских островах, на Чукотке (аномалии до  $-2,4^{\circ}\text{C}$ ).

**В марте** средняя по РФ аномалия составила  $+2,81^{\circ}\text{C}$  – пятая величина в ряду. Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме Карелии и Мурманской области, Новой Земли, Таймыра, Магаданской области и Корякского АО). 95%-е экстремумы отмечались всюду в центре и на юге страны. Аномалии температуры осредненные по регионам: Прибайкалье и Забайкалье ( $4,00^{\circ}\text{C}$ ) и Приамурье и Приморье ( $4,34^{\circ}\text{C}$ ); по федеральным округам: ПФО ( $4,74^{\circ}\text{C}$ ), ЮФО ( $4,24^{\circ}\text{C}$ ), СКФО ( $3,67^{\circ}\text{C}$ ) – среди трех самых крупных в соответствующих рядах. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в Карелии и Мурманской области, на Новой Земле, на Таймыре, в Магаданской области и в Корякском АО.



**Рисунок 1.3** – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в январе 2023 года. На врезках ряды среднемесячной январской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в январе 2023 года на метеорологической станции Агата в очаге отрицательных температурных аномалий

**Таблица 1.1** – Средние годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2023 году.  $\nu T$  – 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	
	$\nu T, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$\nu T, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$\nu T, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$\nu T, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$	$\nu T, ^{\circ}\text{C}$	$s, ^{\circ}\text{C}$
Россия	<b>0,99</b>	0,75	0,42	1,62	1,06	1,17	<b>0,87</b>	0,51	<b>1,96</b>	1,12
Физико-географические регионы										
ЕЧР	<b>1,28</b>	0,77	1,23	2,07	<b>1,91</b>	1,08	0,46	1,00	<b>1,56</b>	1,31
АЧР	0,88	0,80	0,12	1,65	0,75	1,35	<b>1,03</b>	0,48	<b>2,10</b>	1,15
Западная Сибирь	<b>1,75</b>	1,05	1,47	2,77	0,98	1,93	<b>1,14</b>	0,96	<b>1,84</b>	1,60
Средняя Сибирь	0,79	1,09	-0,45	2,57	0,51	1,69	<b>1,22</b>	0,67	<b>2,70</b>	1,53
Прибайкалье и Забайкалье	0,75	0,75	<b>1,02</b>	1,97	0,14	1,31	<b>0,66</b>	0,62	<b>1,68</b>	1,13
Приамурье и Приморье	0,56	0,51	-0,78	1,37	<b>1,73</b>	1,10	<b>1,03</b>	0,62	1,06	0,94
Восточная Сибирь	0,42	0,88	-0,53	1,41	0,62	1,45	<b>0,93</b>	0,60	1,56	1,37
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	<b>1,47</b>	0,98	2,23	2,59	1,31	1,45	0,79	0,81	1,03	1,60
Центральный	<b>1,10</b>	0,80	1,31	2,22	<b>1,57</b>	1,06	0,04	1,13	1,39	1,44
Приволжский	<b>1,49</b>	0,80	0,19	2,40	<b>3,13</b>	1,35	0,13	1,16	<b>1,96</b>	1,41
Южный	<b>1,37</b>	0,89	0,67	1,82	<b>1,77</b>	1,02	0,58	1,23	<b>2,38</b>	1,38
Северо-Кавказский	<b>1,38</b>	0,83	0,52	1,46	<b>1,63</b>	0,96	0,91	1,05	<b>2,10</b>	1,26
Уральский	<b>2,10</b>	1,22	2,03	2,95	1,56	2,15	<b>1,11</b>	1,13	<b>2,95</b>	1,83
Сибирский	<b>1,17</b>	1,00	0,51	2,73	0,07	1,62	<b>1,09</b>	0,63	<b>2,45</b>	1,48
Дальневосточный	0,69	0,71	-0,54	1,14	0,91	1,26	<b>0,97</b>	0,51	<b>1,74</b>	1,03

**Апрель.** Средняя по РФ аномалия составила  $-0,20^{\circ}\text{C}$ . Температуры ниже климатической нормы наблюдались в АЧР от Урала до Хатанги (на севере) и Олекмы (на юге) (на Среднесибирском плоскогорье аномалии до  $-4,5^{\circ}\text{C}$ ), а также на Чукотке. Температуры выше климатической нормы наблюдались на ЕЧР (в центре отмечались 95%-е экстремумы), на севере и востоке ДФО (кроме Чукотки), где на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы.

**Май.** Средняя по РФ аномалия составила  $+0,58^{\circ}\text{C}$  (ранг 11). Температуры выше климатической нормы наблюдались на ЕЧР (кроме юго-запада), в Западной Сибири; на Среднесибирском плоскогорье (95%-е экстремумы отмечались повсеместно вдоль побережья Белого, Баренцево, Карского морей, на Урале), осредненные аномалии температуры по СЗФО ( $2,78^{\circ}\text{C}$ ) и УФО ( $2,96^{\circ}\text{C}$ ) – среди четырех самых крупных, в бассейнах рек Индигирки и Колымы, на Камчатке, в Приморье. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на юго-западе ЕЧР, на Алтае и в Саянах (аномалии до  $-4,3^{\circ}\text{C}$ ), в бассейнах рек Лены и Яны, в Хабаровском крае; а также на Чукотке.

**Летом** осредненная по РФ в целом аномалия температуры составили  $+0,87^{\circ}\text{C}$  – третья величина в ряду (более высокие значения аномалий наблюдались летом 2021 года ( $+1,08^{\circ}\text{C}$ ) и 2016 года ( $+0,93^{\circ}\text{C}$ )). Осредненная по АЧР аномалия температуры  $+1,03^{\circ}\text{C}$  – максимальная величина в ряду, осредненные по регионам и федеральным округам АЧР аномалии температуры – среди пяти самых крупных, на многих станциях СФО и ДФО отмечены 95%-е экстремумы. На ЕЧР в целом температуры были близки к норме; экстремально тепло в предгорьях Кавказа, а в центре наблюдались слабые отрицательные аномалии (до  $-0,7^{\circ}\text{C}$ ) за счет прохладных июня и июля в ЦФО и ЮФО и прохладного июня в СЗФО и ПФО. Кроме того, температуры ниже нормы отмечались на Чукотке (аномалии до  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ).

**Июнь.** Средняя по РФ аномалия составила  $+0,18^{\circ}\text{C}$  (ранг 15). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР (кроме предгорий Кавказа, Карелии, Мурманской области) и далее полосой в центральных районах СФО и в Забайкалье (аномалии до  $-2,9^{\circ}\text{C}$ ); в Чукотском АО. Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге СФО, на большей части ДФО; осредненные по Восточной Сибири и ДФО аномалии температуры составили  $1,68^{\circ}\text{C}$  и  $1,03^{\circ}\text{C}$  – третьи величины в соответствующих рядах.

В **июле** средняя по РФ аномалия составила  $0,84^{\circ}\text{C}$  – вторая величина в ряду. Температуры выше нормы наблюдались на востоке ЕЧР и на большей части АЧР (кроме севера Якутии, побережья Таймыра, Чукотского АО, приграничных с Монголией районов Забайкалья), осредненная по АЧР аномалия температуры:  $+1,08^{\circ}\text{C}$  – максимальная величина в ряду, 95%-е экстремумы фиксировались на Южном и Северном Урале, (осредненная по УФО аномалия температуры:  $+2,34^{\circ}\text{C}$  – ранг 4), в Приамурье и Приморье ( $+1,60^{\circ}\text{C}$  – ранг 4), в Хабаровском крае, на Камчатке.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались на западе и в центре ЕЧР (аномалии в Карелии до  $-2,1^{\circ}\text{C}$ ), на севере Якутии (на Новосибирских островах аномалии до  $-1,6^{\circ}\text{C}$ ), на побережье Таймыра, Чукотского АО, приграничных с Монголией районов Забайкалья.

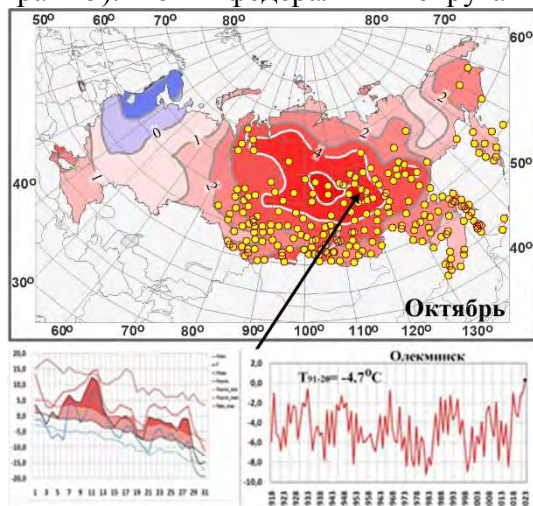
**Август.** Осредненные по РФ и по АЧР аномалии температуры составили  $1,62^{\circ}\text{C}$  и  $1,40^{\circ}\text{C}$  – максимальные величины в ряду, а по ЕЧР -  $+2,21^{\circ}\text{C}$  – шестая в ряду. Температуры выше нормы наблюдались на большей части страны (кроме Чукотки), 95%-е экстремумы наблюдались на многих станциях СЗФО ( $+2,81^{\circ}\text{C}$  – ранг 2), ЮФО, СКФО ( $+2,76^{\circ}\text{C}$  – ранг 2), СФО ( $+1,83^{\circ}\text{C}$  – ранг 3) и ДВФО ( $+1,09^{\circ}\text{C}$  – ранг 5).

На Чукотке температуры были ниже климатической нормы (аномалии на побережье Чукотского моря до  $-2,4^{\circ}\text{C}$ ).

**Осень** была очень тёплой. Средняя по РФ аномалия составила  $+1,96^{\circ}\text{C}$  - вторая величина в ряду (после рекордно теплой осени 2020 года ( $2,24^{\circ}\text{C}$ )). Всюду (кроме Карелии и Кольского полуострова) температуры были выше климатической нормы. 95%-е

экстремумы зарегистрированы на 42% станций страны. Аномалии температуры, осредненные по регионам (кроме Приамурья и Приморья и Восточной Сибири) и федеральным округам (кроме СЗФО и ЦФО) - среди четырех самых крупных. В Карелии и на Кольском полуострове температуры были ниже климатической нормы (аномалии до  $-1^{\circ}\text{C}$ ).

**Сентябрь.** Осредненная по РФ аномалия температуры  $+1,45^{\circ}\text{C}$  – вторая величина в ряду (самым теплым сентябрь был в 2020 году ( $+1,76^{\circ}\text{C}$ )), по ЕЧР -  $+2,63^{\circ}\text{C}$  – рекордная величина: особенно тепло в СЗФО ( $+3,64^{\circ}\text{C}$  – ранг 1) и в ЦФО ( $+2,55^{\circ}\text{C}$  – ранг 2); по АЧР -  $+1,02^{\circ}\text{C}$  – четвертая величина (особенно тепло в УФО ( $+2,62^{\circ}\text{C}$  – ранг 3) и в СФО ( $+1,59^{\circ}\text{C}$  – ранг 5). В этих федеральных округах на многих станциях отмечались 95%-е экстремумы.



**Рисунок 1.4** – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в октябре 2023 года. На врезках ряды среднемесячной октябрьской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в октябре 2023 года на метеорологической станции Олекминск в очаге максимальных температурных аномалий

Иркутской области (метеорологическая станция Ербогачен) и на юго-западе Якутии (метеорологическая станция Олекминск) пришлось на конец первой-начало второй декады. Два дня подряд, 11 и 12 октября, обновлялись температурные рекорды (рисунок 1.4).

Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-западе страны (аномалии до  $-2,2^{\circ}\text{C}$ ).

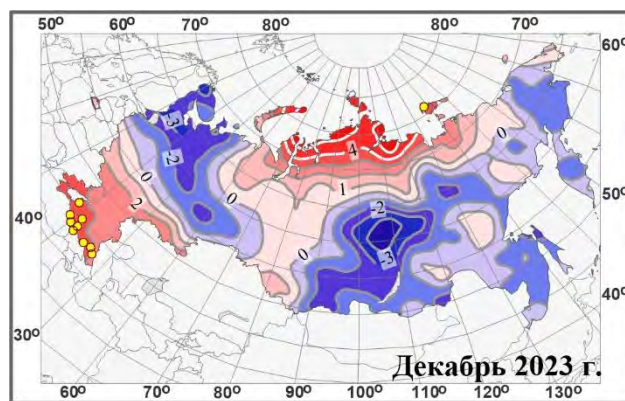
**Ноябрь.** Средняя по РФ аномалия составила  $+2,29^{\circ}\text{C}$  – шестая величина в ряду. Всюду (кроме Карелии и Кольского полуострова) температуры были выше климатической нормы. 95%-е экстремумы отмечались на юге ЕЧР (в ПФО ( $3,38^{\circ}\text{C}$  – ранг 5), в ЮФО ( $4,05^{\circ}\text{C}$  – ранг 2), в СКФО ( $4,11^{\circ}\text{C}$  – ранг 1). В Карелии и на Кольском полуострове температуры были ниже климатической нормы.

**Декабрь 2023 г.** на большей части территории РФ был холодным (рисунок 1.5). Средняя по РФ аномалия составила  $-0,44^{\circ}\text{C}$ . Температуры выше климатической нормы наблюдались только на юге ЕЧР (в предгорьях Кавказа

Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге Якутии, в Хабаровском крае, на Чукотке.

**Октябрь.** Осредненные по РФ и АЧР аномалии температуры  $+2,12^{\circ}\text{C}$  и  $+2,81^{\circ}\text{C}$  – вторые величины в ряду (максимальные величины зафиксированы в 2018 г. ( $+2,51^{\circ}\text{C}$  и  $+3,06^{\circ}\text{C}$  соответственно). Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме северо-запада). Особенно тепло в центре и на юге АЧР, осредненные по всем регионам и округам АЧР (кроме УФО) аномалии температуры среди четырех самых крупных.

Обширный очаг тепла сформировался в Уральском ФО, Сибири и западной половине Дальневосточного ФО, где аномалия среднемесячной температуры воздуха составила  $+2 - +6^{\circ}\text{C}$ . Особенно теплым октябрь оказался в ЯНАО, центральных районах Сибири, на юго-западе Якутии (аномалия  $+4 - +6^{\circ}\text{C}$ ). Наиболее мощная волна тепла в северных районах



**Рисунок 1.5** – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2023 г.



отмечены 95%-е экстремумы), на севере Западной и Средней Сибири.

### 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  $+0,50^{\circ}\text{C}/10$  лет (вклад в общую изменчивость 58%). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур ( $0,64^{\circ}\text{C}/10$  лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ( $0,41^{\circ}\text{C}/10$  лет: описывает 70% суммарной дисперсии). Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: ( $0,71^{\circ}\text{C}/10$  лет для ЮФО). Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири и на востоке Якутии, где зимой все еще наблюдается небольшая область убывания температуры (до  $-0,1^{\circ}\text{C}/10$  лет). 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, до  $+1,2^{\circ}\text{C}/10$  лет – на островах Северной Земли). Весной и осенью максимум потепления – на побережье Восточно-Сибирского моря, а зимой – на северо-западе ЕЧР.

Летом самое быстрое потепление происходит в ЕЧР южнее  $55^{\circ}$  ш. Кроме того, необходимо отметить следующие особенности:

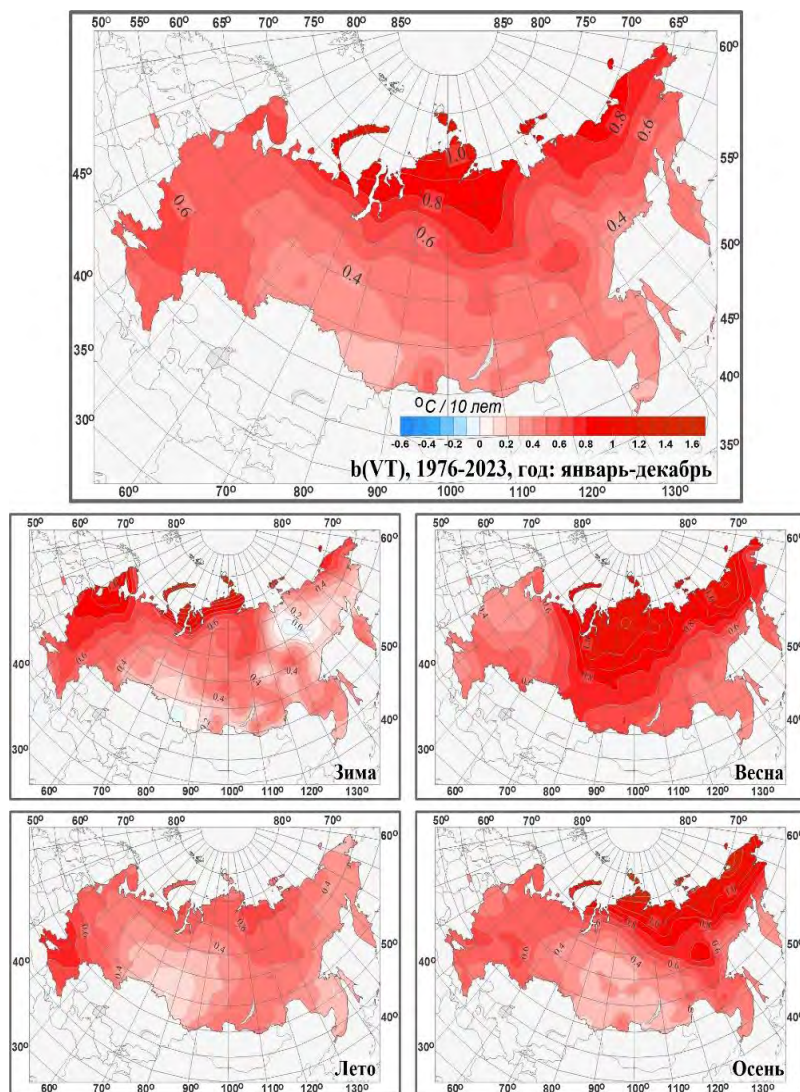
весной интенсивное потепление наблюдается в Западной ( $+0,77^{\circ}\text{C}/10$  лет) и Средней

**Таблица 1.2** – Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за год и по сезонам по территории России, её регионов и федеральных округов за 1976-2023 гг.: *b* – коэффициент линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет), *D* – вклад тренда в дисперсию (%); цветом выделены тренды, не значимые на 1%-м уровне.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<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>
<b>Россия</b>										
Россия	0,50	58	0,42	12	0,64	47	0,41	70	0,52	38
<b>Физико-географические регионы</b>										
ЕЧР	0,54	55	0,66	16	0,45	27	0,51	41	0,53	33
АЧР	0,48	53	0,34	8	0,71	46	0,37	69	0,51	33
Западная Сибирь	0,43	31	0,33	3	0,77	33	0,27	17	0,36	10
Средняя Сибирь	0,55	41	0,42	5	0,80	39	0,46	52	0,53	17
Прибайкалье и Забайкалье	0,40	40	0,32	6	0,60	33	0,42	48	0,30	12
Приамурье и Приморье	0,37	52	0,35	11	0,43	28	0,26	27	0,46	34
Восточная Сибирь	0,55	60	0,27	9	0,75	43	0,41	56	0,77	50
<b>Федеральные округа РФ</b>										
Северо-Западный	0,56	45	0,78	15	0,47	20	0,46	35	0,54	26
Центральный	0,58	52	0,76	18	0,41	19	0,58	36	0,55	31
Приволжский	0,49	45	0,51	8	0,48	21	0,43	21	0,54	26
Южный	0,58	55	0,59	19	0,45	25	0,71	54	0,53	29
Северо-Кавказский	0,50	58	0,51	25	0,39	29	0,61	57	0,47	28
Уральский	0,50	33	0,46	5	0,78	29	0,33	17	0,43	12
Сибирский	0,43	31	0,32	3	0,78	39	0,32	39	0,32	9
Дальневосточный	0,50	64	0,32	14	0,66	44	0,41	65	0,63	51

Сибири ( $+0,80^{\circ}\text{C}/10$  лет), а также в Восточной Сибири весной ( $+0,75^{\circ}\text{C}/10$  лет) и осенью  $+0,77^{\circ}\text{C}/10$  лет; летом в ЮФО, ЦФО и СКФО ( $+0,71^{\circ}\text{C}/10$  лет,  $+0,58^{\circ}\text{C}/10$  лет и  $+0,61^{\circ}\text{C}/10$  лет).

Осенью незначимые тренды (на 1% уровне) отмечаются в Западной Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье (в СФО и УФО).



**Рисунок 1.6** – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2023 гг. ( $^{\circ}\text{C}/10$  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  $+0,15^{\circ}\text{C}/10$  лет и незначим даже на уровне 5%, а для 1976-2020 гг. увеличился до  $+0,48^{\circ}\text{C}/10$  лет и стал формально значим благодаря выдающейся зиме 2019-2020 гг. – на  $1,5^{\circ}\text{C}$  выше предыдущего максимума температуры зимой 2014-2015 гг. За период 1976-2023 оценки тренда зимней температуры несколько уменьшились (в основном из-за достаточно холодных условий зимы 2020-2021 гг.), но тренд остается значимым на уровне 5%.

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

### **Аномалии температуры и тенденции изменений температурного режима районов Северного Кавказа**

Был проведен анализ аномалий средней сезонной температуры в 2023 году, сезонного (годового) индекса максимальных и минимальных температур в 2023 году, а также тенденции их изменений за период 1976-2022 гг. В 2023 году для расчета аномалий использовались новые климатические нормы (средние за 1991-2020 гг.), значения которых превосходили нормы за 1961-1990 гг. для всех сезонных и годовых температур. Заметно увеличились нормы летних температур: от  $1,0^{\circ}\text{C}$  в высокогорной зоне до  $1,6^{\circ}\text{C}$  в степной зоне. В таблице 1.3 приведены данные об аномалиях температуры в 2023 году, из которой видно, что на всех станциях наблюдались положительные аномалии сезонных средних температур, за исключением зимнего сезона на горных станциях (Ахты, Теберда, Терскол).

Положительные аномалии максимальных температур с превышением межгодовой изменчивости более  $1\sigma$  наблюдались на метеорологических станциях Нальчик и Прохладная в зимний сезон, а также на метеорологической станции Ахты в весенний сезон.

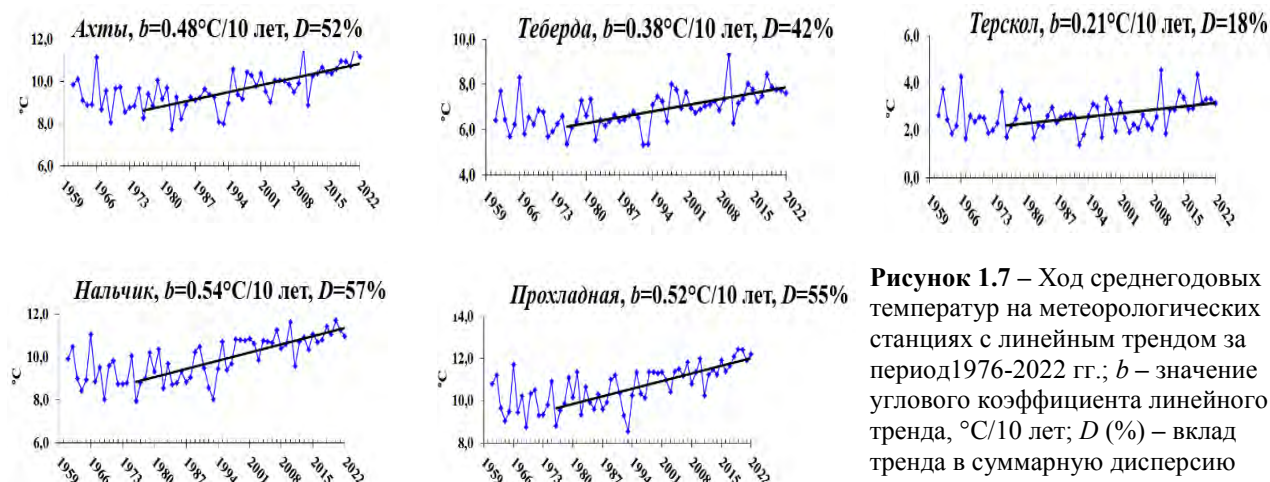
**Таблица 1.3** – Среднегодовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры и индексы минимальной и максимальной за сутки температуры приземного воздуха для станций юга ЕЧР в 2023 г.:  $\nu T$  – отклонения от нормы (средние за 1991-2020 гг.);  $\sigma$  – стандартное отклонение за 1991-2023 гг., розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более  $1\sigma$

Название станции и высота н.у.м. (м)	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C
Средние температуры										
Ахты (1281)	1,7	0,9	-0,7	1,88	2,7	1,29	1,1	1,14	2,4	1,31
Теберда (1335)	1,4	0,8	-0,2	1,8	1,2	0,93	0,9	1,04	2,4	1,08
Терскол (2144)	0,9	0,68	-0,3	1,53	1,4	0,94	0,9	0,93	1,6	1,04
Нальчик (500)	0,0	1,0	0,0	1,9	1,3	1,2	0,9	1,3	2,3	1,2
Прохладная (198)	1,4	1,0	0,1	1,9	1,4	1,17	1,1	1,24	2,0	1,19
Абсолютный максимум температур										
Ахты	2,3	2,59	0,7	2,31	2,9	2,17	1,1	2,52	1,2	2,96
Теберда	0,9	2,13	0,7	2,24	-0,2	1,92	0,9	2,12	1,1	2,49
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	1,3	1,8	4,3	2,9	-2,3	2,4	-0,1	1,8	1,6	2,4
Прохладная	2,2	1,96	4,5	3,36	-0,8	2,52	0,5	1,98	2,3	2,51
Абсолютный минимум температур										
Ахты	1,3	2,75	-0,9	2,9	1,7	3,68	0,0	2,31	2,3	3,13
Теберда	1,4	3,11	1,4	3,01	2,1	4,0	1,0	1,88	1,0	3,8
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	1,9	4,6	0,6	4,64	1,5	4,35	1,1	2,13	2,6	3,6
Прохладная	2,2	4,83	-0,5	5,0	2,2	4,28	0,7	2,71	4,6	3,38

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 1991-2020 гг.); индексы минимальных температур рассчитаны аналогично для минимальных за сутки температур

Положительные аномалии минимальных температур имели место на метеорологической станции Прохладная в осенний сезон с превышением межгодовой изменчивости более  $1\sigma$ .

С 1976 по 2022 гг. на всех метеорологических станциях в сезонах и году сохраняется положительная направленность трендов температур (таблица 1.4, рисунок 1.7).



Наиболее устойчивым ростом выделяются средние летние температуры во всех климатических зонах, в том числе на высокогорной метеорологической станции Терскол. Из таблицы 1.4 видно, что наибольший рост температур наблюдался в предгорной и

степной зонах для летних средних температур летних максимумов, а также весенних минимумов. В осенний сезон наблюдался значимый рост максимальных температур в Нальчике и Прохладой. На предгорной метеорологической станции Нальчик и степной метеорологической станции Прохладная с 1976 года наблюдались максимальные скорости

**Таблица 1.4** – Характеристики линейного тренда  $b$  ( $D$ ) за 1976-2022 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режимов температуры на станциях Кавказского региона.  $T$  – средняя температура,  $Min$  – абсолютный минимум,  $Max$  – абсолютный максимум,  $b$  – значение углового коэффициента линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет),  $D$  (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию.

		Ахты		Теберда		Терскол		Нальчик		Прохладная	
		$b$	$D$	$b$	$D$	$b$	$D$	$b$	$D$	$b$	$D$
Год	$T$	0,48	52	0,38	42	0,21	18	0,54	57	0,52	55
	$Min$	0,80	15	0,60	8	-	-	0,86	7	0,95	7
	$Max$	0,60	10	0,40	6	-	-	0,75	20	0,91	37
Зима	$T$	0,59	23	0,43	12	0,30	6	0,63	26	0,58	22
	$Min$	0,52	7	0,50	7	-	-	0,70	5	0,73	4
	$Max$	0,50	11	0,30	2,0	-	-	0,30	2	0,57	6
Весна	$T$	0,40	18	0,40	12	0,12	3	0,46	30	0,43	28
	$Min$	0,90	2	1,20	17	-	-	1,06	15	0,86	10
	$Max$	0,40	5	0,40	7	-	-	0,47	8	0,73	16
Лето	$T$	0,58	50	0,52	50	0,43	46	0,68	60	0,68	58
	$Min$	0,30	4	0,70	28	-	-	0,53	12	0,61	10
	$Max$	0,37	4	0,29	4	-	-	0,73	28	0,91	36
Осень	$T$	0,40	17	0,40	20	0,10	2	0,42	20	0,38	18
	$Min$	0,20	0,8	1,10	16	-	-	0,26	0,8	0,21	1,3
	$Max$	0,20	0	0,28	2	-	-	0,75	20	0,85	22

Примечание: жирным выделены статистически значимые тренды

незначимы, то в 1976-2021 гг. скорость выросла до  $b=0,2^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D=17\%$ ) и в 1976-2022 гг. – до  $b=0,21^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D=18\%$ ), тренды статистически значимые.

роста среднегодовой температуры на  $0,54^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D=57\%$ ) и  $0,52^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D=55\%$ ).

В более ранние периоды изменение температуры на высокогорной станции Терскол отличалось от других климатических зон незначительным ростом среднегодовой и сезонных температур (за исключением летней). При увеличении длительности периода скорость годовых температур в Терсколе заметно возросла: если в 1976-2013 гг. скорость была  $b=0,06^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D=2\%$ ), в 1976-2014 гг. –  $b=0,11^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D=2\%$ ) – тренды

## 2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

**Данные.** Использованы данные о месячных суммах осадков на 455 станциях из базового массива ФГБУ «ИГКЭ», расположенных на территории России, стран СНГ и Балтии (из них 315 станций – российские). За 2023 год. 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.

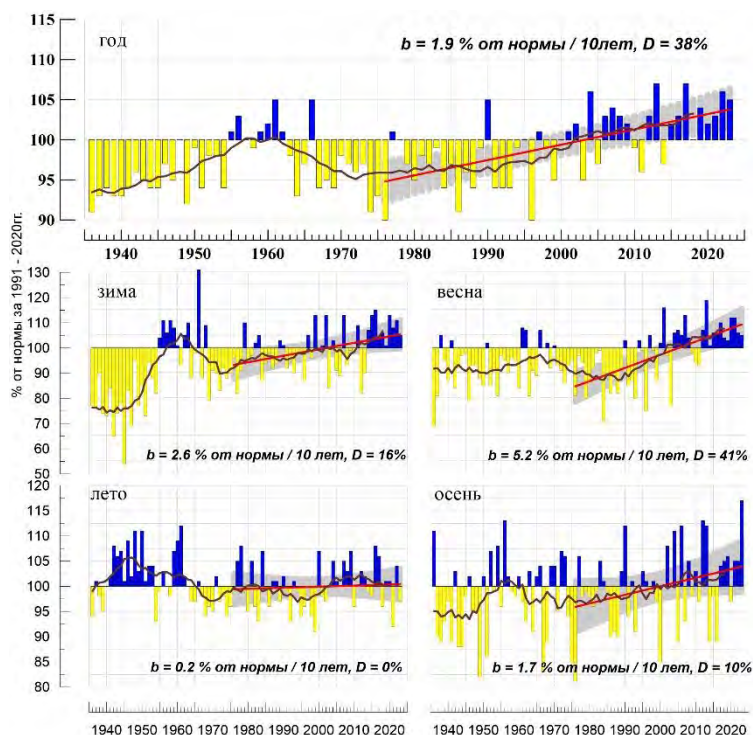
### Особенности режима атмосферных осадков в 2023 году

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 1976-2023 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 2023 году средняя по России годовая сумма осадков составила 106% нормы (ранг 4-5). Доля площади со значительным избытком осадков (более 80-го перцентиля) составила 31%, с дефицитом осадков – 11%. Значительный избыток осадков (рисунок 2.2) наблюдался на большей части ЕЧР (111% – ранг 4, особенно в ЦФО (119% - ранг 3) и в ЮФО (129% - ранг 1)) и на большей части СФО (109% - ранг 5). Небольшой дефицит

осадков наблюдался на Урале, в бассейне Амура, на северо-востоке страны. Из сезонов особо выделяется «влажная» осень – в целом по РФ выпало 117% нормы – максимальная величина в ряду. Кроме того, следует выделить «влажную» весну в ЮФО (144% - ранг 1) и ДФО (120% - ранг 4), «сухую» весну на Южном Урале, на юге Западной Сибири, «сухое» лето в Восточной Сибири (78% - третья среди самых «сухих»).

**Зимой 2022-23 гг.** осадки, осредненные в целом по РФ, составили 105% нормы. Избыток осадков наблюдался на западе ЕЧР (на станциях фиксировались 95%-е экстремумы), на большей части АЧР (особенно на Северо-Сибирской низменности). Дефицит осадков наблюдался в центре и на востоке ЕЧР, в районе Обской губы, на побережье Восточно-Сибирского моря, в Забайкалье, в Приамурье и Приморье.



**Рисунок 2.1** – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (% от нормы от нормы 1991-2020 гг.), осредненные по территории России, 1936-2023 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976-2023 гг.;

$b$  – коэффициент тренда (% от нормы / 10 лет),  $D$  – вклад тренда в суммарную дисперсию (%)

десятка). Избыток осадков (более 120%) наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 194% нормы – ранг 2), в АЧР: в центре и на севере от Урала до бассейна Лены.

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на юге АЧР (в Приамурье и Приморье осадки составили 47% нормы – среди семи самых «сухих»), на востоке Якутии и на Чукотке. Небольшой дефицит осадков наблюдался на севере ЕЧР.

**Весна.** Осредненные по территории РФ осадки составили 105% нормы (в ряду в конце второго десятка). Много осадков выпало в ЮФО (144% нормы – максимальная величина в ряду), в районе Байкала, в Якутии, в Хабаровском крае, на Камчатке (в целом по ДФО осадки составили 120% нормы – ранг 4). Сильный дефицит осадков отмечался на Южном Урале, на юге Западной Сибири (72% - среди семи самых «сухих» весенних сезонов).

**Март.** Осредненные по РФ осадки 144% нормы – максимальная величина в ряду. Избыток осадков наблюдался почти на всей территории страны (кроме востока Якутии, Прикаспия, Среднего Поволжья, Южного Урала). Осредненные по ЕЧР (146%) и по АЧР (142%) осадки – также максимальные величины в соответствующих рядах. В регионах: Средняя Сибирь (171%), Прибайкалье и Забайкалье (140%); в СЗФО (166%), ЦФО (173%), СФО (146%), ДФО (140%) – осредненные осадки – среди пяти самых крупных в рядах. Фиксировались новые рекорды суточных сумм осадков в Красноярском и Алтайском краях,

на большей части АЧР (особенно на Северо-Сибирской низменности). Дефицит осадков наблюдался в центре и на востоке ЕЧР, в районе Обской губы, на побережье Восточно-Сибирского моря, в Забайкалье, в Приамурье и Приморье.

**Январь.** Осредненные по РФ осадки: 99% нормы. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался в центре и на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 34% нормы осадков – среди двух «самых сухих» в ряду); в нижнем течении Лены и в бассейне Алдана; в Приморье.

Избыток осадков (более 120%) наблюдался на севере ЕЧР и Западной Сибири, на большей части СФО (146% - ранг 2), в Магаданской области, на Камчатке.

**Февраль.** Осредненные по РФ осадки 105% нормы (в ряду в начале третьего

Якутии, Приморье. В Якутске во второй декаде месяца отмечена рекордная высота снежного покрова 55 см.

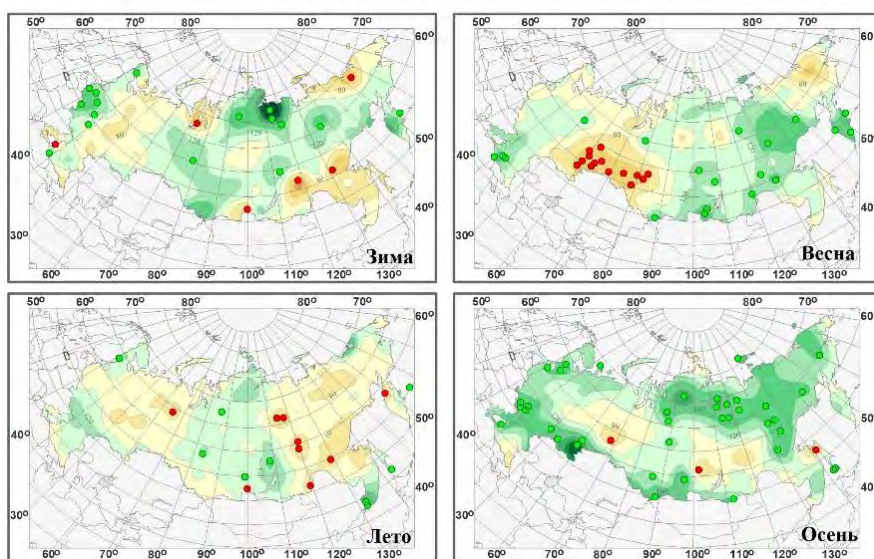
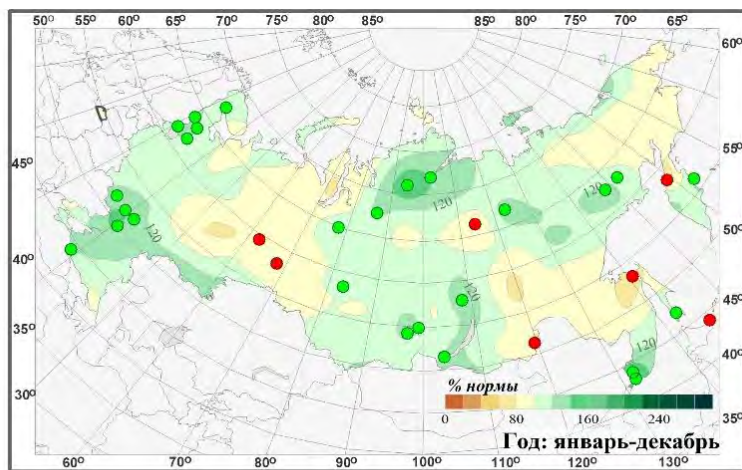
Для Якутии, которая в марте обычно еще находится под влиянием Сибирского антициклона, такое количество осадков стало рекордным на многих метеостанциях (см. врезку на рисунке 2.3). В Якутске суточные максимумы превышались 5 раз, наиболее сильные осадки наблюдались в первой и второй декадах. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на северо-востоке страны в междуречье Яны и Колымы, в Прикаспии, в Среднем Поволжье, на Южном Урале.

**Апрель.**

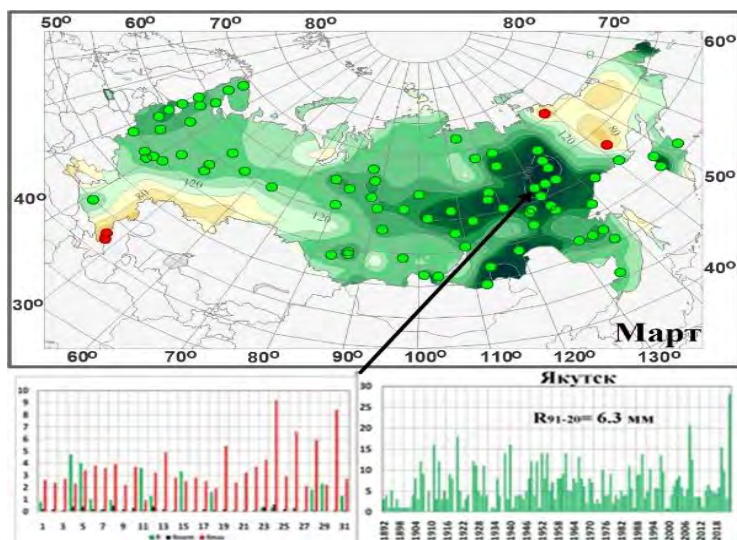
Осредненные по РФ осадки 105% нормы (в ряду в конце третьего десятка). Избыток осадков (более 120% нормы, на ряде станций

фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдался в ЮФО (166% нормы – ранг 3), на Среднесибирском плоскогорье и далее на восток (кроме северных районов АЧР). Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на севере и востоке ЕЧР, в Западной Сибири (74% нормы), на Чукотке.

**Май.** Осредненные по РФ осадки: 81% нормы (среди одиннадцати самых «сухих»), а по АЧР 78% нормы (среди трех самых «сухих»). Сильный дефицит осадков (40-80% нормы, на многих станциях фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в УФО (44% нормы – минимальная величина в ряду) и в СФО (63% - среди двух самых сухих). Сильный дефицит осадков



**Рисунок 2.2** – Аномалии осадков на территории России в 2023 году, с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки)



**Рисунок 2.3** – Аномалии осадков в марте 2023 г. На врезках ряды месячных и суточных сумм осадков на метеорологической станции Якутск в зоне значительного переувлажнения

наблюдался также на западе ЕЧР и на Чукотке. Избыток осадков наблюдался на юге ЕЧР и в бассейнах рек Индигирка и Колыма.

**Лето.** Осредненные по территории РФ осадки составили 97%. Дефицит осадков наблюдался на севере ЕЧР (кроме Карелии), в Западной Сибири, на большей части ДФО (кроме Приморья, в целом по округу выпало 91% нормы осадков – среди девяти самых «сухих» летних сезонов, а в целом по Восточной Сибири 78% - среди трех самых «сухих» летних сезонов). Избыток осадков наблюдался на юге ЕЧР, в Карелии, на большей части СФО, в Приморье.

**Таблица 2.1** – Годовые и сезонные суммы осадков (в % от нормы 1991-2020 гг.) для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2023 году 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 трех наименьших – в ранжированных по убыванию рядах с 1936 года (ранги 86-88)

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	<b>106</b>	105	105	97	<b>117</b>
<i>Физико-географические регионы</i>					
Европейская часть России	<b>111</b>	101	108	96	<b>125</b>
Азиатская часть России	103	108	104	97	<b>113</b>
Западная Сибирь	100	117	72	99	82
Средняя Сибирь	<b>110</b>	113	114	102	<b>105</b>
Прибайкалье и Забайкалье	102	109	118	96	90
Приамурье и Приморье	100	75	104	104	104
Восточная Сибирь	105	105	<b>140</b>	<b>78</b>	<b>109</b>
<i>Федеральные округа РФ</i>					
Северо-Западный	105	103	102	93	120
Центральный	<b>119</b>	120	109	111	133
Приволжский	102	87	92	88	129
Южный	<b>129</b>	102	<b>144</b>	110	134
Северо-Кавказский	109	84	134	91	88
Уральский	96	109	75	95	100
Сибирский	<b>109</b>	116	94	109	<b>115</b>
Дальневосточный	102	100	<b>120</b>	91	<b>117</b>

Летом атмосферные засухи наблюдались во многих областях ЮФО, СКФО, ПФО, УФО, СФО. Началу засух в июне способствовал в основном дефицит осадков на юго-востоке ЕЧР и на юге Сибири; их продолжению в июле в ПФО, на юге УФО и СФО – экстремумы температуры; сильному развитию в августе на юге ЕЧР – крупные положительные температурные аномалии и дефицит осадков.

**Июнь.** Осредненные осадки по РФ – 96% нормы. Дефицит осадков (менее 80%) в центре и на севере ЕЧР (в СЗФО выпало лишь 62% нормы – среди шести самых «сухих» июней в ряду), на Алтае, в Саянах, в Якутии, в Магаданской области, в Хабаровском крае; осредненные по Восточной Сибири осадки 69% - среди трех самых «сухих» июней в ряду), на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы. Избыток осадков наблюдался на севере Западной и Средней Сибири, в районе озера

Байкал, на Чукотке, в Приморье (на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы).

**Июль.** Осредненные осадки по РФ – 106% нормы (в ряду в конце третьего десятка). Избыток осадков наблюдался на большей части ЕЧР, осредненные по ЕЧР осадки составили 142% нормы – максимальная величина в ряду, на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы, особенно много осадков выпало в СЗФО (144% нормы – ранг 3) и в ЦФО (167% - ранг 2). Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался также на Северо-Сибирской низменности, в Магаданской области, на Камчатке. Дефицит осадков наблюдался в центре и на юге АЧР (в Приамурье и Приморье выпало лишь 64% нормы – среди семи самых «сухих» июльских месяцев в ряду).

В **августе** осредненные осадки по РФ составили 89% нормы – среди трех самых «сухих» августов, а по ЕЧР 65% – среди семи самых «сухих» (особенно мало осадков выпало в ЮФО (37% - четвертый самый «сухой» август) и в СКФО (40% самый «сухой» август в ряду). В АЧР дефицит осадков наблюдался на большей части ДФО, а избыток – в СФО.

**Осень.** Осредненные по РФ осенние осадки 117% нормы – максимальная величина в ряду, а по ЕЧР (125% нормы) и АЧР (113%) – вторые величины в соответствующих рядах. На большей части страны (кроме центра Западной Сибири, верхнего течения Лены, предгорий Кавказа) наблюдался значительный избыток осадков (более 120%, на ряде

станций отмечены 95%-е экстремумы), особенно много осадков выпало в Средней Сибири (105% - ранг 3), в Восточной Сибири (109% - ранг 1), в СФО (115% - ранг 3) и в ДФО (117% - ранг 3). Небольшой дефицит осадков наблюдался в центре Западной Сибири, в верхнем течении Лены, в предгорьях Кавказа.

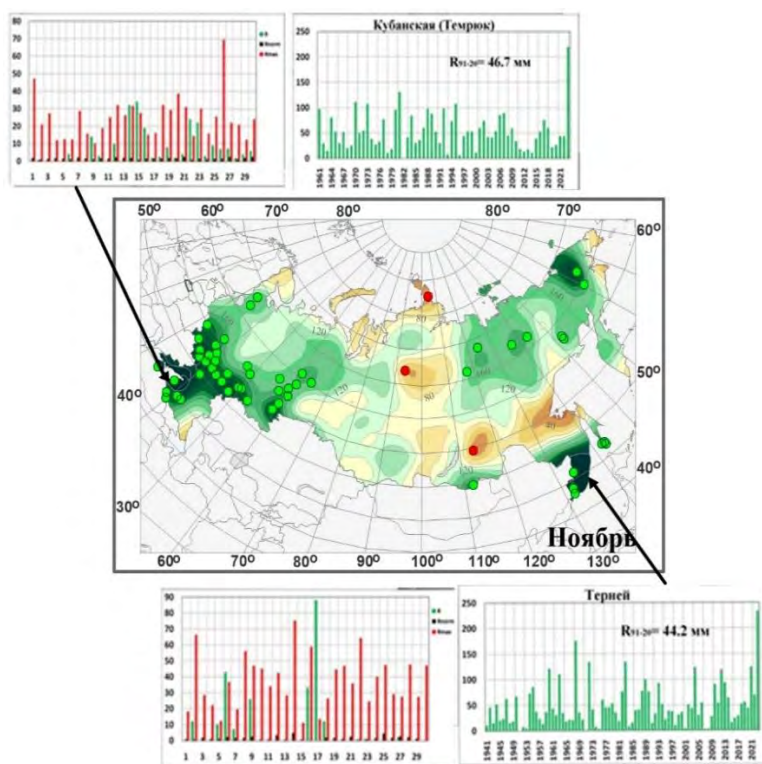
**Сентябрь.** Осредненные по РФ осадки составили 94% нормы, а по ЕЧР лишь 63% нормы – вторая минимальная величина (минимальное количество осадков наблюдалось в 2014 году (63%). В ЦФО, ЮФО, УФО осадки среди пяти самых «сухих» повсеместно отмечены 5%-е экстремумы. Дефицит осадков наблюдалось также в среднем течении Лены, в Приамурье и Приморье.

Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался на севере ЕЧР, в СФО, на большей части ДФО.

**Октябрь.** Осредненные по РФ осадки 124% нормы – максимальная величина в ряду. Значительный избыток осадков (на многих станциях 95%-е экстремумы) наблюдался на ЕЧР (142% нормы – ранг 3, особенно много осадков выпало в СЗФО (137% – ранг 2), в ЦФО (177% – ранг 5) и в ПФО (159% – ранг 4)); в СФО (128% – ранг 1); в центре и на севере ДФО.

Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался в предгорьях Кавказа, в центре Западной Сибири, в Забайкалье, в бассейне Амура, на севере Камчатки.

**Ноябрь.** Осредненные по РФ и ЕЧР осадки оставили 138% и 172% нормы –



**Рисунок 2.4** – Аномалии осадков в ноябре 2023 г. На врезках ряды месячных и суточных сумм осадков на метеорологических станциях Кубанская и Терней в зонах значительного переувлажнения

максимальные величины в рядах, а по АЧР – 118% – пятая величина в ряду. Значительный избыток осадков (более 120%, на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы) в ЦФО (206% - ранг 1), в ПФО (179% - ранг 2), в ЮФО (262% - ранг 1), в УФО (137% - ранг 3), в Восточной Сибири (123%), в Приамурье и Приморье (152%). В первой и второй декадах изобилие осадков досталось южным областям ЕЧР и Приморью. На отдельных метеорологических станциях Ростовской области, Краснодарского края, Республики Крым, южных районов Хабаровского и Приморского краев месячная норма осадков превышена в 4-5 раз (рисунок 2.4). Особенно сильные осадки южный циклон принес на юг ЕЧР 14-

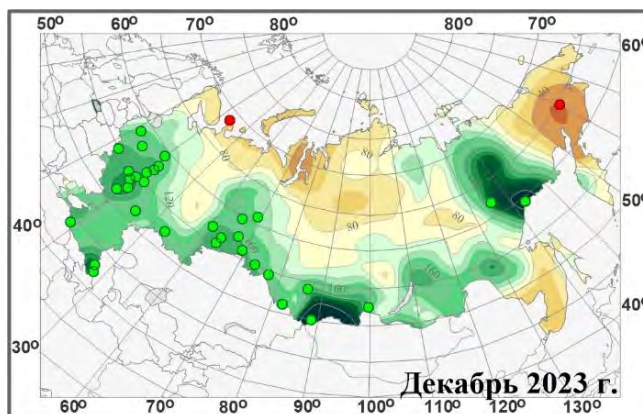
16 ноября. В эти дни суточные суммы осадков превышали максимальные значения на метеорологических станциях Кубанская (Темрюк) и Гигант. В Приморье сильные осадки наблюдались во второй пятидневке первой декады и в середине второй декады. 17 ноября на метеорологической станции Терней за сутки выпало 88 мм осадков, что стало новым максимумом ноября.

Небольшой дефицит осадков наблюдался в центре Средней Сибири, в Забайкалье, в бассейне Амура.



**Декабрь 2023 г.** (рисунок 2.5). Осредненные по РФ осадки 119% нормы (ранг 4), а по ЕЧР – 139% - ранг 2.

Значительный избыток осадков (более 120%, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался в ЦФО (180% - ранг 3) и в СКФО (187% - ранг 4), а также в южных районах АЧР и на востоке Якутии. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на севере ЕЧР, севере Западной Сибири, на Среднесибирском плоскогорье, на Чукотке.



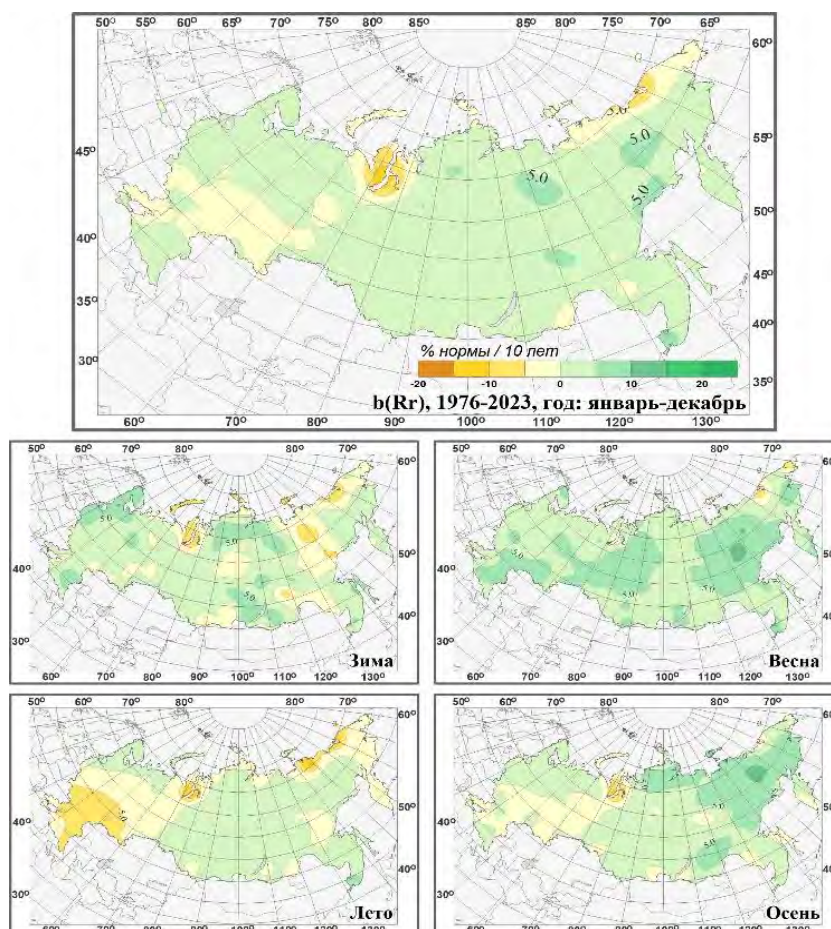
**Рисунок 2.5** – Аномалии осадков в декабре 2023 г.

### 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 станционным 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 1,9% нормы /10 лет, вклад в дисперсию 38% (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)



**Рисунок 2.5** – Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2023 гг. на территории России (% /10 лет)

наблюдаются в регионах Средняя Сибирь (3,4%/10 лет, вклад в дисперсию 36%) и АЧР в

целом (2,2%/10 лет; 44%), а из федеральных округов в СЗФО (2,4%/10 лет, 17%), СФО (2,8%/10 лет, 32%) и ДФО (2,1%/10 лет, 19%).

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* (5,2% нормы / 10 лет, вклад в дисперсию 41%) – увеличение осадков происходит практически везде, особенно в АЧР; местами тренд превышает 10% нормы за десятилетие (на отдельных станциях до 12-15% за десятилетие),

**Таблица 2.2** – Оценки линейного тренда осредненных за год (январь-декабрь) и по сезонам месячных сумм атмосферных осадков для регионов России за 1976-2023 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	1,9	38	2,6	16	5,2	41	0,2	0	1,7	10
<b>Физико-географические регионы России</b>										
Европейская часть России	1,1	7	3,1	13	4,7	22	-2,3	7	0,8	1
Азиатская часть России	2,2	44	2,1	9	5,5	42	1,1	7	2,2	17
Западная Сибирь	1,9	11	2,3	4	5,6	22	0,8	1	0,6	1
Средняя Сибирь	3,4	36	3,1	9	6,0	42	2,9	9	2,9	13
Прибайкалье и Забайкалье	2,0	9	4,5	14	3,1	5	1,0	2	2,8	6
Приамурье и Приморье	2,0	9	2,8	3	5,2	12	2,1	3	-0,4	0
Восточная Сибирь	1,7	6	-0,4	0	6,6	28	-1,6	2	4,9	23
<b>Федеральные округа РФ</b>										
Северо-Западный	2,4	17	4,9	21	3,4	11	0,8	1	1,8	3
Центральный	0,7	1	3,7	7	5,1	12	-4,5	9	0,9	0
Приволжский	-0,5	1	1,3	1	4,8	10	-5,1	12	-1,2	1
Южный	1,0	1	1,0	1	5,7	13	-3,5	4	0,9	0
Северо-Кавказский	1,8	3	3,2	3	6,6	13	-2,1	1	1,7	1
Уральский	1,5	5	1,9	3	5,9	23	0,0	0	-0,2	0
Сибирский	2,8	32	3,1	10	4,8	19	2,3	11	2,1	8
Дальневосточный	2,1	19	1,3	2	5,8	38	0,8	1	2,8	20

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

Рост осадков *зимой* происходит в основном на северо-западе и юге ЕЧР, севере и востоке Средней Сибири, Прибайкалье и Забайкалье. 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 ПФО: -5,1% нормы за десятилетие), а также на арктическом

побережье АЧР. *Осенние* осадки незначительно убывают в центральных районах ЕЧР и Западной Сибири, а также в 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**

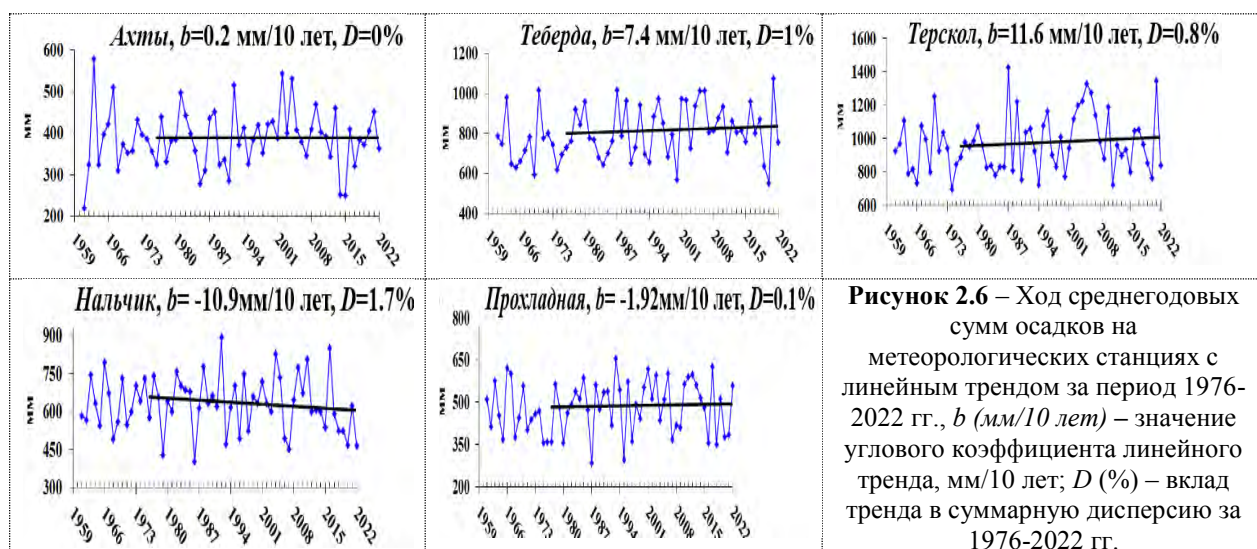
В 2023 году для расчета аномалий использовались новые климатические нормы (средние за 1991-2020 гг.). При этом для климатических норм осадков имело место как увеличение, так и уменьшение значений.

Аномалии показателей режима осадков (сумм осадков, максимума суточных осадков, числа дней с осадками не менее 5 мм) по данным 2023 года представлены в таблице 2.3. Из таблицы 2.3 видно, что в 2023 году имел место дефицит осадков (ниже 5%-го перцентиля) в летний период на метеорологических станциях Теберда и Терскол и в зимний сезон на метеорологических станциях Ахты, Прохладная. В 2023 году имело место превышение климатической нормы сумм осадков в весенний сезон на станциях Теберда и Терскол и летний сезон на метеорологической станции Ахты.

**Таблица 2.3** – Годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии сумм осадков для метеорологических станций юга ЕЧР в 2023 г.:  $\Delta$ , мм – отклонения от нормы (средних за 1991-2020 гг.);  $\sigma$  – стандартное отклонение за 1991-2023 гг. Розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более  $1\sigma$  – голубым – менее  $1\sigma$

	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta$ , мм	$\sigma$ , мм	$\Delta$ , мм	$\sigma$ , мм	$\Delta$ , мм	$\sigma$ , мм	$\Delta$ , мм	$\sigma$ , мм	$\Delta$ , мм	$\sigma$ , мм
<b>Суммы осадков</b>										
Ахты	58,6	70,5	-22,9	15,9	-26,8	39,2	79,3	45,5	20,6	35,14
Теберда	-59,8	128,37	-78,0	80,29	68,2	64,59	-82,8	54,14	0,7	79,89
Терскол	4,9	169,8	-75,2	84,8	134,3	81,0	-112,9	66,2	26,5	92,3
Нальчик	-0,5	107,9	-9,9	20,1	14,1	54,72	16,4	69,6	-26,6	53,4
Прохладная	6,5	92,7	-26,3	19,8	-7,5	44,9	28,4	57,0	12,5	44,3
<b>Максимум суточных осадков</b>										
Ахты	0,1	9,22	-5,1	6,34	7,2	7,25	0,7	10,56	-4,1	9,18
Теберда	-4,7	13,57	-9,8	14,69	4,2	13,39	-5,9	11,78	-9,5	13,02
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-1,3	11,57	-1,7	5,38	-2,7	10,85	4,1	11,58	-4,4	14,44
Прохладная	3,4	15,8	-3,0	4,18	-3,8	14,4	9,1	15,2	12,1	13,7
<b>Число дней с осадками не менее 5 мм</b>										
Ахты	-2,2	4,4	-1,0	1,6	-2,7	2,8	-2,8	3,2	-2,3	2,5
Теберда	0,4	8,05	-1,2	3,74	2,7	4,21	-1,7	4,05	1,0	4,31
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-0,1	6,94	-0,2	1,9	0,8	3,53	-0,6	4,1	-0,3	3,51
Прохладная	0,1	5,6	-0,5	2,0	-0,7	2,8	1,3	3,3	1,0	2,8

В таблице 2.4 и на рисунке 2.6 представлены характеристики линейного тренда  $b$  ( $D$ ) за 1976-2022 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режима осадков на станциях Кавказского региона.



**Рисунок 2.6** – Ход среднегодовых сумм осадков на метеорологических станциях с линейным трендом за период 1976-2022 гг.,  $b$  (мм/10 лет) – значение углового коэффициента линейного тренда, мм/10 лет;  $D$  (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию за 1976-2022 гг.

Общая тенденция для метеорологических станций всех климатических зон – незначительное уменьшение летних сумм осадков. В Ахты, Теберде, Терсколе с 1976 года тренды среднегодовых сумм осадков положительные, но незначимые; в Нальчике и Прохладной имел место статистически незначимый отрицательный тренд.

На всех метеорологических станциях Северного Кавказа наблюдалось как увеличение (в горной зоне), так и уменьшение (в степной и предгорной зонах) годовых и сезонных осадков, в основном статистически незначимое.

В летний сезон в Прохладной для максимальных суточных осадков (3,91 мм/месяц/10 лет,  $D=11\%$ ) имел место положительный тренд на значимом уровне, при этом наблюдается отрицательная тенденция суммы осадков (-9,69 мм/месяц/10 лет,  $D=5\%$ ) и

снижение  $NR5$  (-0,55 мм/10 лет,  $D=6,0\%$ ). В году в целом максимальные суточные осадки также имели положительный тренд на значимом уровне (3,74 мм/месяц/10 лет,  $D=10\%$ ) на фоне уменьшения сумм осадков (-1,92 мм/10 лет,  $D=0,1\%$ ). Остальные тенденции сезонных осадков статистически незначимы.

**Таблица 2.4** – Характеристики линейного тренда  $b$  ( $D$ ) за 1976-202 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	$R$	0,2	0,0	7,4	1,0	11,55	0,8	-10,93	1,7	-1,92	0,1
	$Max$	1,2	3,0	-0,6	0,3	-	-	0,55	0,4	<b>3,74</b>	<b>10,0</b>
	$NR5$	0,02	0,0	<b>1,7</b>	<b>9,0</b>	-	-	0,21	2,0	0,19	0,2
Зима	$R$	1,0	0,7	0,9	0,0	-1,30	0,1	-0,4	0,0	2,39	2,0
	$Max$	1,2	6,0	-2,4	5,0	-	-	-0,28	1,0	0,60	4,0
	$NR5$	0,2	3,0	0,6	5,0	-	-	0,24	3,0	0,25	3,0
Весна	$R$	1,6	0,0	<b>14,0</b>	<b>8,0</b>	14,1	5,0	-0,5	0,0	2,7	0,7
	$Max$	0,7	2,0	-0,13	0,0	-	-	-1,23	2,0	0,03	0,0
	$NR5$	-0,2	1,3	<b>1,0</b>	<b>9,0</b>	-	-	0,18	0,5	0,18	1,0
Лето	$R$	-4,64	0,2	-4,5	1,0	-5,6	1,5	-11,7	5,0	-9,69	5,0
	$Max$	0,96	1,3	-2,2	6,0	-	-	1,14	2,0	<b>3,91</b>	<b>11,0</b>
	$NR5$	-0,13	0,4	0,32	1,0	-	-	<b>-0,87</b>	<b>9,0</b>	-0,55	6,0
Осень	$R$	-1,5	0,4	-2,3	0,2	5,45	0,7	2,0	0,2	3,19	0,9
	$Max$	-1,0	1,0	0,3	0,1	-	-	-1,42	2,0	1,54	3,0
	$NR5$	0,22	2,0	-0,13	0,2	-	-	<b>0,7</b>	<b>7,0</b>	0,35	3,0

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

### 3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2022-2023 гг.

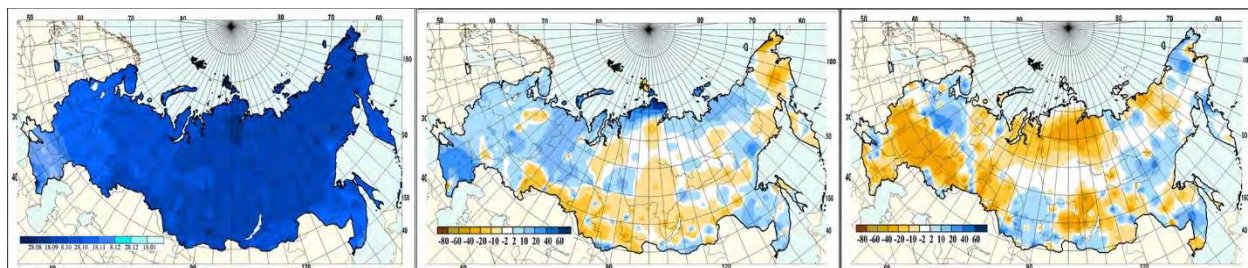
Анализ изменений характеристик снежного покрова проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квазиоднородных климатических регионов характеристик (рисунок 3 Введения). Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеорологических станциях арифметически 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 2022-2023 гг. для регионов России и их ранги по данным за 1967-2023 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 2022-2023 гг.

**Первый снег** зимой 2022-2023 гг. на большей части Европейской части России (ЕЧР) выпал позже среднеклиматических сроков на 5-10 дней, за исключением Южного Урала и отдельных районов Архангельской и Вологодской областей (рисунок 3.1б). В Республике Коми и на Среднем Урале снежный покров установился на 10-20 дней позже обычного. Еще большее отставание от климатических сроков (20-30 дней) отмечалось на большей части

Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. На Азиатской части России (АЧР) раньше климатических сроков на 5-15 дней снежный покров появился на юго-западе Таймырского и в Эвенкийском муниципальных районах Красноярского края, Томской, Иркутской областях, на севере Забайкалья. Необычно рано, на 15-25 дней раньше климатических сроков снежный покров установился в южных областях Западной Сибири, Красноярского края, Тыве и на Чукотке. На юге Красноярского края первый снег лег уже в середине второй декады октября.



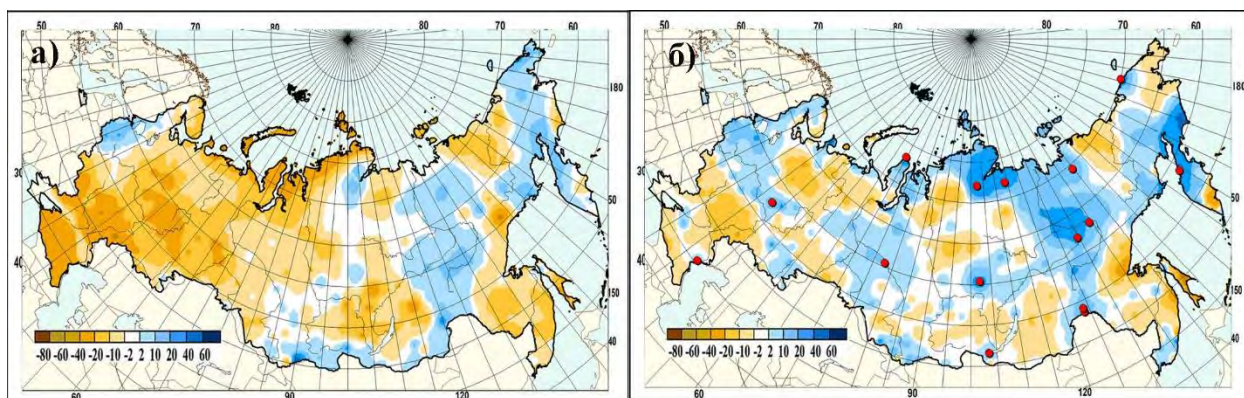
**Рисунок 3.1** – а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2021-2022 гг. б) Аномалии в датах появления первого снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2022-2023 гг. (от норм 1991-2000 гг.) в) Аномалии в датах схода снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2022-2023 гг. (от норм 1991-2000 гг.)

На арктическом побережье АЧР снежный покров установился позже климатических сроков из-за очень теплой погоды в октябре 2022 года. Особенно значительным сдвиг сроков появления снежного покрова (более 40 дней) оказался на севере Таймыра.

Аномально теплая погода в феврале-марте на ЕЧР и в Сибири обусловила сход снежного покрова на 15-25 дней раньше климатических сроков. Несмотря на теплую погоду, снежный покров задержался дольше обычного в Архангельской, Вологодской, Мурманской областях и Республике Карелия. На АЧР снег сошел позже климатических сроков в центральных и южных районах Красноярского края, центральных и юго-восточных районах Якутии, на Чукотке, севере Камчатки, юге Хабаровского края и севере Приморья. В Иркутской области, северо-западных и северо-восточных районах Якутии снежный покров сошел позже средних климатических сроков на 15-25 дней.

**Продолжительность залегания снежного покрова** в среднем по России оказалась значительно меньше климатической нормы (таблица 3.1, рисунок 3.2), отрицательная аномалия вошла в десятку наименьших значений в ранжированном ряду с 1967 года. 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 в ЮФО и СКФО, Прибайкалье, на севере Западной Сибири и дальневосточном юге, а также в бассейне Колымы и на северном побережье Охотского моря (рисунок 3.3а). Во всех квазиоднородных районах снег лежал меньше климатических сроков, за исключением Чукотки и севера Камчатки, а также Алтая и Саян. Отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова в I, IV, V и VII квазиоднородных районах вошли в десятку наименьших значений в ранжированном ряду с 1967 года, а в IX районе отрицательная аномалия нынешнего года стала рекордной.

В зимний период 2022-2023 гг. **максимальная высота снежного покрова** в среднем по России оказалась ниже климатической нормы (таблица 3.1). Наибольшие по абсолютной величине отрицательные аномалии высоты снежного покрова отмечены в Поволжье, горных районах Северного Кавказа, на северо-востоке ЕЧР, юге Таймыра, в Эвенкии, Иркутской области, Забайкалье и на юге Дальнего Востока (рисунок 3.2б).



**Рисунок 3.2** – а) Аномалии числа дней с покрытием снегом более 50% территории вокруг метеорологической станции зимой 2022-2023 гг. (от среднеемноголетних значений за период 1991-2000 гг.); б) Аномалии максимальной высоты снежного покрова зимой 2022-2023 гг. (от средних многолетних значений за период 1991-2000 гг.). Кружками красного цвета показаны станции, на которых зарегистрирован абсолютный максимум высоты снежного покрова

Необычно много снега выпало в северо-западных и центральных районах Якутии, а также на севере Камчатского края, где на отдельных метеорологических станциях превышены абсолютные максимумы высоты снежного покрова. Аномалия максимальной

высоты снежного покрова во II квази-однородном районе попала в десятку наиболее крупных положительных аномалий в ранжированном ряду. Отрицательные аномалии максимальной высоты снежного покрова получены в IV, VII и IX районах.

Максимальный за прошедшую зиму **запас воды в снеге** по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался ниже нормы и в лесу, и в поле. (таблица 3.2), причем отрицательная аномалия запаса воды в снеге на лесном маршруте попала в десятку наименьших в ранжированном ряду с 1967

года. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены в I, IV, V, VII и VIII квазиоднородных регионах. Положительные аномалии запаса воды в снеге на лесном маршруте отмечены в западных и центральных областях Европейской территории, на востоке Ямало-Ненецкого АО, большей части Якутии, в среднем течении Амура и прибрежных районах Магаданской области (рисунок 3.3а). В центре и на юге Восточной Сибири (район VI) значение аномалии запаса воды в снеге на лесном маршруте оказалось в десятке наибольших. В поле значительные положительные аномалии запаса воды в снеге

**Таблица 3.1** – Средние за зимний период (2022/2023 гг.) аномалии характеристик снежного покрова, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России:

$\Delta$  - отклонения от средних за 1991-2020 гг.; R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик зимнего периода за 1967-2023 гг.;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение.

Регион	Максимальная высота			Число дней со снегом		
	$\Delta$	R	$\sigma$	$\Delta$	R	$\sigma$
Россия	-0,57	23	3,43	-7,67	<b>52</b>	5,10
Север ЕЧР и Западной Сибири	0,50	15	8,02	-12,61	<b>53</b>	9,64
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	6,14	<b>3</b>	4,46	-1,98	31	6,95
Чукотка и север Камчатки	3,24	19	11,33	5,79	20	10,55
Центр ЕЧР	-2,24	29	7,06	-14,27	<b>53</b>	10,97
Центр и юг Западной Сибири	1,11	17	7,39	-7,38	<b>49</b>	8,02
Центр и юг Восточной Сибири	2,03	11	3,78	-1,84	34	6,27
Дальний Восток	-4,45	31	6,34	-9,77	<b>48</b>	6,76
Алтай и Саяны	1,08	19	5,94	3,56	21	8,34
Юг ЕЧР	-2,95	40	4,06	-35,56	<b>57</b>	14,15

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за зимы 1967-2023 гг.

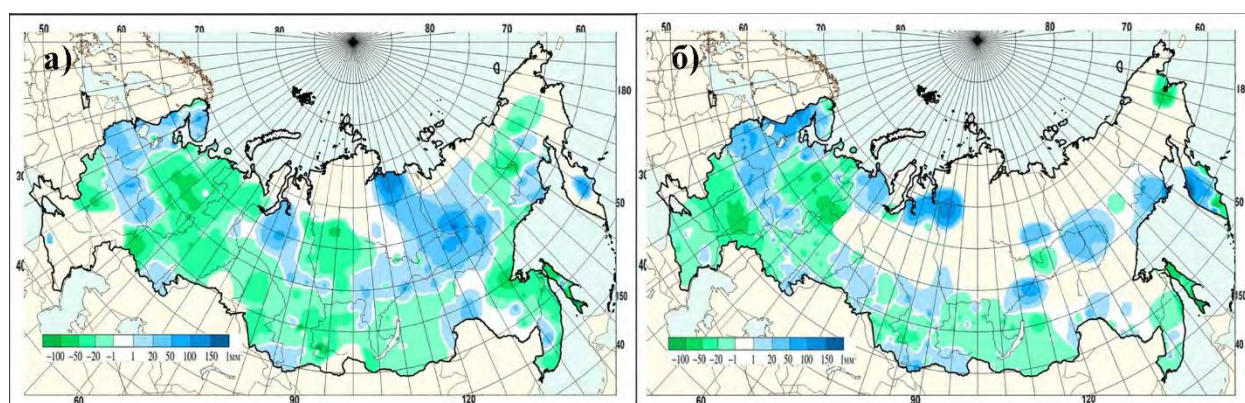
получены на северо-западе Европейской территории, севере Сибири, в Якутии и северо-западных районах Камчатки (рисунок 3.3б), при этом положительная аномалия во II квазиоднородном районе вошла в десятку наибольших. Отрицательные аномалии максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте получены во всех квазиоднородных районах, за исключением I, II, VIII. Значительный дефицит запаса воды в снеге в поле отмечен в III квазиоднородном районе (Чукотка и север Камчатки), и это наименьшее значение в ранжированном ряду с 1967 года. И в целом для России запас воды в снеге на полевом маршруте оказался ниже климатической нормы.

**Таблица 3.2** – Аномалии максимального за зимний период (2022/2023 гг.) запаса воды в снеге, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России.

$\Delta$  – отклонения от средних за 1991-2020 гг.,  $R$  – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1967-2023 гг.;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение

Р е г и о н	Запас воды в снеге (поле)			Запас воды в снеге (лес)		
	$\Delta$	ранг	$\sigma$	$\Delta$	ранг	$\sigma$
Россия	-3,04	24	9,70	-7,31	<b>50</b>	8,11
Север ЕЧР и Западной Сибири	10,31	16	18,33	-6,74	34	25,69
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	26,60	<b>7</b>	25,60	0,20	25	12,58
Чукотка и север Камчатки	-55,00	<b>57</b>	30,49	6,14	14	30,66
Центр ЕЧР	-4,99	31	19,37	-13,40	47	19,45
Центр и юг Западной Сибири	-2,12	24	17,78	-9,60	38	22,67
Центр и юг Восточной Сибири	-3,27	28	6,81	7,12	<b>10</b>	8,01
Дальний Восток	-5,59	24	20,32	-27,73	44	24,97
Алтай и Саяны	1,47	13	14,97	-14,03	34	29,27
Юг ЕЧР	-8,32	42	10,34	21,00	12	11,49

\* жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1967-2023 гг.



**Рисунок 3.3** – Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2020-2023 гг. (от среднемноголетних значений за период 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б)

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

Характер погоды в первой половине марта на европейской части России (ЕЧР) ознаменовался неоднородным температурным режимом – превышающим среднемноголетние значения в южных районах и около нормы и ниже ее в центральных и северных районах ЕЧР. Максимальные запасы воды в снежном покрове в южных и центральных районах ЕЧР были достигнуты к 10 марта, а в северных районах ЕЧР и на азиатской части страны – к 20 марта.

По состоянию на 10 марта 2023 г. запасы воды в снежном покрове в бассейнах рек Кама, Белая, Саратовского, Волгоградского водохранилищ составили 24-91% нормы, на остальных территориях бассейна Волги – 104-132% нормы. Запасы воды в снеге, сформировавшиеся в бассейне Верхней Волги, на реках Кострома, Унжа, Москва-река, Ока, Ветлуга, Вятка и в Чебоксарском водохранилище, оказались на 2-28 мм больше значений прошлого года; в бассейне Волгоградского водохранилища – на 113 мм и на остальной

территории бассейна Волги – на 4-34 мм меньше аналогичных значений 2022 года. В целом на территории бассейна Волги запасы воды в снеге составили 104% нормы и были на 15 мм меньше прошлых годов.

На территории бассейнов Дона выше Цимлянского водохранилища, на реках Хопер и Медведица запас воды в снеге составил 13-21% нормы и был меньше аналогичных значений 2022 года на 70-106 мм.

**Таблица 3.3** – Сведения о максимальных запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ Российской Федерации весной 2023 года (в сравнении с нормой и запасами воды в снеге в аналогичные сроки 2022 года): *н2022, н2023* – запасы воды в снеге в 2022 и 2023 годах.

№ п/п	Бассейны рек	Запасы воды в снеге				
		норма	н2022	н2023		
		мм	мм	мм	% от нормы	% от н2022
1	<b>ВОЛГА, в том числе:</b>	<b>114</b>	<b>133</b>	<b>118</b>	<b>104</b>	<b>89</b>
2	до Рыбинского водохранилища	101	119	126	125	106
3	р. Кострома и р. Унжа	126	113	141	112	125
4	р. Москва	95	77	99	104	129
5	р. Ока, включая бассейн р. Москвы	74	93	98	132	105
6	р. Сура	86	119	99	115	83
7	р. Ветлуга	133	128	149	112	116
8	Чебоксарское водохранилище	85	103	105	124	102
9	р. Вятка	144	153	162	113	106
10	Куйбышевское водохранилище	129	148	144	112	97
11	Саратовское водохранилище	92	134	74	80	55
12	Волгоградское водохранилище	66	129	16	24	12
13	р. Кама до г. Пермь	165	184	150	91	82
	Воткинское водохранилище	130	159	145	112	91
14	р. Белая	135	146	118	87	81
15	<b>ДОН, в том числе:</b>	<b>48</b>	<b>80</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>13</b>
16	Хопер	55	118	12	22	10
17	Медведица	53	100	7	13	7
<i>Примечание: все данные приведены на 10 марта 2023 года</i>						
<b>Реки северо-запада</b>						
18	Нарва	51	17	72	141	424
19	Волхов	62	35	103	166	294
<i>Примечание: все данные приведены на 10 марта 2023 года</i>						
<b>Реки севера ЕЧР</b>						
20	Северная Двина	121	157	121	100	77
21	Сухона	125	134	133	106	99
22	Вага	124	165	115	93	70
23	Юг	115	144	150	130	104
24	Пинега	101	170	119	118	70
25	Вычегда	139	165	125	90	76
26	Мезень	140	161	138	99	86
<i>Примечание: все данные приведены на 20 марта 2023 года</i>						
<b>Реки и водохранилища Сибири</b>						
27	Верхняя Обь	83	75	63	76	84
28	Тобол	61	82	85	139	104
29	Енисей (Саяно-Шушенское водохранилище)	118	107	132	112	123
30	Енисей (Красноярское водохранилище)	120	101	116	97	115
31	Ангара (оз. Байкал)	79	70	87	110	124
32	Ангара (Братское водохранилище)	70	71	80	114	113
33	Ангара (Усть-Илимское водохранилище)	117	135	118	101	87
<i>Примечание: все данные приведены на 20 марта 2023 года</i>						

На северо-западе в бассейнах рек Нарва и Волхов запас воды в снеге составили 141-166%. Запасы воды в снеге были на 55-68 мм больше, чем в 2022 году.

По состоянию на 20 марта 2023 г. в бассейнах рек Северная Двина, Вага, Пинега, Вычегда, Мезень и Сухона запасы воды составили 90-130% нормы. Запас воды в снеге в



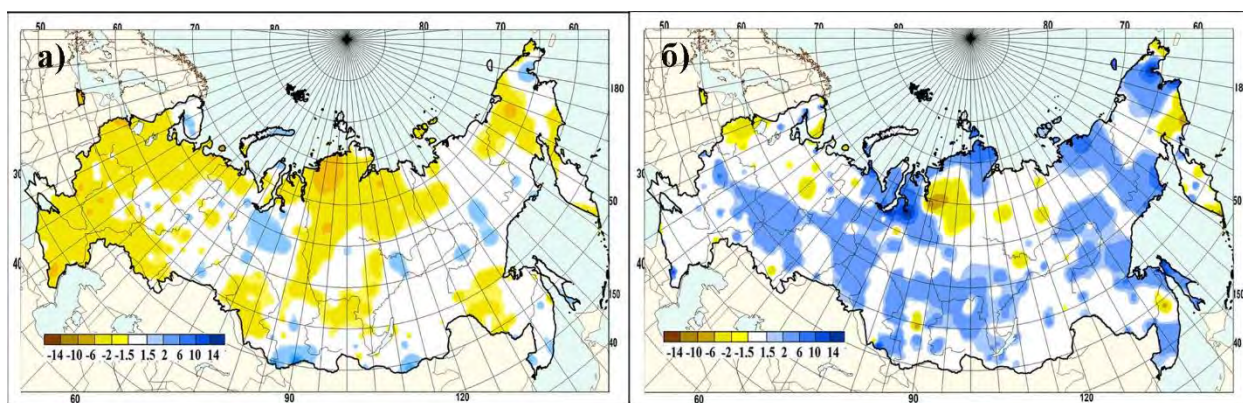
бассейнах рек Северная Двина, Вага, Пинега, Вычегда и Мезень оказались на 23-51 мм меньше аналогичных значений 2022 года; в бассейне реки Сухона близкими к ним; в бассейне реки Юг на 6 мм больше прошлогодних значений.

В бассейнах рек и водохранилищ Сибири запасы воды в снеге на 20 марта составили 76-139% нормы. Запасы воды в снеге в бассейнах Верхней Оби и Усть-Илимского водохранилища оказались на 12-17 мм меньше аналогичных значений 2022 года; на остальных бассейнах Сибири – на 3-25 мм больше.

### 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 – 2023 гг., рассчитанных по данным стационарных наблюдений на территории России, показано на рисунке 3.4а. Тренд выражен в см/10 лет.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции приведено на рисунке 3.4а (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-уровне). Как и в предыдущем году 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 востоке автономных округов Тюменской области. В среднем для России число дней со снегом, как и в прошлом сезоне, сокращается на 1,64 дня за 10 лет (таблица 3.4), то есть сохраняется прежняя 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%. 1976-2023 гг.

Увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается в центральных и восточных районах ЕЧР, на Урале, на большей части Западной Сибири, побережье Охотского моря, в центре и на юге Красноярского края, востоке Якутии, в Прибайкалье, Чукотском АО, Приморском крае и на Сахалине (рисунок 3.4б). Уменьшение максимальной за зиму высоты снежного покрова отмечается на северо-западе и отдельных станциях на севере ЕЧР, севере Камчатского края, юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края и отдельных станциях Республики Саха-Якутия. При осреднении по регионам, статистически значимые на 5%-уровне положительные коэффициенты линейного тренда, как и в прошлом сезоне, 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 2023 гг. по данным маршрутных наблюдений не претерпели больших изменений по сравнению с периодом 1976-2022 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, хотя площади этих очагов немного уменьшились. Сохраняется тенденция увеличения запаса воды в поле на Камчатке, Сахалине, в нижнем течении Амура и Приморье (рисунок 3.5а).

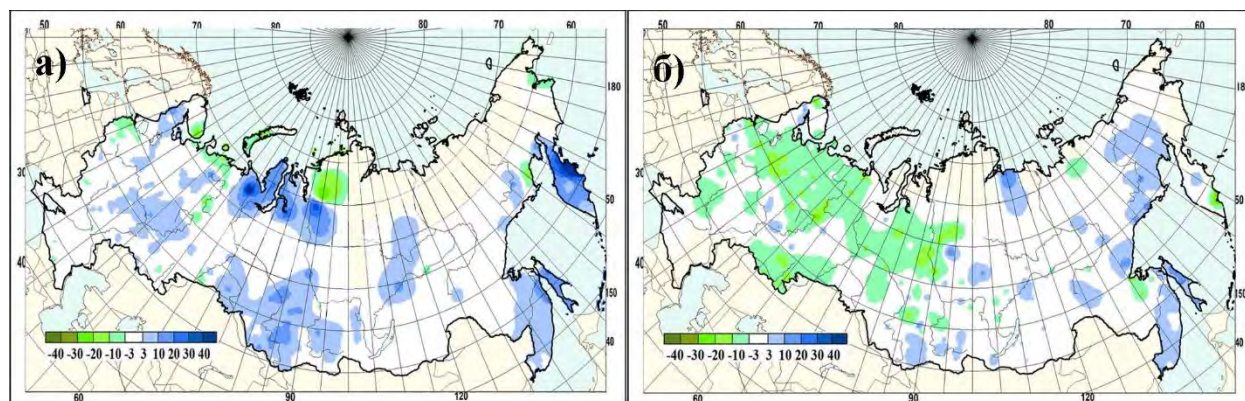


Рисунок 3.5 – Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б). 1976-2023 гг.

Уменьшение запаса воды в снеге в поле отмечается на северо-западе и севере ЕЧР, Полярном Урале, юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края. 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 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-

Таблица 3.4 – Оценки линейного тренда (значимые на 5%-м уровне) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2023 гг.:

*Hmax, см/10 лет* – максимальная высота снежного покрова; *Nd, дни/10лет* – число дней со снежным покровом; *SWEn, 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>SWEn</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				

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 2022 – 2023 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы, аномалия вошла в десятку наименьших значений. В северных районах страны, центральных районах ЕЧР и Западной Сибири, на Дальнем Востоке отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова вошли в десятку наименьших в ранжированном ряду с 1967 года. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России также оказалась ниже климатической нормы, при этом аномалия максимальной высоты снега во II квазиоднородном районе (север Восточной Сибири и Якутии) попала в десятку наиболее крупных в ранжированном ряду. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался ниже нормы как в лесу, так и в поле. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены в I, IV, V, VII и VIII квазиоднородных регионах. В центре и на юге Восточной Сибири (район VI) положительная аномалия запаса воды в снеге на лесном маршруте оказалась в десятке наибольших. В поле положительная аномалия во II квази-однородном районе вошла в десятку наибольших. Отрицательные аномалии максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте получены во всех квазиоднородных районах, за исключением I, II, VIII. Значительный дефицит запаса воды в снеге в поле отмечен в III квази-однородном районе (Чукотка и север Камчатки), и это наименьшее значение в ранжированном ряду с 1967 года.

#### **4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК**

##### *Сроки начала появления плавающего льда на реках и установления ледостава на водохранилищах в 2022 году*

Появление льда осенью 2022 года началось на реках Яна, Индигирка и Колыма в первой декаде октября на 1-3 дня позже нормы. Во второй декаде октября около нормы ледообразование началось на реке Лена от с. Сангары до с. Кюсюр.

В третьей декаде октября около нормы и до 5 дней позже нормы ледообразование началось на реках Енисей (у г. Кызыл), Амур (на участке село Покровка – село Иннокентьевка). На 7-14 дней позже нормы появление льда началось на реках Лена (от г. Усть-Кут до г. Якутск), Енисей (от с. Ворогово до г. Дудинка), Обь (на участке с. Мужы – г. Салехард), Печора (ниже с. Усть-Щугор), Зея (ниже с. Мазаново).

В первой декаде ноября около нормы ледообразование началось на реке Амур от г. Хабаровск до с. Мариинское. На 7-17 дней позже нормы появление льда началось на реках Амур (на участке с. Иннокентьевка – с. Ленинское), Обь (на участках г. Колпашево – г. Сургут и пгт. Октябрьское – с. Мужы), Печора (выше с. Усть-Щугор).

Во второй декаде ноября на 9-22 дней позже нормы ледообразование происходило на реках Северная Двина, Сухона, Вычегда, Кострома, Унжа, Ветлуга (ниже г. Шарья), Кама (выше г. Соликамска), Вятка, Обь (выше г. Камень-на-Оби и от г. Новосибирск до г. Колпашево и от г. Сургут до пгт. Октябрьское), Иртыш, Тобол (ниже г. Ялуторовск), Тура (ниже г. Туринск), Тавда (ниже г. Тавда), Амур (от с. Ленинское до г. Хабаровск). Около нормы появление льда началось на р. Ока ниже устья р. Мокша.

Также во второй декаде ноября позже нормы началось установление ледостава на Камском водохранилище на 10-15 дней, на Воткинском, Нижнекамском водохранилищах и Беломорско-Балтийском канале – на 3-7 дней.

В третьей декаде ноября около нормы и до 6 дней позже нормы началось ледообразование на Верхней и Средней Волге, на Верхней и Средней Оке, на Москве-реке (выше г. Москва), реках Нева, Дон (от устья р. Воронеж до ст-ца Вешенская), на Верхнем и Среднем Днепре, реках Десна и Западная Двина. На 16-17 дней позже нормы началось ледообразование на реках Сура (ниже г. Алатырь) и Белая (ниже г. Уфа).

Также в третьей декаде ноября началось установление ледостава на водохранилищах Рыбинском и Куйбышевском на 1-8 дней позже нормы, на Горьковском и Чебоксарском - на 3-4 дня раньше нормы.

В первой декаде декабря на 4-14 дней раньше нормы ледообразование началось на Нижней Волге и на Нижнем Дону. На 5-16 дней позже нормы ледообразование началось на реке Дон выше устья р. Воронеж и на участке ст-ца Вешенская – ст-ца Трехостровская. Началось установление ледостава на Саратовском и Волгоградском водохранилищах на 1 - 8 дней раньше нормы.

### ***Сроки вскрытия и очищения рек и водохранилищ ото льда весной 2023 года***

Весну в 2023 году можно охарактеризовать как раннюю. Вскрытие ото льда большинства рек европейской и азиатской части России преимущественно произошло раньше средних многолетних сроков на 5-24 дня.

Во второй декаде марта на 7-20 дней раньше нормы вскрылись реки Дон (верхнее и среднее течение), Хопер, Десна, Медведица, начался дрейф льда на Цимлянском водохранилище. В конце второй декаде марта на 14 дней раньше нормы вскрылась река Москва выше г. Москвы.

В третьей декаде марта на 2-22 дня раньше нормы вскрылись Верхняя Волга, реки Ока, Сура (ниже г. Алатырь), Днепр (выше г. Смоленск), Западная Двина (выше г. Витебск), а также очистилось ото льда Волгоградское водохранилище.

На 9-18 дней раньше нормы – в конце марта - начале апреля вскрылась р. Белая, очистилось ото льда Саратовское водохранилище.

В первой декаде апреля около нормы и до 20 дней раньше нормы вскрылись реки Кострома, Унжа, Ветлуга, Вятка, Обь (выше г. Камень-на-Оби), Тобол (ниже г. Ялуторовск), Тура (ниже г. Туринск), Тобол (ниже г. Тавда), а также очистились ото льда Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища.

Во второй декаде апреля на 7-15 дней раньше нормы вскрылись реки Иртыш (на участке пгт. Черлак – г. Омск), Северная Двина (выше д. Абрамково), Кама (выше г. Соликамск), Амур (от с. Иннокентьевка до г. Комсомольск-на-Амуре).

В конце второй и в третьей декаде апреля на 2-9 дней раньше нормы вскрылись реки Обь (ниже Новосибирского водохранилища до устья р. Чулым), Северная Двина (ниже д. Абрамково, исключая устьевой участок), Иртыш (на участке г. Карташево – г. Тобольск).

В третьей декаде апреля на 1-3 дня раньше нормы вскрылись реки Вычегда (среднее и нижнее течение), Печора (выше с. Усть-Щугор), Иртыш (ниже г. Тобольск), Енисей (у г. Кызыл), Амур (от г. Комсомольск-на-Амуре до с. Мариинское), Аргунь, Зeya, а также очистились ото льда Рыбинское, Шекснинское, Камское и Воткинское водохранилища.

В конце третьей декады апреля – в первой декаде мая около нормы и до 6 дней раньше нормы вскрылись реки Пинега (исключая верховья), Амур (на участке с. Покровка – с. Кумара), Амгунь (ниже устья р. Дуки).

На 4-5 дней позже нормы вскрылись реки Лена (на участке рп. Качуг – г. Усть-Кут) и Обь (от устья р. Чулым до г. Колпашево).

В первой декаде мая на 3-9 дней раньше нормы вскрылись р. Мезень, р. Печора от с. Усть-Щугор до с. Усть-Уса, р. Обь на участке г. Сургут – пгт. Октябрьское.

На 3-7 дней позже нормы вскрылись реки Обь (от г. Колпашево до г. Сургут), Кан (исключая верховья), Лена (на участке г. Усть-Кут – г. Киренск), Киренга (от д. Казачинское до г. Киренск).

В конце первой и во второй декаде мая на 5-8 дней позже нормы вскрылись реки Енисей (на участке с. Назимово – с. Ярцево), Лена (на участке г. Киренск – рп. Витим) и на 2 дня раньше нормы вскрылись реки Обь (на участке пгт. Октябрьское – с. Мужики), а также около нормы очистился ото льда водораздельный бьеф Беломорско-Балтийского канала.

Во второй декаде мая на 3-4 дня раньше нормы вскрылись реки Печора (от с. Усть-Уса до с. Усть-Цильма), Колыма (от пос. Усть-Среднекан до г. Среднеколымск).

Около нормы и до 5 дней позже нормы вскрылись реки Енисей (от с. Ярцево до с. Верхнеимбатское), Витим (ниже г. Бодайбо), Лена (от рп. Витим до рп. Сангары), Алдан, Вилюй (ниже с. Сунтар).

В конце второй и в третьей декаде мая на 1-3 дня раньше нормы вскрылись реки Обь (на участке с. Мужы – г. Салехард), Енисей (на участке с. Верхнеимбатское – с. Туруханск).

В третьей декаде мая около нормы и до 4 дней раньше нормы вскрылись реки Енисей (от с. Туруханск до г. Игарка), Колыма (на участке г. Среднеколымск – рп. Черский). Около нормы и до 5 дней позже нормы вскрылись реки Лена (от рп. Сангары до с. Кюсюр) и Яна (от г. Верхоянск до п. ст. Юбилейная).

В конце мая и в первой декаде июня около нормы вскрылись реки Енисей (от г. Игарка до пос. Усть-Порт), Индигирка.

## 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 года, так как инструментальные наблюдения за отложениями доступны на технических носителях с этого года. Нормы (среднемноголетние 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.

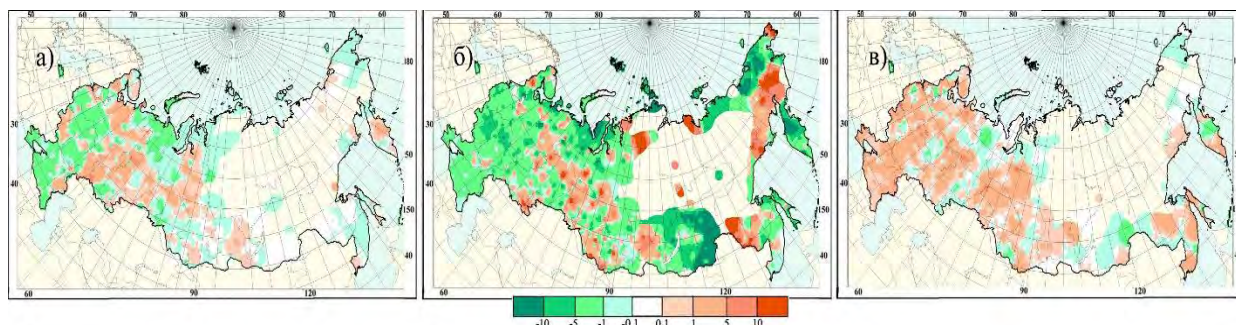
Анализ изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений (ГИО) проводился по данным на метеостанциях и по рядам средних для 18 квазиоднородных климатических регионов характеристик. Осреднение по регионам производилось поэтапно: сначала аномалии, рассчитанные на станциях, арифметически осреднялись 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 2022-23 гг.

На рисунке 5.1 представлено пространственное распределение аномалий суммарного за холодный период числа случаев гололеда, кристаллической изморози и отложения мокрого снега. Суммарные за холодный период аномалии числа случаев **гололеда** (рисунок 5.1а) были положительными в ПФО, Брянской, Курской, Астраханской областях, на юго-западе Архангельской и западе Иркутской областей, востоке ЯНАО и ХМАО. Отрицательные аномалии числа случаев гололеда отмечались в ЦФО, ЮФО и востоке СЗФО.

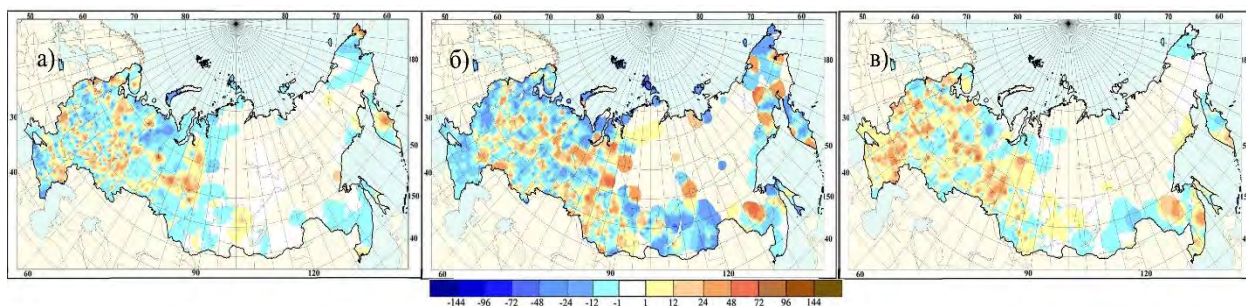
Обширный очаг отрицательных аномалий числа случаев **кристаллической изморози** (рисунок 5.1б) сформировался на большей части ЕЧР (от 1 до 5 случая), в

Забайкалье, севере Чукотки и в Камчатском крае (от 5 до 10 случаев), что обусловлено аномально теплой погодой, когда условий для образования кристаллической изморози практически не было. Небольшие области положительных аномалий сформировались на севере ПФО, юге УФО и Западной Сибири, в Амурской, Магаданской областях, на севере Камчатского края. Положительные аномалии, как и в предыдущие годы, преобладали в распределении числа случаев с отложением **мокрого снега** на ЕЧР и юге Западной Сибири (рисунок 5.1в).



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

Географическое распределение суммарной продолжительности рассматриваемых отложений показано на рисунке 5.2. На ЕЧР распределение продолжительности **гололеда** носит пятнистый характер, однако можно отметить, что на 12-24 часа меньше сохранялся гололед в ЦФО, Ненецком АО, в Краснодарском и Ставропольском краях, также на северо-востоке Коми (рисунок 5.2а). Отрицательные аномалии продолжительности **кристаллической изморози** отмечаются в ЮФО, на западе ЦФО, севере СЗФО, в Забайкалье и на севере Чукотки (от 12 до 48 часов). Положительные аномалии продолжительности **отложения мокрого снега** наблюдаются на ЕЧР, в УФО и Западной Сибири (рисунок 5.2в).



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

Анализ пространственного распределения аномалий веса **гололеда** (рисунок 5.3а) показывает, что преобладали отрицательные аномалии веса гололеда. Максимальные отрицательные аномалии наблюдались на юге ЦФО, в Ставропольском крае, Ростовской и Оренбургской областях (0,8-1,6 г/см).

Положительные аномалии веса гололеда отмечались в Крыму, Краснодарском крае, Калмыкии, на юго-западе и северо-востоке ПФО, юго-западе УФО (0,8-1,6 г/см). Отрицательные аномалии веса **кристаллической изморози** получены на ЕЧР, севере Западной Сибири, в УФО, Камчатском крае и на Чукотке (0,8-1,6 г/см и более). Небольшие очаги положительных аномалий веса кристаллической изморози прослеживались в Челябинской области, на юге Западной Сибири (рисунок 5.3б). Значительные положительные аномалии веса **отложения мокрого снега** (рисунок 5.3в) отмечались в Крыму, на севере ЮФО, в центре ЦФО, Карелии, Свердловской и Тюменской областях, на

Сахалине. Наиболее выраженные отрицательные аномалии веса отложения мокрого снега были получены на северо-востоке ЦФО, юго-западе СЗФО, в Брянской области и Приморском крае (0,8-1,6 г/см и более).

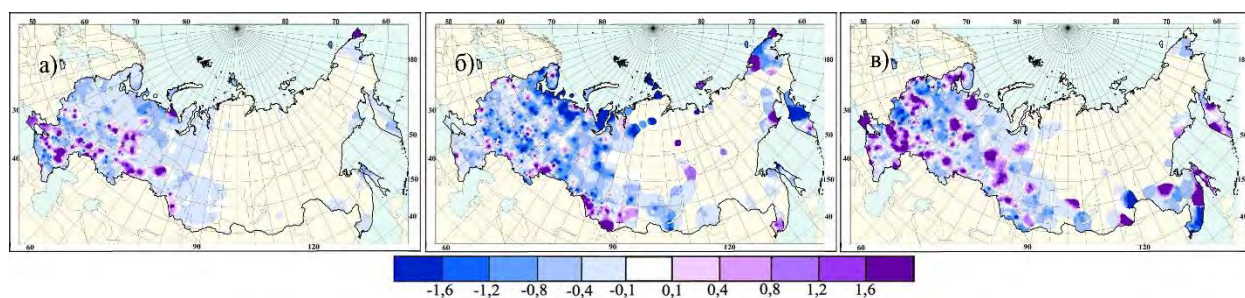


Рисунок 5.3 – Аномалии среднего за холодный период веса (г/см): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

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

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда суммарного за холодный период числа случаев рассматриваемых отложений приведено на рисунке 5.4. Оно мало чем отличается от полученного годом ранее. По-прежнему преобладают положительные тенденции числа случаев с **гололедом** (рисунок 5.4а) на ЕЧР, наибольшие коэффициенты линейного тренда получены на северо-востоке ПФО, юго-востоке СЗФО 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.

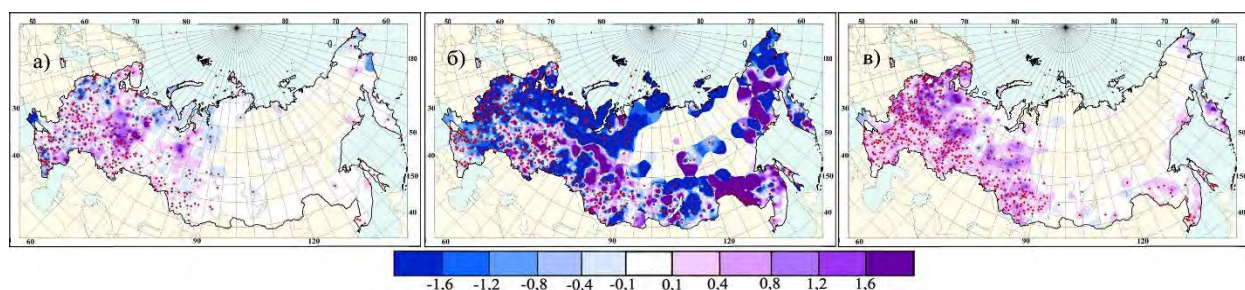


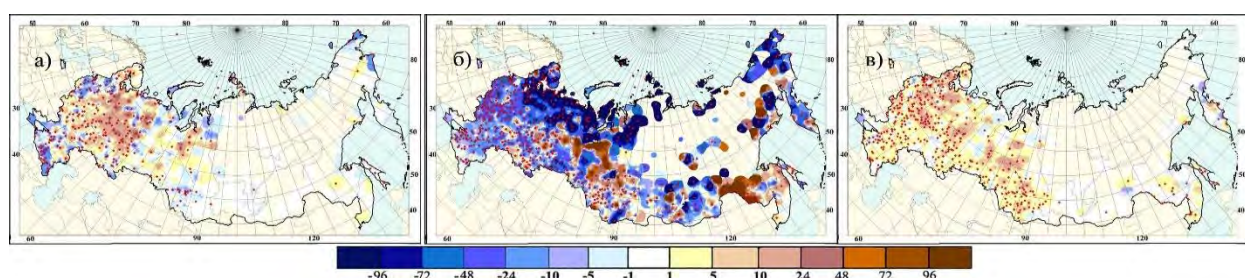
Рисунок 5.4 – Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) суммарного за холодный период числа дней: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. Кругами красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне

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). Анализ региональных изменений показал, что значимые положительные тенденции получены в трех регионах (14, 17 и 18 регионы), а значимые отрицательные тренды выявлены 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 тринадцати 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.

Географическое распределение коэффициентов линейного тренда в рядах суммарной за холодный период продолжительности ГИО представлено на рисунке 5.5. Положительные тенденции продолжительности **гололеда** получены в центральных областях ЕЧР и на востоке ЯНАО (рисунок 5.5 а). Статистически значимые тенденции фиксируются на северо-востоке, юго-востоке Восточно-Европейской равнины и на севере лесной зоны Западной Сибири (таблица 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 час/10 лет). Тенденция роста продолжительности кристаллической изморози выявлена в ХМАО и Амурской области. В отдельных квазиоднородных регионах были получены значимые на 5% уровне тенденции (таблица 2), наибольший положительный тренд фиксируется на Дальнем Востоке между 50°N и 60°N ( $b=4,2$  ч/10лет,  $d=26$  %), наибольший отрицательный – на юго-западе Восточно-Европейской равнины ( $b= -4,0$  ч/10лет,  $d=31$  %).



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

**Таблица 5.1** – Оценки линейного тренда аномалий числа случаев ГИО; 1984-2023 гг.,  $b$  – коэффициент линейного тренда (дни/10лет),  $d$  – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%)

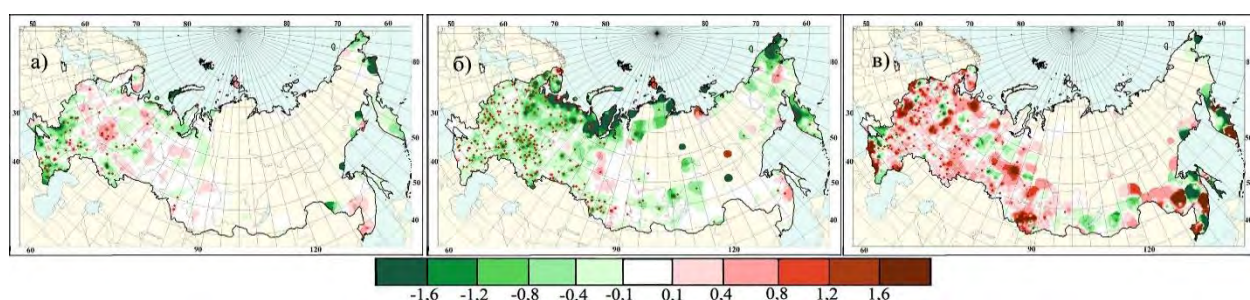
Регионы	№	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
		$b$	$d$	$b$	$d$	$b$	$d$
Атлантическая Арктика	1	0,1	3	<b>-1,4</b>	25	<b>0,6</b>	61
Сибирская Арктика	2	-0,0	5	0,6	2	0,0	0
Тихоокеанская Арктика	3	0,0	0	-1,0	4	0,0	0
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,1	1	<b>-1,4</b>	18	<b>1,4</b>	76
СВ Восточно-Европейской равнины	5	<b>1,0</b>	27	0,3	1	<b>0,8</b>	66
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0,1	1	<b>-1,5</b>	31	<b>0,7</b>	62
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	<b>0,4</b>	11	0,2	1	<b>0,5</b>	51
Степная часть Вост.-Европ. равнины	8	0,1	1	<b>-0,9</b>	13	<b>0,3</b>	44
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,1	0	-0,5	9	<b>0,3</b>	37
Север лесной зоны Западной Сибири	10	<b>0,3</b>	17	-1,0	9	<b>0,3</b>	42
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,0	1	0,3	1	<b>0,4</b>	63
степная зона Западной Сибири	12	0,1	3	0,0	0	<b>0,4</b>	42
Алтай и Саяны	13	0,0	0	0,1	0	<b>0,4</b>	45
Центральная часть Восточной Сибири	14	0,0	0	<b>4,8</b>	56	0,1	9
Бассейн Ангары	15	0,0	0	0,3	1	0,1	7
Забайкалье	16	0,0	0	-0,6	1	-0,0	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,0	0	<b>2,6</b>	39	<b>0,3</b>	20
Дальний Восток южнее 50°N	18	<b>0,1</b>	12	<b>1,7</b>	49	<b>0,4</b>	29
<b>РФ</b>		0,1	4	-0,2	1	<b>0,5</b>	74
<b>ЕЧР</b>		<b>0,3</b>	11	-0,6	8	<b>0,7</b>	76

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



Тенденция увеличения продолжительности **отложения мокрого снега** по-прежнему сохраняется почти на всей ЕЧР, Урале и в Западной Сибири (рисунок 5.5в). Во многих квазиоднородных климатических регионах получены значимые положительные тенденции (таблица 5.2). Максимальный тренд отмечается на северо-западе Восточно-Европейской равнины ( $b=7,4$  ч /10 лет,  $d=76$  %). В целом для территории России и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд продолжительности отложения мокрого снега ( $b=3,1$  и  $4,1$  ч/ 10 лет соответственно).

Пространственное распределение линейного тренда среднего за холодный период веса ГИО показано на рисунке 5.6. Тенденция увеличения веса **гололеда** наблюдается на северо-западе ПФО, севере ЦФО, в отдельных районах СЗФО, Приморском крае. При региональном осреднении значимых коэффициентов линейного тренда веса гололеда не получено (таблица 5.3).



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

**Таблица 5.2** – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности ГИО; 1984-2023 гг.,  $b$  – коэффициент линейного тренда (час/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	0	<b>-2,1</b>	21	<b>3,1</b>	73
Сибирская Арктика	2	-0,7	3	2,5	7	0,0	0
Тихоокеанская Арктика	3	0,8	2	0,0	0	0,1	0
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	-0,4	0	-1,5	8	<b>7,4</b>	76
СВ Восточно-Европейской равнины	5	<b>2,5</b>	12	<b>1,9</b>	11	<b>4,6</b>	55
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	1,1	3	<b>-4,0</b>	31	<b>4,0</b>	47
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	<b>2,6</b>	13	<b>1,6</b>	8	<b>3,0</b>	49
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	1,2	4	<b>-3,1</b>	25	<b>2,3</b>	50
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-1,1	3	<b>-2,8</b>	13	<b>2,2</b>	35
Север лесной зоны Западной Сибири	10	<b>3,1</b>	22	1,9	5	<b>2,7</b>	25
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,2	0	<b>3,0</b>	16	<b>3,2</b>	65
Степная зона Западной Сибири	12	-0,4	0	1,1	2	<b>2,2</b>	32
Алтай и Саяны	13	-0,0	0	1,2	3	<b>2,9</b>	53
Центральная часть Восточной Сибири	14	0,3	4	3,2	4	0,3	3
Бассейн Ангары	15	0,2	2	<b>2,7</b>	10	<b>0,6</b>	10
Забайкалье	16	-0,1	0	-0,5	0	-0,2	1
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	-0,1	0	<b>4,2</b>	26	<b>1,9</b>	19
Дальний Восток южнее 50°N	18	0,7	5	<b>3,7</b>	33	<b>2,9</b>	25
<b>РФ</b>		0,6	3	0,2	0	<b>3,1</b>	80
<b>ЕЧР</b>		1,1	8	-0,4	1	<b>4,1</b>	79

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

На большей ЕЧР 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 восьми районах (1, 4, 6-9, 16, 17) и в целом для ЕЧР ( $b = -0,2$  г/см /10 лет,  $d = 24$  %).

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

**Таблица 5.3** – Оценки линейного тренда относительных аномалий веса ГИО; 1984-2023 гг.,  $b$  – коэффициент линейного тренда (г/см /10 лет),  $d$  – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%)

Регионы	№	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
		$b$	$d$	$b$	$d$	$b$	$d$
Атлантическая Арктика	1	0,0	2	<b>-0,2</b>	19	<b>0,1</b>	17
Сибирская Арктика	2	-0,1	5	-0,2	9	0,0	5
Тихоокеанская Арктика	3	0,0	3	-0,1	2	0,1	2
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,0	2	<b>-0,3</b>	26	0,2	10
СВ Восточно-Европейской равнины	5	0,0	0	-0,2	9	<b>0,3</b>	35
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0,0	1	<b>-0,1</b>	14	<b>0,3</b>	43
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	0,1	4	<b>-0,2</b>	17	<b>0,2</b>	15
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	0,0	0	<b>-0,2</b>	13	<b>0,1</b>	12
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,1	4	<b>-0,1</b>	17	0,1	6
Север лесной зоны Западной Сибири	10	-0,0	1	-0,1	5	0,0	2
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,0	0	-0,1	4	0,1	10
степная зона Западной Сибири	12	-0,0	1	-0,1	4	0,0	2
Алтай и Саяны	13	-0,0	1	-0,0	0	<b>0,2</b>	25
Центральная часть Восточной Сибири	14	-0,0	0	0,3	9	0,0	0
Бассейн Ангары	15	0,0	1	-0,1	1	0,0	1
Забайкалье	16	0,0	1	<b>-0,1</b>	15	-0,0	1
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,0	2	<b>-0,2</b>	13	<b>0,2</b>	13
Дальний Восток южнее 50°N	18	-0,1	5	-0,0	1	0,1	7
<b>РФ</b>		0,0	0	0,0	1	<b>0,1</b>	20
<b>ЕЧР</b>		0,1	8	<b>-0,2</b>	24	<b>0,1</b>	17

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

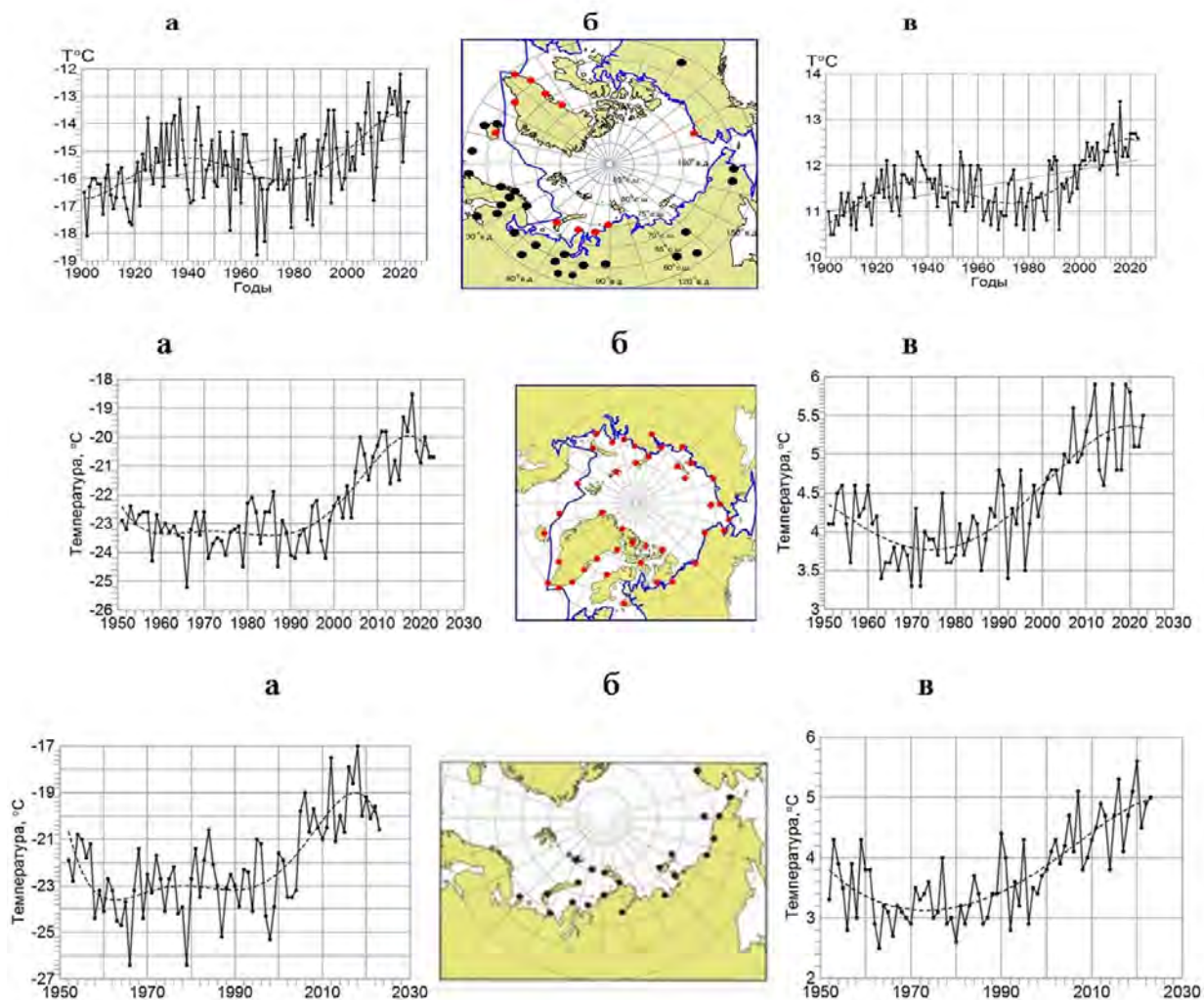
## 6. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

### Приповерхностная температура воздуха

Метеорологические наблюдения в Арктике выполняются на сети метеорологических станций, количество которых менялось в течении периода наблюдений, начиная с конца 19 столетия. По данным станций с разным началом наблюдений можно проследить динамику изменений приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в Северной полярной области и в разных арктических областях (рисунок 6.1).

В изменениях температуры в 1901-2023 гг. на Северном полушарии очевидно присутствие на фоне тренда квазипериодического колебания с наложением межгодовой изменчивости. Происхождение этого примерно 70-летнего колебания связано с Атлантической междесятилетней осцилляцией (АМО), выделяемой в изменчивости температуры поверхности океана в Северной Атлантике с конца 19 столетия в виде

60–80-летнего колебания. Квазипериодическое колебание вместе с трендом образуют низкочастотное изменение, которое вносит основной вклад в изменчивость ПТВ в 1901-2023 гг., достигающий 93 % для средней за год ПТВ и 75 и 80 % для средних за осенние и зимние месяцы, что может послужить основой для экстраполяции ПТВ на следующий 70-летний цикл.



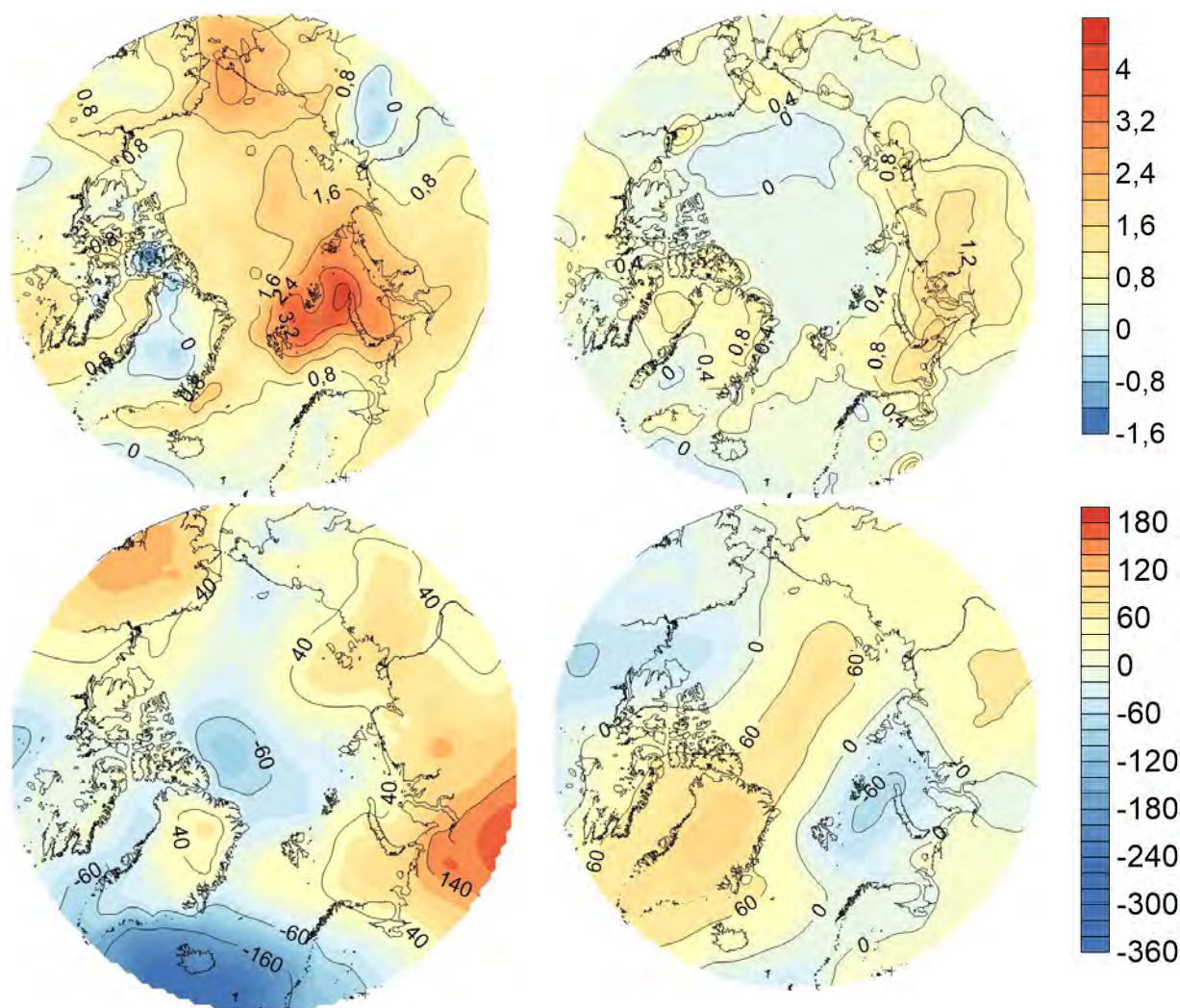
**Рисунок 6.1** – Средняя температура воздуха зимой (а) и летом (в) по данным метеорологических станций в Северной полярной области и Арктике с 1901 по 2023 год.

Верхний ряд – Северная полярная область, а — зимняя температура, б — метеорологические станции с длительными наблюдениями; в — летняя температура. Пунктир — полином 5-й степени, прямая линия — тренд

В области морской Арктики температура с 1990-х годов повысилась к 2018-2020 гг. зимой более чем на  $4^{\circ}\text{C}$ , а летом — на  $2^{\circ}\text{C}$ , а после понизилась к 2023 году зимой на  $2^{\circ}\text{C}$ . Летом понижение в эти годы составило  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

На акватории Сибирских арктических морей (Карское–Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь, особенно заметно потеплело в 2010-е годы. Данные метеорологических станций на побережье и островах морей показывают здесь повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2018 год на  $6^{\circ}\text{C}$ , а летней к 2020 году почти на  $3^{\circ}\text{C}$ . К 2023 году зимой температура понизилась на  $3,5^{\circ}\text{C}$ , а летом на  $2,6^{\circ}\text{C}$ . Замедление роста температуры воздуха и начало понижения после 2020 года также очевидно в изменениях средней ПТВ на 32 станциях с началом наблюдений в 1901 году.

Из рисунка 6.1 следует, что после самого тёплого десятилетия 2011-2020 гг. температура в Арктике понижается. На рисунке 6.2 показаны аномалии температуры и атмосферного давления в этом десятилетии, проливающие свет на их причину. Наибольшие потепления в приатлантической и притихоокеанской Арктике связаны с усиленным притоком тепла и влаги из прилегающих океанских акваторий.



**Рисунок 6.2** – Аномалии средних температуры воздуха (верхний ряд) и атмосферного давления (нижний ряд) в 2011-2020 гг. зимой (а) и летом (б) относительно нормы 1991–2020 гг. по данным реанализа ERA5

Сокращение морского ледяного покрова является наиболее обсуждаемым проявлением глобального потепления в Арктике. Современный период сокращения площади арктического морского льда хорошо документирован по данным измерений со спутников. В Северном Ледовитом океане площадь, занятая льдом (ледовитость) на сезонном минимуме, в сентябре сократилась с 1980 года до 2012 года в 2,2 раза. При этом сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (рисунок 6.3а).

На акватории арктических морей, по которым пролегает Северный морской путь (СМП), ледовитость в сентябре (рисунок 6.3б), сокращалась с 1996 года вместе с ростом летней температуры воздуха и за десять лет уменьшилась в восемь раз, с 1892 тыс. км<sup>2</sup> до 234 тыс. км<sup>2</sup>. В последующие годы площадь колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. км<sup>2</sup> в 2020 году. Зимой сокращение морского ледяного покрова много меньше, чем летом. От максимума в марте 1982 года до минимума в марте 2016 года сокращение составило 9% в СЛО и около 1% в морях СМП.

Значительно уменьшилась с 1999 по 2017 год сумма градусодней мороза (СГДМ), влияющая на разрастание ледяного покрова на акватории морей СМП в холодную часть

года с октября по апрель и на последующее летнее таяние и сокращение площади морских льдов.

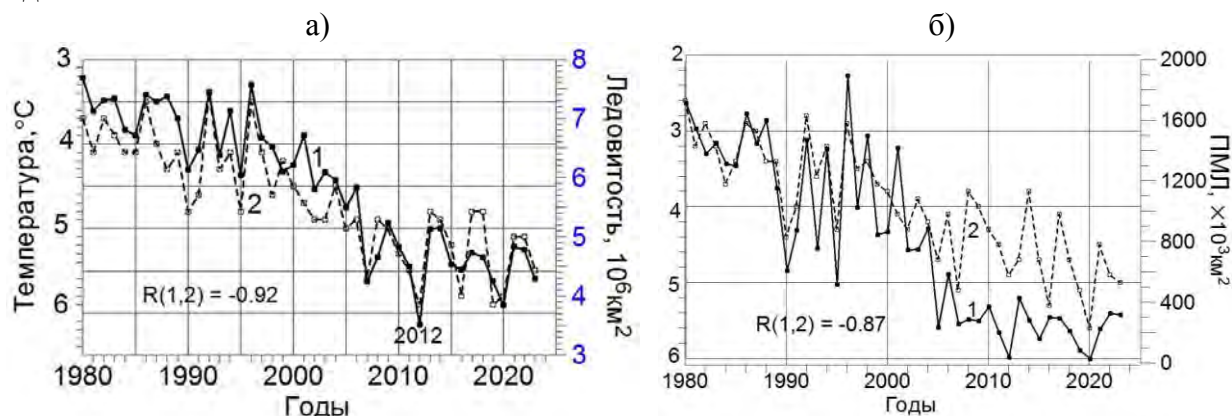


Рисунок 6.3 – Площадь, занятая морским льдом в сентябре (1), и летняя температура воздуха (2) на акватории Северного Ледовитого океана (а) и морей Северного морского пути (б) в 1980–2023 гг.

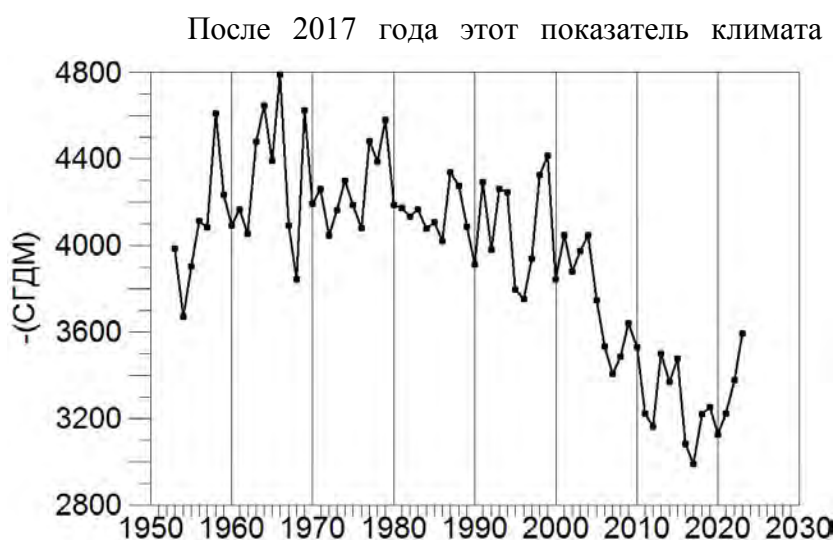


Рисунок 6.4 - Сумма градусодней мороза за октябрь-апрель по данным о ПТВ на 24 станциях на побережье и островах морей СМП

После 2017 года этот показатель климата Арктики растет вместе с ростом ледовитости морей СМП (рисунок 6.4).

Отметим, что в Арктике положительные аномалии температуры 2023 года были существенно ниже аномалий 2016-2020 гг. в отличие от глобальной аномалии температуры, которая оказалась самой высокой за период наблюдений 2023 года.

## 7. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов (ММГ), отражающим метеорологические условия отдельных лет, является мощность сезонно-талого слоя (СТС), которая варьирует от года к году и зависит от температуры воздуха, температуры поверхности почвы, осадков и от состояния растительного покрова. В 1990-х годах под эгидой Всемирной метеорологической организации и Международной ассоциации мерзлотоведения была создана сеть глобального мониторинга криолитозоны (GTN-P — Global Terrestrial Network on Permafrost). Реакция вечной мерзлоты на изменение климата оценивается по двум параметрам: термическое состояние многолетнемерзлых грунтов (программа TSP — Thermal State of Permafrost) и толщина сезонно-талого слоя (программа CALM — Circumpolar Active Layer Monitoring). По программе CALM на территории криолитозоны РФ было организовано 68 площадок, в настоящее время действующими являются 58, хотя количество площадок, с которых поступают данные о состоянии СТС, изменяется от года к году. Необходимо отметить, что данные поступают крайне неравномерно, иногда данные за предыдущий год могут поступить только к концу следующего года. Данные за 2022 год поступили к концу 2022 года только с 41 площадки,

что послужило основой для отчета о состоянии СТС за этот год. Однако в течение всего 2023 года поступали данные о мощности СТС с отдельных площадок, вплоть до конца года, и их количество к концу 2023 года достигло 54. В связи с этим в таблицу 1 были включены все данные, поступившие за 2022 год, причем данные с некоторых площадок, включенные в таблицу 1 в прошлом году, могут отличаться по величине. Так, значения мощности СТС на трех площадках R15A и R15B (северо-восточная Сибирь, мыс Чукочий) и R16 (Колыма, пинго Сегодня) за 2022 год были позднее исправлены: разница между ошибочным и верным значением во всех трех случаях составила 10 см, что исказило анализ данных на этих площадках. Причиной таких ошибок могла стать многоступенчатая передача данных, увеличивающая влияние человеческого фактора. По организационным причинам индивидуальные отчеты с площадок CALM могут поступать со значительным опозданием.

По-видимому, эти факторы явились причиной того, что к началу написания отчета о состоянии СТС в 2023 году, мы располагаем данными всего с 35 площадок, причем Европейский Север характеризуют данные только 2-х площадок (из 5 действующих), в Западной Сибири – с 9 площадок (в 2022 году поступили данные с 21 площадки), в Центральной Сибири – с 7 действующих площадок (данные поступили со всех площадок). Северо - восточная Сибирь представлена данными 13 площадок (в 2022 году – 16) и с Дальнего Востока (Чукотка и Камчатка) поступили данные с 4-х площадок (в 2022 году их было 6).

В таблице 7.1 представлены ежегодные данные о мощности СТС за 15-летний период 2009-2023 гг. Последние три столбца таблицы 7.1 отражают средние значения за 15-летний период и тренды за два длительных периода: с начала наблюдений на каждой площадке до 2022 года (ТР1) и до 2023 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](http://www.permafrost.su).

В 2023 году на территории Европейской части России на двух площадках, обеспеченных данными наблюдений – R2 (Воркута) и R52 (Сейда, 65 км юго-западнее Воркуты) – отмечается увеличение мощности СТС на 4 и 10 см, соответственно. Мощность СТС на площадке R52 в районе площадки Сейда в 2023 году достигла максимума за весь период наблюдений с 2012 года.

В Западной Сибири немногочисленные доступные данные (9 площадок) показывают почти повсеместное увеличение мощности СТС, наиболее ярко выраженное в районе Надыма (R1B), где отмечается увеличение мощности СТС на 11 см по сравнению с 2022 годом, на Ямале (Марресале) на 9 см и на Полярном Урале (площадка R53). На Полярном Урале увеличение глубины оттаивания вечной мерзлоты по сравнению с прошлым годом составило 35 см. Мощность СТС в районе Надыма (площадка R1B) в 2023 году была максимальной с 2013 года. Три новые площадки (R59, Салехард), R60 (Горно-Князевское) и R61 (Новый Уренгой), данные с которых начали поступать с 2021 года, показали разнонаправленные изменения СТС в 2023 году. На двух площадках (R60 и R61) мощность СТС уменьшилась по сравнению 2022 годом на 11 и 9 см соответственно, а в районе Салехарда (R59) - увеличилась на 9 см.

В центральной Сибири на 6 площадках из 7 наблюдалось уменьшение мощности СТС по сравнению с 2022 годом, наиболее значительное в районе Норильска, на площадке R32 (на 11 см). На одной из площадок в районе Якутска (R43) уменьшение мощности СТС составило 12 см по сравнению с прошлым годом. Увеличение мощности СТС по сравнению с 2022 годом наблюдалось только на площадке R 51 (остров Самойлов) и составило 5 см.

На северо-востоке Сибири данные о мощности СТС в 2023 году представлены 13 площадками по сравнению с 16 в 2022 году. В целом для всего региона отмечаются



прошлым годом (на 12 см) отмечены в районе озера Ахмело (R17) и на пинго Сегодня (R16, Колыма) - на 11 см.

Для Чукотки в целом в 2023 году характерны очень незначительные изменения мощности СТС (увеличение или уменьшение в пределах 1-2 см). В 2023 году на площадке R9 (Чукотка) мощность СТС незначительно увеличилась на 1 см, на двух других площадках (R11 и R27, залив Лаврентия) мощность СТС осталась неизменной. На Камчатке (R30С, Плоский Толбачик) отмечается незначительное уменьшение мощности СТС в 2023 году – на 1 см.

Сравнивая тренды СТС, рассчитанные за периоды от начала наблюдений до 2022 и 2023 года (последние 2 столбца таблицы 7.1 и рисунок 7.1), можно сделать следующие выводы: на всей территории криолитозоны РФ тренды мощности СТС в 2023 году остаются положительными, за исключением двух площадок в северо-восточной Сибири. Одна из них (R15А) расположена в районе реки Конковая (приток Колымы), другая (R38С) в районе горы Родинка. На европейском севере на площадке Сейда (R52) в 2023 году отмечено заметное увеличение тренда – до 12 см/10 лет. По абсолютной величине изменение трендов СТС в Западной и Центральной Сибири в 2023 году по сравнению с 2022 годом незначительные, в пределах 1-2 см/10 лет. В Центральной Сибири тренды СТС в 2023 году остались на уровне 2022 года, незначительное уменьшение тренда мощности СТС в 2023 году отмечено на площадке R29С, расположенной на аласе в дельте реки Лена. В Северо-восточной Сибири тренды СТС положительные, за исключением площадки (R15А), где небольшие отрицательные значения тренда СТС сохраняются второй год. По абсолютной величине тренды СТС в этом регионе не отличаются от значений в 2022 году. На территории Дальнего Востока тренды СТС в 2023 году положительные в пределах 2-5 см/10 лет и практически сохраняются на уровне 2022 года.

Анализ данных, представленных в таблице 7.1 и на рисунке 7.1, свидетельствует о том, что практически на всей территории криолитозоны России в 2023 году сохранялись положительные тренды мощности СТС, близкие по значению к трендам 2022 года, что свидетельствует о сохранении устойчивой тенденции увеличения мощности СТС.

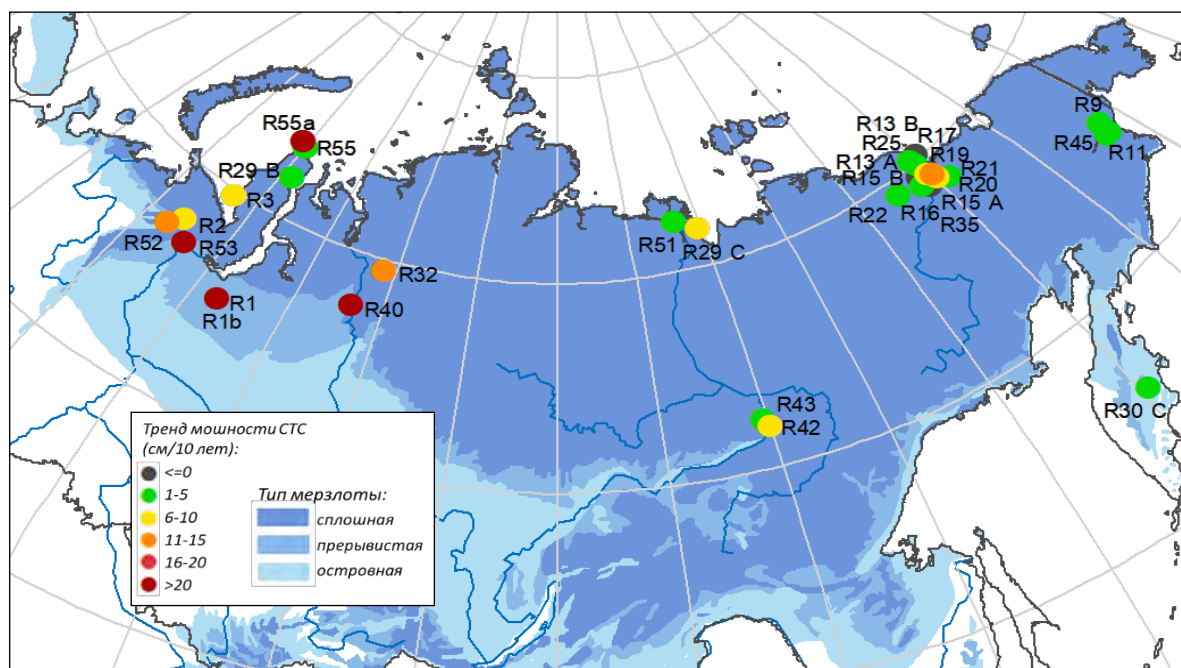


Рисунок 7.1 – Тренды мощности СТС (см за 10 лет) на территории криолитозоны РФ на площадках CALM с начала наблюдений до 2023 года

Наиболее быстрое таяние вечной мерзлоты характерно для Европейского севера, Полярного Урала и западных районов Западной Сибири. Относительно умеренные и



слабые темпы таяния мерзлоты отмечаются в прибрежных районах Центральной и Северо-восточной Сибири. Все фактические данные наблюдений и значения трендов СТС с начала наблюдений по программе CALM представлены на сайте [www.permafrost.su](http://www.permafrost.su).

Сохранение устойчивой тенденции увеличения мощности СТС на территории криолитозоны России обусловлено, прежде всего, продолжающимся ростом температур воздуха в высоких широтах Арктики. По температуре воздуха 2023 год в Арктике был шестым самым теплым годом с 1900 года. Площадь морского льда в Арктике в 2023 году была самой минимальной с 2007 года и составляла 4,31 млн. км<sup>2</sup>. Анализ межгодовых изменений площади морского льда севернее 65 с.ш. показал, что процесс таяние морского льда в летние месяцы в 2023 году происходил более интенсивно по сравнению с последними тремя годами. Наибольшие темпы таяния морского льда отмечены в августе и сентябре 2023 года. Температура поверхности воды в летнее время в районах, свободных от льда между 65° и 80° с.ш., повышалась с 1982 по 2023 год со скоростью (~0,5°С)/10 лет. Уменьшение площади морского льда сопровождалось уменьшением его толщины и объёма, отмечено заметное уменьшение площади старого льда (четыре года и более) при одновременном увеличении площади однолетних льдов.

Краткие выводы

- Анализ данных с 35 площадок CALM показал сохранение положительных трендов СТС практически на всей территории криолитозоны России в 2023 году, близких по значению к трендам 2022 года, что свидетельствует о сохранении устойчивой тенденции увеличения мощности СТС.

- На Европейской части России, представленной всего двумя площадками в районе Воркуты, увеличение мощности СТС составило 4 и 10 см по сравнению с 2022 годом. В районе площадки Сейда мощность СТС в 2023 году достигла максимума за весь период наблюдений с 2012 года.

- По данным 9 площадок из Западной Сибири наиболее ярко выраженное увеличение мощности СТС отмечается в районе Надыма, на Ямале (Марресале) и на Полярном Урале.

- 7 площадок из Центральной Сибири свидетельствуют о незначительном уменьшении мощности СТС в 2023 году в пределах 2-5 см по сравнению с 2022 годом.

- В Северо-восточной Сибири по данным 13 площадок в целом для всего региона отмечаются незначительные изменения мощности СТС в 2023 году, на 4-х площадках значения СТС остались на уровне 2022 года. На 9 площадках отмечается уменьшение мощности СТС в 2023 году, наиболее значительные уменьшения мощности СТС в 2023 году отмечены в районе озера Ахмело и на пинго Сегодня (Колыма) - на 11 см.

- Для Чукотки и Камчатки по данным 4-х площадок в 2023 году характерны очень незначительные изменения мощности СТС (увеличение или уменьшение в пределах 1-2 см) при сохранении положительных трендов на уровне 2022 года.

- Сохранение устойчивой тенденции увеличения мощности СТС на территории криолитозоны России обусловлено, прежде всего, продолжающимся ростом температур воздуха в высоких широтах Арктики, увеличением температуры поверхности почвы и сокращением площади морских льдов в летнее время.

## 8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Мониторинг агрометеорологической составляющей климата за 2023 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 по 2023 годы, 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 2023 году выполняется по стационарным 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 2023 году, 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 территории земледельческой зоны России в 2023 г. была умеренно тёплой. Теплее на 1,3-1,5°C по сравнению с климатической нормой было на территории ЦФО и СЗФО. На территории ЕЧР положительные аномалии температуры воздуха колебались в диапазоне от 0,2°C в ПФО до 1,1°C в ЮФО. Отрицательные аномалии наблюдались только на территории ДФО и составили -0,8°C.

Аномалии температуры весеннего периода были достаточно высокими и превышали норму на 1,0-3,2°C на ЕЧР и на 0,2-2,6°C в Сибири и на Дальнем Востоке. В среднем по земледельческой зоне России аномалия температуры воздуха весной была положительной (1,5°C) и достигала максимума в ПФО (3,2°C).

Температура летом превышала норму, но аномалии на большей части территории были невелики и не превышали 1,0°C, за исключением территории ДФО (1,3°C).

**Таблица 8.1** – Аномалии показателей термического режима в 2023 году относительно средних значений за 1991–2020 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), °C						T <sub>T&gt;5</sub> , °C	T <sub>зерн.</sub> , °C	Дата перехода весной, сут., через		Продолжительность периода, сут., с T (°C)		Сумма температур, °C	
	зима	весна	лето	осень	январь	июль			5°C	10°C	>5	>10	>5	>10
Северо-Западный	1,5	1,1	0,3	0,8	2,8	-0,9	0,7	-0,5	-1	-7	4	17	195	293
Центральный	1,3	1,5	0,0	1,4	1,0	-0,8	0,0	-1,5	-11	-8	12	12	157	158
Приволжский	0,2	3,2	0,1	2,0	-1,3	0,4	0,1	-0,9	-14	-12	17	18	273	283
Южный	1,1	1,0	0,9	2,5	1,6	0,0	0,0	-1,4	-15	-12	34	31	543	540
Северо-Кавказский	0,9	1,6	1,0	2,2	1,9	0,0	-0,2	-1,7	-8	-15	26	32	522	546
Уральский	0,7	2,6	0,8	2,5	2,1	2,7	1,0	1,6	-4	-8	8	17	266	342
Сибирский	0,6	0,2	0,9	2,3	1,9	1,1	0,7	1,6	9	2	2	4	125	142
Дальневосточный	-0,8	1,5	1,3	1,3	-2,4	1,9	0,6	0,9	-2	-4	8	13	247	292
<b>РФ</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>	<b>0,7</b>	<b>1,9</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>-4</b>	<b>-7</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>243</b>	<b>281</b>

На территории всей земледельческой зоны даты возобновления вегетации озимых зерновых (переход через 5°C весной) значительно отличались от среднемноголетних значений, и аномалии составляли от -15 до +9 суток. В основных регионах возделывания озимых на ЕЧР – ЦФО, ПФО и ЮФО начало вегетации отмечалось на две недели ранее среднемноголетней даты. В земледельческой зоне Сибири, напротив, наблюдалось запаздывание возобновления вегетации, в среднем на декаду.

Продолжительность периода вегетации (T>5°C) и активной вегетации (T>10°C) превышала среднемноголетние значения на всей исследуемой территории, и в среднем аномалия составила 11 и 15 суток соответственно. Практически на месяц дольше длился

вегетационный период в южных регионах, а также в центральных областях ЕЧР и в Поволжье – примерно на одну-две декады (от 12 до 18 суток).

На ЕЧР наблюдались отрицательные аномалии средней температуры воздуха за вегетационный период яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ( $T_{\text{зерн.}}$ ) от  $-0,5^{\circ}\text{C}$  (СЗФО) до  $-1,7^{\circ}\text{C}$  (СКФО). На АЧР, напротив, зафиксированы положительные аномалии – от  $+0,9^{\circ}\text{C}$  на Дальнем Востоке до  $+1,6^{\circ}\text{C}$  на Урале и в Сибири.

Положительные аномалии суммы температур воздуха за период вегетации ( $T > 5^{\circ}\text{C}$ ) отмечались на всей территории России, а максимальное значение, зафиксированное на территории южных регионов ЕЧР в СКФО и ЮФО, превысило  $500^{\circ}\text{C}$ . Менее напряжённым был термический режим на территории Сибири, где за периоды вегетации и активной вегетации сумма температур отклонялась от средней за базовый период на  $125-142^{\circ}\text{C}$  (таблица 8.1, рисунок 8.1).

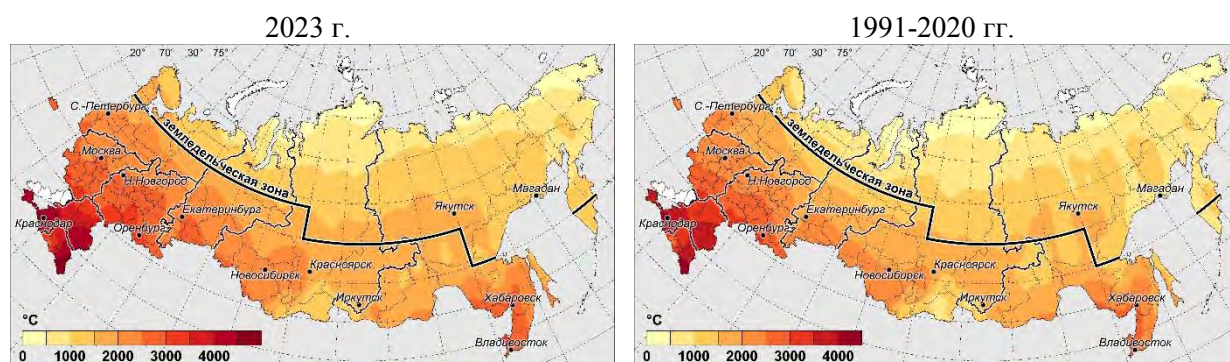


Рисунок 8.1 – Сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) за 2023 г. и средние значения за 1991–2020 гг.

### Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур

Для оценки увлажнённости территории рассматриваются следующие показатели: сумма осадков по сезонам года, гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) за май-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 ( $R_{T>5}$ ).

Количество выпавших осадков за период вегетации яровых зерновых культур ( $R_{\text{зерн.}}$ ) в 2023 г. в среднем по территории земледельческой зоны России близко к среднему за период 1991-2020 гг.

Благоприятные агроклиматические условия сложились в вегетационный период зерновых культур в ЦФО, СКФО и ЮФО, где осадков выпало на 11, 34 и 36% выше нормы соответственно. Зафиксированы близкие к норме осадки на территории Поволжья и Сибири. В северо-западных областях ЕЧР наблюдалась отрицательные аномалии атмосферных осадков,  $-9\%$  от нормы. Дефицит атмосферных осадков наблюдался на Урале, где осадков выпало меньше нормы на 38%. Сезонное распределение осадков неравномерное – с максимумом осенью и минимумом в весенний период (таблица 8.2).

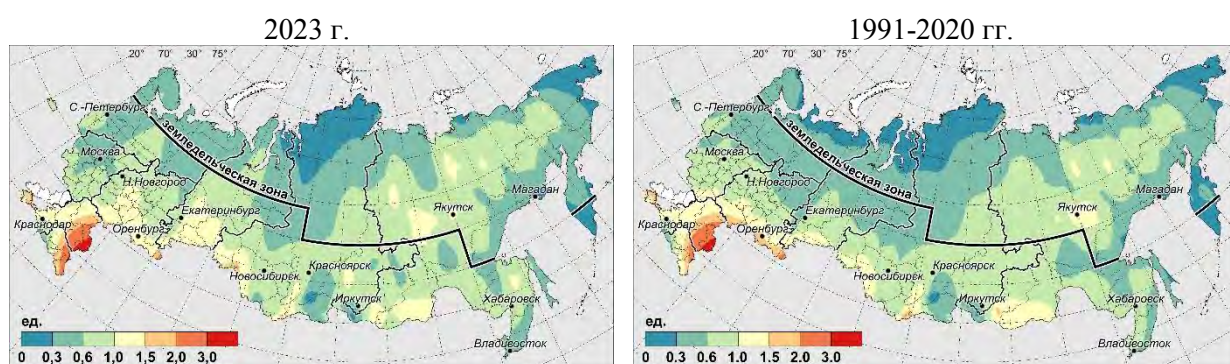
Уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2023 году был близким к среднему за 1991-2020 гг. на большей части исследуемой территории. Исключением являются положительные аномалии индекса сухости Будыко, который рассчитывался за весь тёплый период года ( $T > 5^{\circ}\text{C}$ ), на Урале и Северном Кавказе, что свидетельствует о дефиците увлажнённости этих территорий (таблица 8.2, рисунок 8.2).

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной на дату возобновления вегетации и вплоть до фазы колошения зерновых культур были достаточными во всех сельскохозяйственных районах и колебались в диапазоне от 87 мм (СКФО) до 201 мм (СЗФО). Следует отметить достаточно высокий уровень увлажнённости почвы в основных зернопроизводящих регионах на ЕЧР – ЦФО, ПФО и ЮФО. Наряду с этим, 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 8.2** – Аномалии показателей влажностного режима в 2023 году относительно средних значений за 1991-2020 гг.

Федеральный округ	Сумма осадков, %					R <sub>T&gt;5</sub> , %	R <sub>зерн.</sub> , %	ГТК <sub>май-авг.</sub> , ед.	ИС, ед.
	зима	весна	лето	осень	год				
Северо-Западный	7	2	0	26	9	-14	-9	-0,17	0,03
Центральный	33	13	7	42	22	3	11	-0,03	-0,13
Приволжский	-9	-5	-6	30	2	-3	-2	-0,17	0,03
Южный	-7	16	-3	26	8	29	36	-0,05	0,01
Северо-Кавказский	-12	5	-12	-21	-9	16	34	0,06	0,55
Уральский	2	-59	-10	18	-12	-21	-38	-0,40	0,23
Сибирский	14	-8	11	7	7	5	1	-0,03	0,00
Дальневосточный	-17	3	14	-2	3	3	-12	-0,05	0,06
<b>РФ</b>	<b>3</b>	<b>-4</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>-0,13</b>	<b>0,05</b>



**Рисунок 8.2** – Индекс сухости М.И. Будыко за 2023 год и средние значения за 1991–2020 гг.

**Таблица 8.3** – Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2023 году. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай

Федеральный округ	Запасы продуктивной влаги, мм					
	возобновление вегетации	0-100 см			0-20 см	
		май	июнь	июль	август	сентябрь
Северо-Западный	201	149	102	111	19	24
Центральный	192	125	86	80	10	11
Приволжский	157	85	56	53	8	11
Южный	131	87	52	38	4	9
Северо-Кавказский	87	74	45	15	6	9
Уральский	110	75	47	31	14	21
Сибирский	168	143	94	85	19	24
Дальневосточный	141	120	95	85	31	36
<b>РФ</b>	<b>156</b>	<b>111</b>	<b>75</b>	<b>68</b>	<b>15</b>	<b>19</b>

\* 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 наблюдается повсеместно в земледельческой зоне. Оценки коэффициента линейного тренда для суммы активных температур воздуха и суммы температур выше  $5^{\circ}\text{C}$  свидетельствуют, что скорость роста этого показателя на ЕЧР выше, чем на АЧР. Диапазон изменений этих показателей составляет от  $\sim 90^{\circ}\text{C}/10$  лет в СЗФО до  $\sim 160^{\circ}\text{C}/10$  лет в ЮФО за период с 1976 по 2023 годы.

На АЧР скорость роста этих показателей ниже – от ~50 до ~70°C/10 лет (таблица 8.4, рисунок 8.3).

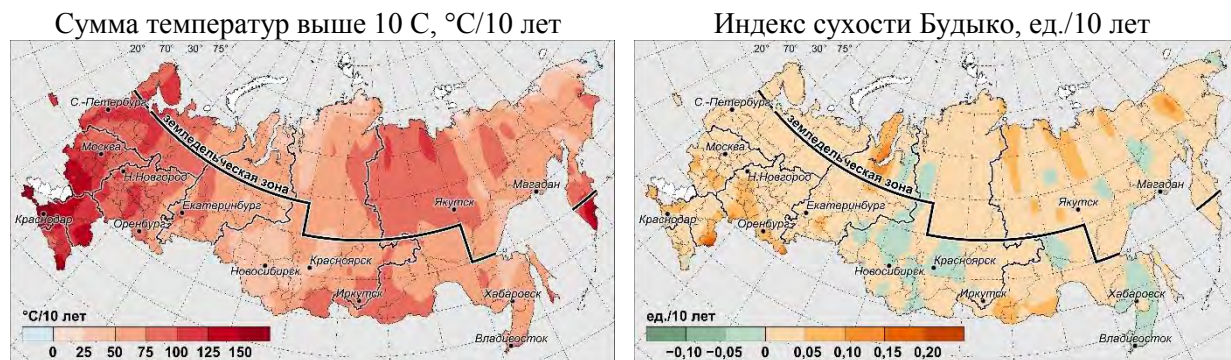
Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода ( $T>5^{\circ}\text{C}$ ) и периода активной вегетации ( $T>10^{\circ}\text{C}$ ) (таблица 8.4). Продолжительность вегетационного периода с большей скоростью увеличивается в ЮФО и СКФО (~6 сут./10 лет) и с меньшей –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

Положительная тенденция к увеличению весенних осадков сохраняется на прежнем уровне в земледельческой зоне, и её оценка составляет от ~3 мм/10 лет в СЗФО до ~6 мм/10 лет в ДФО. Коэффициенты линейного тренда летних осадков за 1976-2023 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 мм/10 лет. В то же время, сохраняются тенденции к увеличению количества осадков летнего периода в Сибири и на Дальнем Востоке со скоростью 3,7 и 8,3 мм/10 лет соответственно (таблица 8.4).

**Таблица 8.4** – Оценки линейных трендов показателей термического и влажностного режимов за период 1976–2023 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), °C/10 лет		Дата перехода через 5 °C весной, сут./10 лет	Продолжительность периода $T>5^{\circ}\text{C}$ , сут./10 лет	Сумма температур, °C/10 лет		Сумма осадков, мм/10 лет		ГТК <sub>май-авг.</sub> , ед./10 лет	ИС, ед./10 лет
	весна	лето			>5	>10	весна	лето		
Северо-Западный	0,4	0,5	-1,5	3,9	94	101	3,1	0,2	-0,03	0,02
Центральный	0,4	0,6	-1,6	4,9	119	111	5,2	-10,0	-0,08	0,04
Приволжский	0,5	0,5	-1,4	4,1	98	91	5,5	-10,2	-0,07	0,05
Южный	0,4	0,7	-3,9	6,5	174	158	4,6	-5,5	-0,03	0,06
Северо-Кавказский	0,4	0,6	-3,6	6,2	149	134	4,0	-3,8	-0,02	0,03
Уральский	0,5	0,2	-1,4	2,9	64	67	3,9	-2,0	-0,03	0,03
Сибирский	0,7	0,2	-2,1	3,2	58	52	3,5	3,7	0,00	0,00
Дальневосточный	0,4	0,3	-1,5	2,8	62	67	6,1	8,3	0,02	0,01
<b>Россия</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>-1,9</b>	<b>3,9</b>	<b>88</b>	<b>86</b>	<b>4,8</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,02</b>

В целом, по оценкам за период 1976-2023 гг. степень засушливости в земледельческой зоне растёт: оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости Будыко (ИС) за весь тёплый период года ( $T>5^{\circ}\text{C}$ ) составляют -0,03 и 0,02 ед./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 (°C/10 лет) и индекса сухости М.И. Будыко (ед./10 лет) за период 1976–2023 гг.

## Продуктивность сельскохозяйственных культур

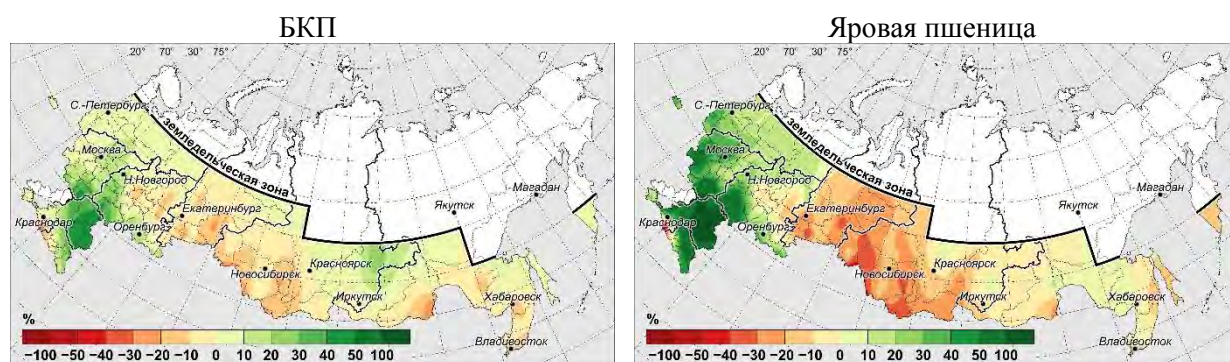
Показатели продуктивности сельскохозяйственных культур, климатически обусловленная урожайность и биоклиматический потенциал (БКП) рассчитываются с помощью имитационной системы Климат-Почва-Урожай. Аномалии урожайности определены как относительное отклонение значения в текущем году от среднего значения за предшествующие пять лет, с 2018 по 2022 годы.

В основных зернопроизводящих регионах на ЕЧР в ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы превысила уровень предшествующего пятилетия на 30-40%, в СЗФО – на 25%. На Урале и в Сибири соответствующая относительная оценка климатически обусловленной урожайности составляет –21 и –16%. На Дальнем Востоке её уровень близкий к среднему за 2018-2022 гг.

В 2023 году положительные аномалии климатически обусловленной урожайности отмечаются в центральных областях ЕЧР. Так, в Московской и Владимирской областях оценки аномалий климатически обусловленной урожайности составляют 50 и 28%, соответственно. При сложившихся агроклиматических условиях в 2023 г. в центрально-чернозёмных областях величина климатически обусловленной урожайности превысила средний уровень 2018-2022 гг. на 35-45%. В ПФО аномалии климатически обусловленной урожайности положительные, но значительно разнятся по территории – от 8% в Пермском крае до 75% в Саратовской области.

Аномалии климатически обусловленной урожайности в основных сельскохозяйственных районах на АЧР по большей части отрицательные. В Новосибирской, Омской, Курганской и Томской областях и Алтайском крае оцениваются от –22 до –35% относительно среднего за предшествующий пятилетний период.

Урожай (биомасса) многолетних трав или БКП в 2023 г. в целом по земледельческой зоне несколько превысил уровень среднего за 2018-2022 гг. (3%). Максимальные положительные аномалии зафиксированы в ПФО и ЦФО – 13 и 16% соответственно и минимальные отрицательные в УФО (–11%) (рисунок 8.4).



**Рисунок 8.4** – Отклонения (%) значений биоклиматического потенциала и климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы за 2023 год относительно средних за 2018–2022 гг. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай

Условия увлажнения посевов озимых культур урожая 2024 г. в осенний период оцениваются как благоприятные, и запасы продуктивной влаги в среднем по территории выше, чем в аналогичный период предшествующих лет 2021 и 2022 годов.

По данным наблюдений в чернозёмной зоне 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 ( $\leq 10$  мм) наблюдались только локально в отдельных точках. В первой и второй декадах сентября запасы влаги пахотного слоя почвы поддерживалась на уровне 20-25 мм и выше на большей части исследуемой территории. В целом, продуктивные запасы влаги в осенний

посевной период в 2023 году оцениваются как хорошие и превышают средние значения за предшествующий пятилетний период с 2018 по 2022 гг.



**Рисунок 8.5** – Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы под озимой пшеницей на третью декаду августа, первую и вторую декады сентября 2023 года (по данным наблюдений)

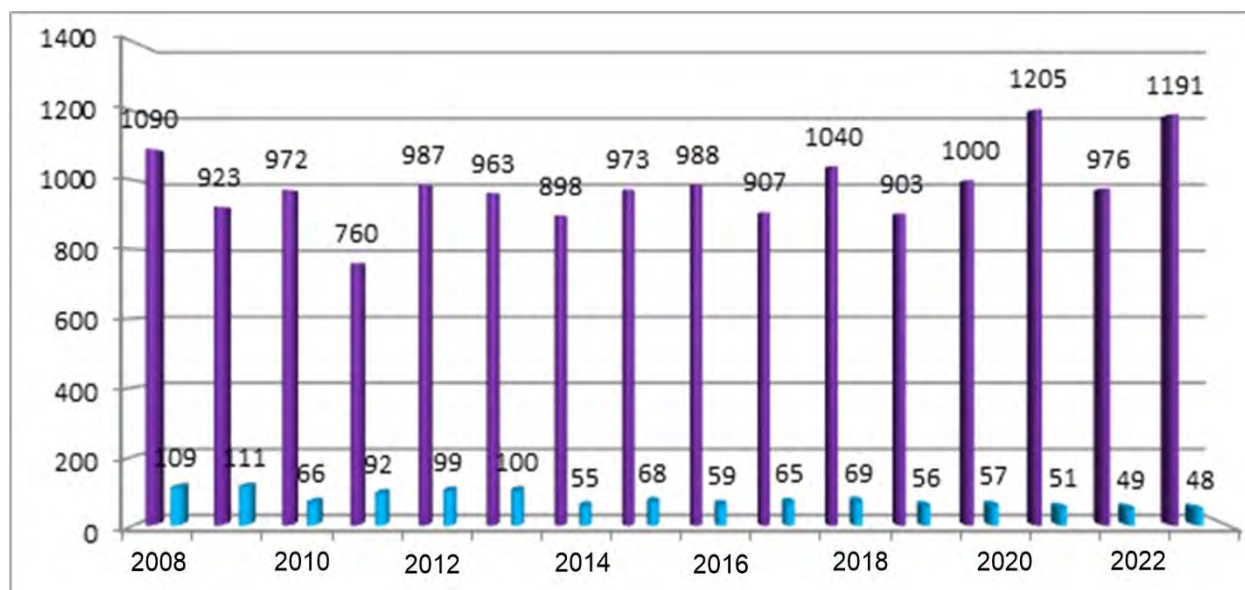
## 9. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

В 2023 году на территории Российской Федерации отмечалось большое количество опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) – 1191, из которых 448 с ущербом. Предупрежденность составила соответственно 96% и 96,4%, что несколько выше показателя 2022 года (в 2022 году было 95 и 96,1% соответственно).

Динамика общего числа ОЯ за 16 лет показана в таблице 9.1 и на рисунке 9.1.

**Таблица 9.1** – Распределение опасных гидрометеорологических явлений за период с 2008 по 2023 год

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Кол-во ОЯ	1090	923	972	760	987	963	898	973	988	907	1040	903	1000	1205	976	1191



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

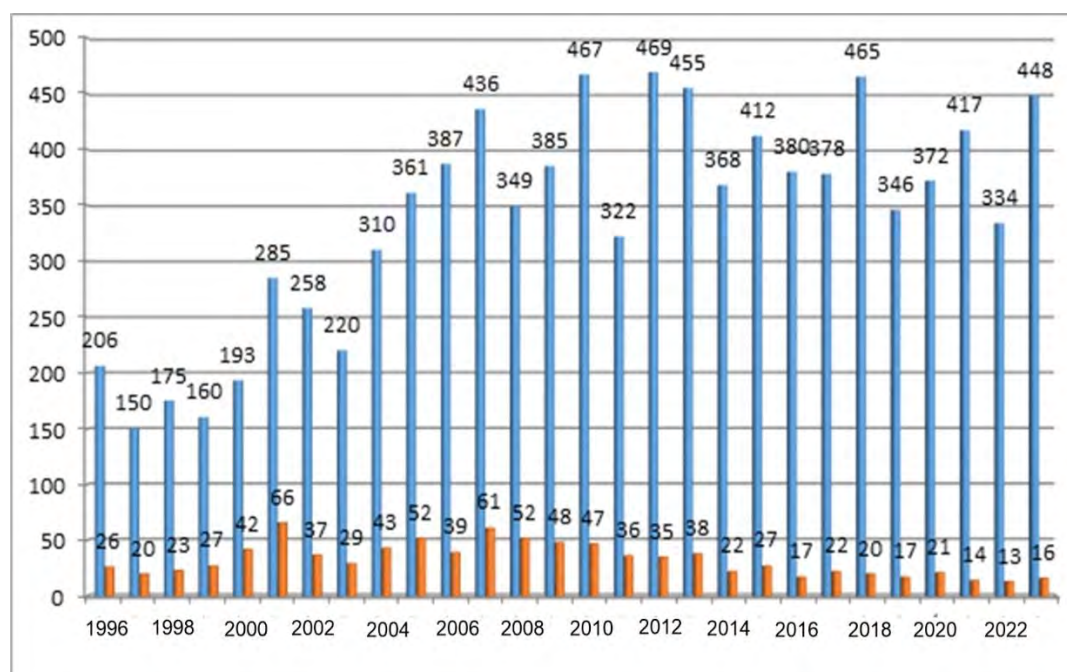
В 2023 году оперативно-прогностическими подразделениями Росгидромета было выпущено 2224 штормовых предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях, оправдываемость которых составила 96,2%, что также несколько выше показателя 2022 года (95,9%). Выпущено 237 штормовых предупреждений о лавинной опасности в горных районах Российской Федерации.

На рисунке 9.2 приведены данные Росгидромета за 1996–2023 гг. о динамике количества опасных гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

В 2023 г по сравнению с предшествующим 2022 годом количество всех ОЯ увеличилось на 22%, а нанесших ущерб – на 34%. Наивысшая активность возникновения ОЯ на территории Российской Федерации наблюдалась в период с мая по сентябрь.

Наибольший ущерб был нанесен в первую очередь дождевыми паводками, а также очень сильными дождями и порывистым ветром.

Один из наиболее значительных примеров – прошедшие в августе 2023 года дожди в Приморье, особенно в период прохождения тайфуна «KHANUN» 10-12 августа, когда количество осадков составило местами до 190 мм (а в целом за август местами выпало до 600 мм). Дожди обусловили развитие дождевых паводков, превратившихся на западе края в катастрофическое наводнение. Пострадали тысячи домохозяйств, нанесен огромный ущерб урожаю (половина урожая погибла), разрушены мосты, дамбы, наблюдались многочисленные отключения электроэнергии и нарушения связи. В некоторых районах осуществлялась эвакуация населения и отдыхающих. Предварительный ущерб экономике края превысил 7 млрд. рублей.



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

В ФГБУ «Гидрометцентр России» ведется статистика только опасных метеорологических явлений (ОЯ). В 2023 году на территории России было зарегистрировано их рекордное количество: 642 случая возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений (КМЯ), сочетание которых образует ОЯ. (рисунок 9.3). Было выпущено 1963 штормовых предупреждений, оправдываемость



которых составила 96,3%. В предшествующем 2022 году было 474 случаев ОЯ, то есть более чем на 35% меньше, чем в 2023 году.

По сравнению с 2022 годом количества опасных явлений погоды в 2023 году увеличилось по их видам соответственно: очень сильных осадков на 49%, КМЯ на 71%, очень сильного ветра на 22%, заморозков на 36%, аномально холодной погоды и сильных морозов на 73%, града на 123%. Уменьшилось только количество аномально жаркой погоды на 48% (таблица 9.2). В 2023 году по сравнению с предшествующим 2022 годом количество всех ОЯ увеличилось на 22%, а нанесших ущерб – на 34%).

Самой высокой была повторяемость очень сильных осадков, очень сильного ветра, КМЯ и заморозков. Суммарное количество этих четырех явлений составляет 78% от всех опасных метеорологических явлений в 2023 году. 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 явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

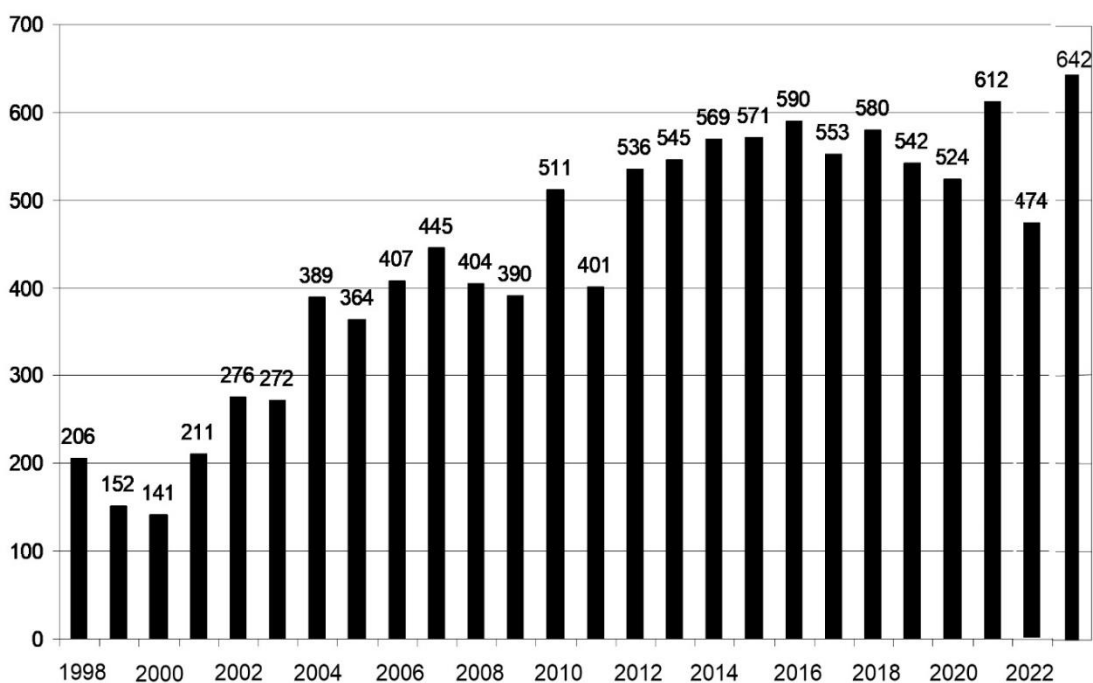


Рисунок 9.3 – Распределение метеорологических ОЯ по годам

Таблица 9.2 – Распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2023 год

Явления	Месяцы												ГОД 2023	ГОД 2022
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Сильный ветер	11	13	19	8	11	4	12	9	5	14	18	11	135	111
Очень сильные осадки	3	9	6	4	6	25	52	30	14	9	18	7	183	123
Метель и снег	3	1	3	2							1	2	12	12
Смерч							4						4	4
Сильный мороз	6											4	10	1
Аномально холодная погода	9	1	4								1	8	19	11
Сильная жара					1	4	12	10	1				28	28
Аномально жаркая погода				1	4	2	4	2					13	25
Град				3	2	8	9	5	2				29	13
Сильный гололед, налипание мокрого снега	2	4	1							2	4	8	21	25
Заморозки			2	5	17	20	1	8	21	5			79	58
Туман											2	1	3	1
КМЯ	5	3	8	10	6	13	15	9	8	8	11	10	106	62

<b>Итого за 2023 год</b>	<b>39</b>	<b>31</b>	<b>39</b>	<b>33</b>	<b>47</b>	<b>76</b>	<b>109</b>	<b>73</b>	<b>51</b>	<b>38</b>	<b>55</b>	<b>51</b>	<b>642</b>	
<b>Итого за 2022 год</b>	<b>37</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>28</b>	<b>43</b>	<b>73</b>	<b>70</b>	<b>57</b>	<b>42</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>35</b>		<b>474</b>

По-прежнему наибольший ущерб нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в т.ч. шквал), град, заморозки и чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в течение апрель-октябрь. Заморозки на Европейской части России были столь частыми и сильными, что погибли завязи плодово-ягодных растений и клюквы на болотах.

Из таблицы 9.3 следует, что на территории Сибирского, Дальневосточного и Южного федеральных округов зарегистрирован 381 случай (59%) всех ОЯ и КМЯ. Это связано с тем, что территория этих округов обладает наибольшими размерами и характеризуется очень активными атмосферными процессами.

По сравнению с 2022 годом в 2023 году количество ОЯ и КМЯ во всех федеральных округах увеличилось в среднем на 35%.

**Таблица 9.3** – Распределение метеорологических ОЯ в 2023 г. по территории федеральных округов.

№	Явления	Федеральные округа								Всего 2023	Всего 2022
		СЗФО	ЦФО	ПФО	ЮФО	СКФО	УФО	СФО	ДВФО		
1	Сильный ветер	13	2	12	10	18	6	54	30	145	111
2	Очень сильные осадки	6	15	9	52	15	16	26	37	176	123
3	Метель и снег								12	12	12
4	Смерч				4					4	4
5	Сильный мороз	1	1	2			2	2	2	10	1
6	Аномально холодная погода	3	2	2	1		3	3	5	19	11
7	Сильная жара	2	4	2	6	2	4	3	2	25	28
8	Аномально жаркая погода			3			4	6		13	25
9	Град			2	9	12	1	5		29	13
10	Сильный гололед, налипание мокрого снега	3	4	5	6	1	2			21	25
11	Заморозки	13	13	10	9	4	10	9	11	79	58
12	Туман		1	1			1			3	1
13	КМЯ	3	2	9	23	14	1	25	29	106	62
<b>Итого за 2023 год</b>		<b>44</b>	<b>44</b>	<b>57</b>	<b>120</b>	<b>66</b>	<b>50</b>	<b>133</b>	<b>128</b>	<b>642</b>	
<b>Итого за 2022 год</b>		<b>34</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>88</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>90</b>	<b>98</b>		<b>474</b>

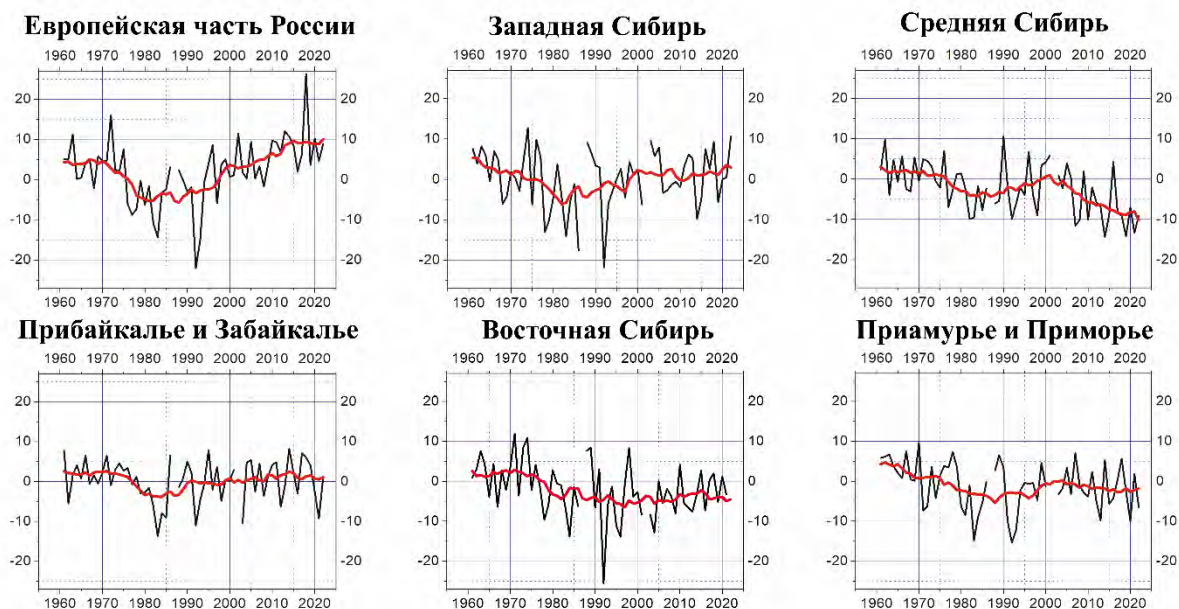
## 10. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Система мониторинга составляющих радиационного баланса земной поверхности на территории России в настоящее время основана на результатах сетевых измерений радиационных потоков в фиксированные сроки (т.н. «срочных» актинометрических наблюдений). Преимущественное внимание уделяется анализу таких видов радиации как прямая солнечная радиация на горизонтальной поверхности, рассеянная и суммарная радиация. Аномалии месячных, сезонных и годовых сумм этих видов радиации рассчитываются как отклонения от норм базового периода 1961-1990 гг. и выражаются в процентах от этих норм. Для оценки условий 2023 года 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 2023 г. осуществлялся при использовании базового периода 1961-1990 гг. Оценка вероятностей превышения текущих аномалий выполнялась по данным полного ряда наблюдений, начиная с 1961 года.

Основной особенностью глобальных *многолетних* изменений проходящей радиации, обнаруживаемых на территории России, является пониженное поступление радиации (возможно, обусловленное воздействием крупных вулканических извержений) в конце 80-х-начале 90-х годов XX века и связанный с этим отрицательный тренд прямой и суммарной радиации на интервале 1961-1990 гг. В последнее десятилетие 20-го столетия во всех крупных регионах России произошел возврат к значениям проходящей 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 1961-2022 гг. (рисунок 10.1) показывает, что включение 2022 года (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. Важно также 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 году 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. Из-за недостаточности полученной информации не удалось также выполнить оценку пространственно-осредненных аномалий за 2022 год для Восточной Сибири (последнее представленное на рисунок 10.1 соответствует 2021 году)

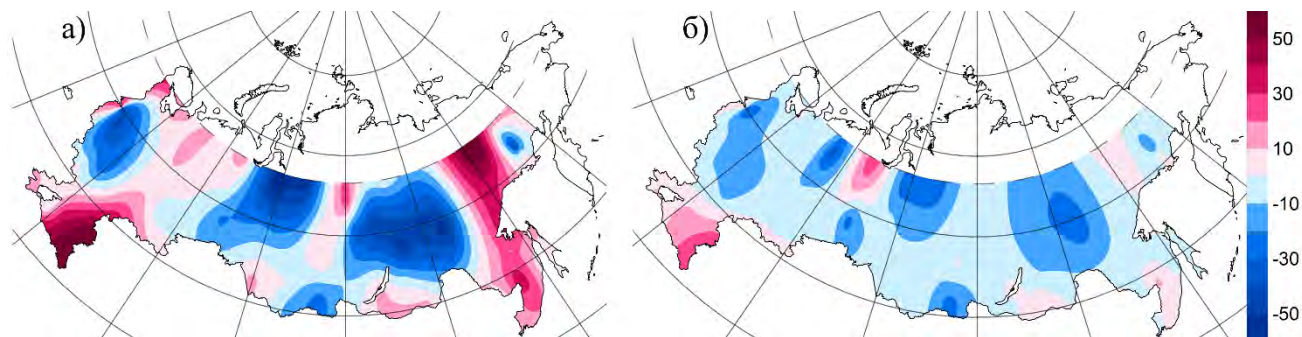


**Рисунок 10.1** – Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.  
*Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние)*

В *зимний* сезон 2022-2023 гг. поступление прямой солнечной радиации в среднем по территории России было близко к норме, при этом рекордные значения были достигнуты лишь в областях с высоким приходом радиации (рисунки 10.2, 10.3).

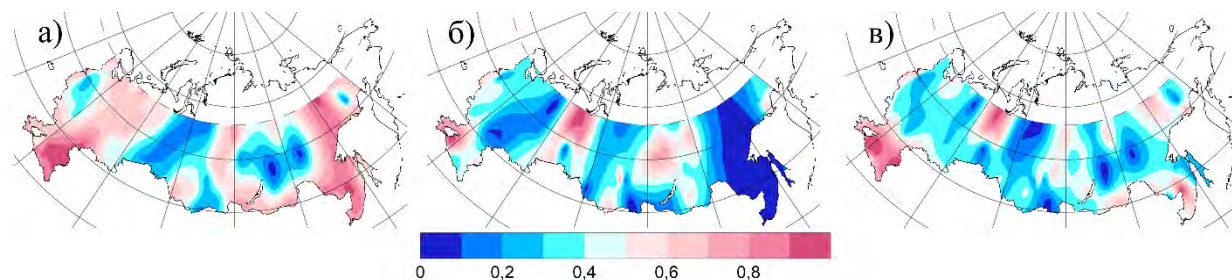
В декабре и январе на европейской территории под влиянием гребней тропосферных антициклонов и Сибирского антициклона сформировалась обширная область

положительных аномалий, в южных районах которой на ряде станций были отмечены экстремально высокие месячные значения, а в Астрахани зафиксировано рекордное значение и сезонной суммы прямой радиации. В январе-феврале на Дальнем Востоке в условиях преобладания морозной ясной погоды также образовалась протяженная область положительных аномалий с рекордным значением сезонной суммы прямой радиации в Хабаровске.



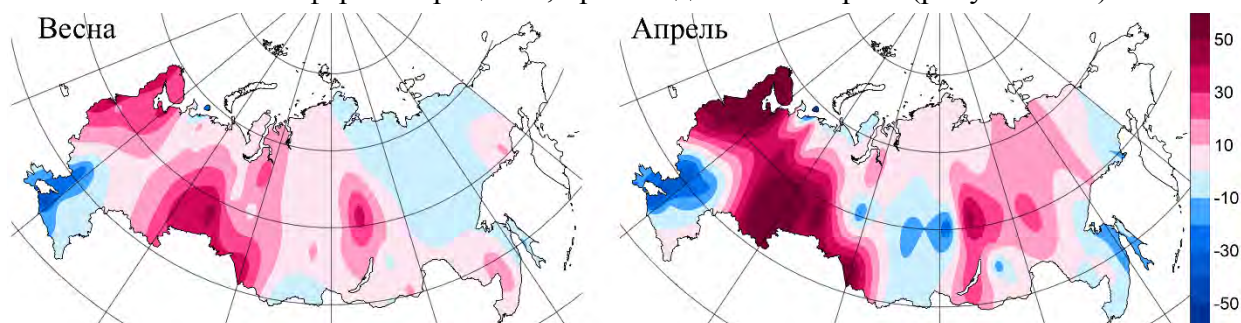
**Рисунок 10.2** – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой солнечной (а) и суммарной (б) радиации. Зима 2022-2023 гг.

Зимой в поле сезонных аномалий прямой радиации выделяются и области пониженных значений, однако рекордов при этом зафиксировано не было. В то же время, в поле рассеянной радиации наблюдались экстремально низкие значения (рисунок 10.3), и на ряде станций Дальнего Востока (Хабаровск, Б. Шантар, им. П. Осипенко) зарегистрированы рекорды. В поле суммарной радиации также доминировали отрицательные аномалии.



**Рисунок 10.3** — Вероятности непревышения сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Зима 2022-2023 гг.

В *весенний* сезон большая часть территории России находилась в области положительной аномалии прямой радиации, на формирование которой наибольшее влияние оказали атмосферные процессы, происходившие в апреле (рисунок 10.4).



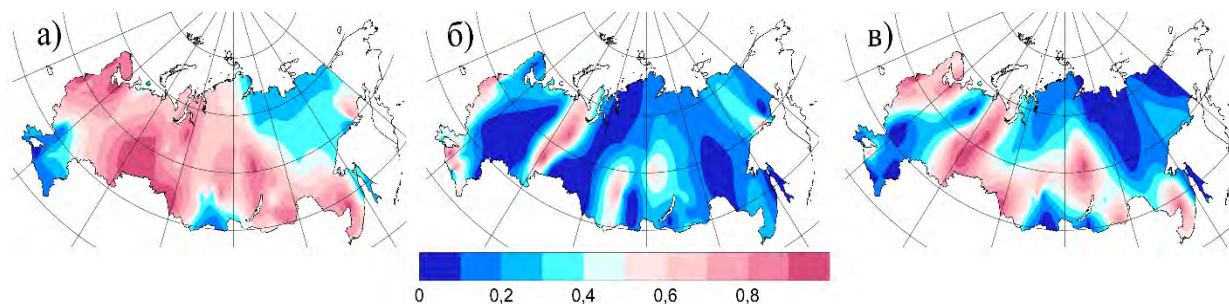
**Рисунок 10.4** – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (май) сумм прямой солнечной радиации. Весна 2023 года

В апреле большая часть Европейской России, за исключением южных районов, была под влиянием блокирующего скандинавского антициклона, что способствовало длительному преобладанию малооблачной сухой погоды и привело к высокому приходу

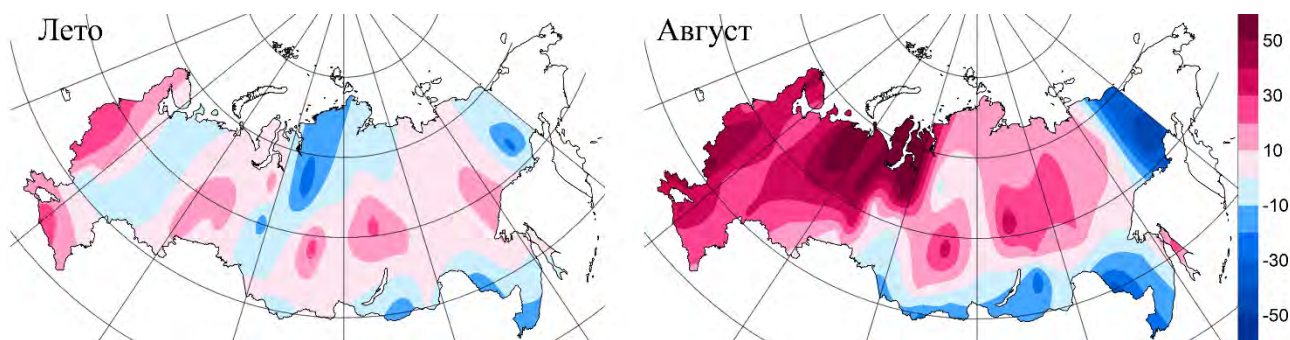
солнечной радиации на северо-западе и в центральных районах ЕЧР. На Кольском полуострове месячные суммы прямой радиации превышали норму почти на 70%, а в Архангельске было зарегистрировано рекордно высокое значение месячной аномалии. Сибирский антициклон, взаимодействуя со скандинавским антициклоном, обеспечил малооблачную сухую погоду в южной части Урала и Западной Сибири. Эти районы также оказались в области мощной положительной аномалии. Рекордно высокие значения прямой радиации зарегистрированы на станциях Благовещенка, Тобольск, Кушнаренково.

В южных районах ЕЧР, не попавших в зону влияния блокирующего антициклона, преобладала погода с частыми дождями (в отдельных пунктах месячные суммы осадков в 2-3 раза превышали норму), что проявилось в формировании устойчивой отрицательной аномалии прямой радиации, сохраняющейся на протяжении всего весеннего сезона. Однако рекордно низких сезонных значений прямой радиации на территории РФ весной не наблюдалось (рисунок 10.5).

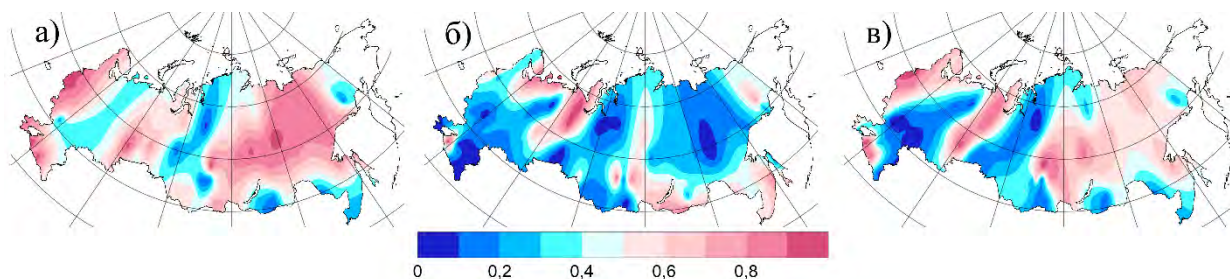
**Летний** сезон на территории России в среднем характеризуется слабыми положительными аномалиями прямой радиации (рисунки 10.6, 10.7), соответствующими на большей части страны вероятности непревышения 0,6-0,7. При этом в отдельные месяцы выделялись обширные области с весьма интенсивными аномалиями приходящей радиации. Так, в июне на ЕЧР, Урале и в Западной Сибири в условиях облачной погоды с большим количеством осадков, сформировалась глубокая отрицательная аномалия. Снижение месячного прихода прямой радиации в июне составляло на севере Западной Сибири 30-40%, а на северо-востоке ЕЧР достигало 55-65% (станции Коткино, Бугрино).



**Рисунок 10.5** – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм рассеянной (а) и суммарной (б) радиации. Весна 2023 года



**Рисунок 10.6** – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (август) сумм прямой солнечной радиации. Лето 2023 года

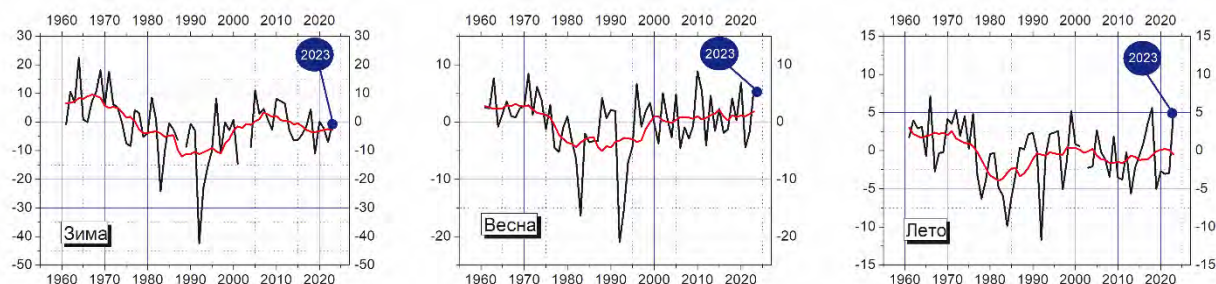


**Рисунок 10.7** – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) сезонных сумм рассеянной (а) и суммарной (б) радиации. Лето 2023 года

Наибольшее воздействие на формирование поля сезонных аномалий оказали циркуляционные условия в августе, когда область положительных аномалий прямой радиации занимала всю Европейскую часть и северные районы Западной Сибири (рисунок 10.6). Антициклональная циркуляция определила здесь преобладание малооблачной сухой погоды и высокий приход солнечной радиации. Наиболее интенсивные очаги высоких значений прямой радиации находились на северо-востоке ЕЧР и севере Западной Сибири. На отдельных станциях превышение месячной нормы составляло 50-75% (Коткино – 50%, Салехард – 55%, Тарко-Сале – выше 70%). Мощная положительная аномалия на ЕЧР распространилась и на значительную часть азиатской территории, но в существенно ослабленном виде.

Осреднение сезонных аномалий прямой радиации по территории России (рисунок 10.8) показывает, что в зимний сезон значения прямой радиации были близки к норме за период 1961-1990 гг., в то время как весной и летом наблюдался повышенный приход прямой радиации, превышающий норму в среднем на 5%.

**Рисунок 10.8** – Аномалии



(в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, осредненные по территории РФ. 1961-2023 гг.

В целом радиационный режим 2023 года на территории России был близок к норме в зимний сезон и отличался преобладанием положительных аномалий прямой радиации в весенний и летний сезоны. Наиболее ярко это проявилось в апреле и, особенно, в августе, когда область положительных аномалий охватывала всю ЕЧР и северные районы Западной Сибири, и количество поступающей на земную поверхность прямой солнечной радиации достигало рекордно высоких значений. 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.

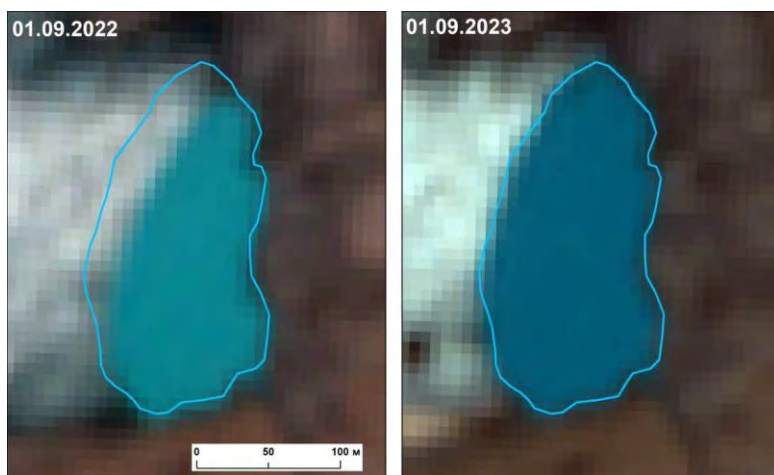
## **11. ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕДНИКОВО-МОРЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА**

Изменение климата и вызванное им ускорение темпов деградации ледников привело к активизации опасных природных процессов (ускорение движения ледников, появление и развитие новых трещин на ледниково-моренных комплексах, появление и увеличение ледниковых озер Центрального Кавказа). В ФГБУ «ВГИ» в 2023 году проводилось исследование изменений ледниково-моренных комплексов и ледниковых озёр на основе

дешифрирования космических снимков, наземных маршрутов с использованием квадрокоптера DJI MavicAir 2 Fly More Combo и облёта на вертолётe Airbus Helicopters H125 компании Heliaction.

По данным анализа разновременных космических снимков Sentinel-2 было выявлено увеличение площади приледникового озера у ледника Бирджалычиран на севере Эльбруса (рисунок 11.1). Вследствие отступления ледника это озеро обнаруживало заметный рост площади в 2022 году с 8,3 тыс. м<sup>2</sup> до 19,6 тыс. м<sup>2</sup>. В 2023 году оно увеличилось до 22,9 тыс. м<sup>2</sup>. Озеро имеет поверхностный сток в юго-восточном направлении, а с севера его сдерживает ледниковая перемычка, ширина которой уменьшилась до 30 м. Возможно, в следующем году произойдёт постепенный слив озера или быстрый прорыв с прохождением паводка.

В результате сравнения ортофотопланов 2022-2023 гг. выявлено изменение площади у Башкаринских озёр в верховьях реки Адылсу (бассейн реки Баксан).



**Рисунок 11.1** – Состояние озера Бирджалы Южное на севере Эльбруса в 2022 и 2023 годах

Площадь озера Башкара увеличилась – на 0,7 тыс. м<sup>2</sup> (с 32,8 до 33,5 тыс. м<sup>2</sup>) из-за небольшого повышения уровня озера (около 0,3-0,5 м), которое было вызвано камнепадами, отложение которых повысило поверхность дна прорана. Всего за период 2017-2023 гг. увеличение площади составило 7,8 тыс. м<sup>2</sup>. Площадь озера Лапа (Башкара нижнее) увеличилась на 0,8 тыс. м<sup>2</sup> и составила

27,6 тыс. м<sup>2</sup>. Это произошло из-за протаивания масс погребённого льда в северной части. Во время вертолётного облёта 19.09.2023 года было уточнена литология плотины озера, расположенного на водоразделе рек Кестанты (бассейн реки Баксан) и Джайлыксу (бассейн реки Чегем) на высоте 3920 м, которое постепенно увеличивалось в размерах и достигло площади 18,8 тыс. м<sup>2</sup> (рисунок 11.2). Оказалось, что сток воды с озера осуществляется по поверхности скального выступа (ригеля), и не предполагается в дальнейшем размыв или оползание плотины.

Окружающие озеро склоны пологие, что исключает падение льда или скальных блоков в озеро и его прорыв. Рост озера прекратился вследствие отступления ледника на склон.

Другие моренные и каровые озёра изменялись в обычном режиме или были стабильными в течение сезона (озеро над ледником Башиль, озеро ниже ледника Азот в ущелье Адырсу, озеро Гийбашкель, озеро Сылтранкель, озеро Донгуз-Орункель, озёра у ледника Малый Азау и др.). По результатам анализа разновременных космических



**Рисунок 11.2** – Озеро на водоразделе р. Кестанты-Джайлыксу на космическом снимке и на фотографии с вертолётного облёта

снимков выявлено продолжение ускоренной деградации ледников Эльбруса – 1,27 км<sup>2</sup> за период 2022-2023 гг.

В результате сравнения материалов аэрофотосъёмок ледника Башиль за последний год было выявлено изменение его состояния. Язык ледника обособился от контактирующих с ним мёртвых льдов (рисунок 11.3а). Отступление конца ледника составило около 100 м за счёт быстрого таяния узкой части, граничащей с выходом коренных пород.

Затруднено было определение отступления языка ледника Безенги (крупнейшего ледника Кавказа) вследствие миграции участка истока реки Черек Безенгийский. Исток реки сместился от левого края ледника (данные аэрофотосъёмки 28 августа 2022 г.) к правому краю (данные аэрофотосъёмки 23 августа 2023 г.) на расстояние 170 м и ниже по руслу примерно на 85 м, а затем (данные аэрофотосъёмки 8 ноября 2023 г.) исток сместился ниже по руслу ещё на расстояние 135 м (рисунок 11.3б).

Предположительно это связано с тем, что перекрытая мощным чехлом селевых отложений активная часть языка ледника немного продвинулась на участок мёртвых льдов, толкая и деформируя его. Это привело к изменению положения подлёдного канала стока. Кроме основной массы с ледников, с разными темпами деградирующих, исследовалось состояние ледников с тенденцией к наступанию.



**Рисунок 11.3** – а) Изменение границ языка ледника Башиль в верховьях долины р. Чегем: синяя линия 2023 г., жёлтая линия 2022 г. Фрагмент ортофотоплана; б) Положение истока реки Черек Безенгийский в 2022 и 2023 годах на фрагменте ортофотоплана 08.11.2023

## 12. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

**Данные.** Приведенные в настоящем разделе оценки получены с использованием информации о продолжительности солнечного сияния (ПСС) из созданной во ВНИИГМИ-МЦД Базы Данных (БД) «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России» ([meteo.ru](http://meteo.ru)). БД содержит месячные обобщения ежесуточных наблюдений за солнечным сиянием по гелиографу. Для каждой станции рассчитываются аномалии месячных сумм ПСС – отклонения от нормы. В качестве нормы используются средние многолетние значения за 30-летний период. С 2022 года норма рассчитывается за 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 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 применяются для расчета относительных аномалий (RS, %) – отношение к норме, выраженное в процентах. Расчёт дополнительных характеристик аномалий (процентили, вероятности превышения, ранги) осуществляется по данным за период, начинающийся с 1961 года, когда с увеличением числа станций,



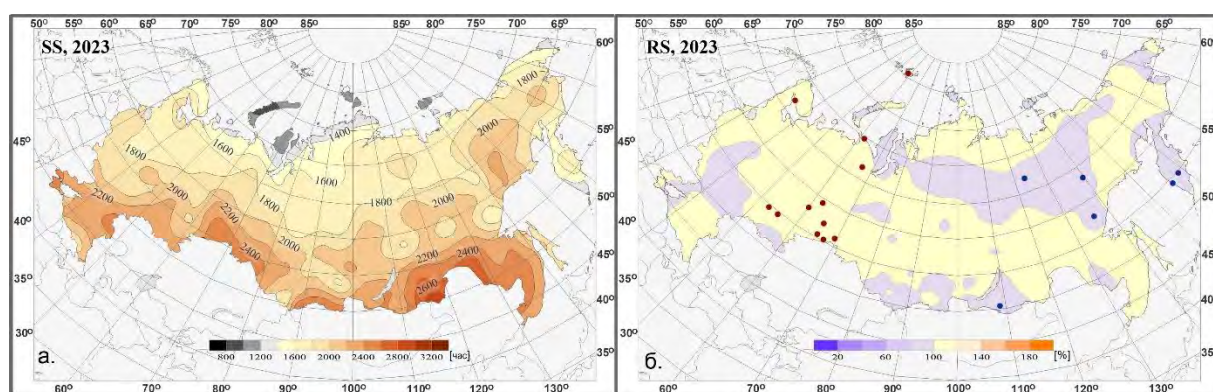
представленных в информационной базе, существенно увеличился объем поступающих данных.

Полученная информация с метеорологических станций после обработки представлена в виде карт для территории России, а также в виде региональных средних данных для территории РФ в целом, её европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти квазиоднородных физико-географических регионов и восьми федеральных округов РФ (Введение, рисунки 3, 2). Для получения результатов проводится арифметическое осреднение аномалий на метеостанциях по ячейкам географической сетки (1° широты x 2° долготы). При осреднении учитывается весовой коэффициент, зависящий от координат ячейки. Временные ряды аномалий ПСС дополняются скользящим 11-летними средними значениями и линейным трендом, который выражен в процентах (от нормы) за десятилетие (%/10 лет). На рисунках он представлен для периода с 1976 года, условно принятого за начало современного глобального потепления.

### Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2023 году

Для получения характеристик ПСС в 2023 году 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»).

Из-за большой протяженности территории России распределение годовой ПСС не равномерно (рисунок 12.1а). В полярных районах ПСС была менее 1400 ч/год, а на островах Северного Ледовитого океана от 1200 до 800 ч/год и меньше. В южных регионах ПСС достигала 2400-2600 ч/год. На большей части исследуемой территории ПСС незначительно превышала норму (до 20%), хотя были выявлены и меньшие области с отрицательной аномалией, до -20% (рисунок 12.1б).



**Рисунок 12.1** – Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (SS, часы) и ее относительных аномалий (RS, %) на территории РФ в 2023 году (январь-декабрь). Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля

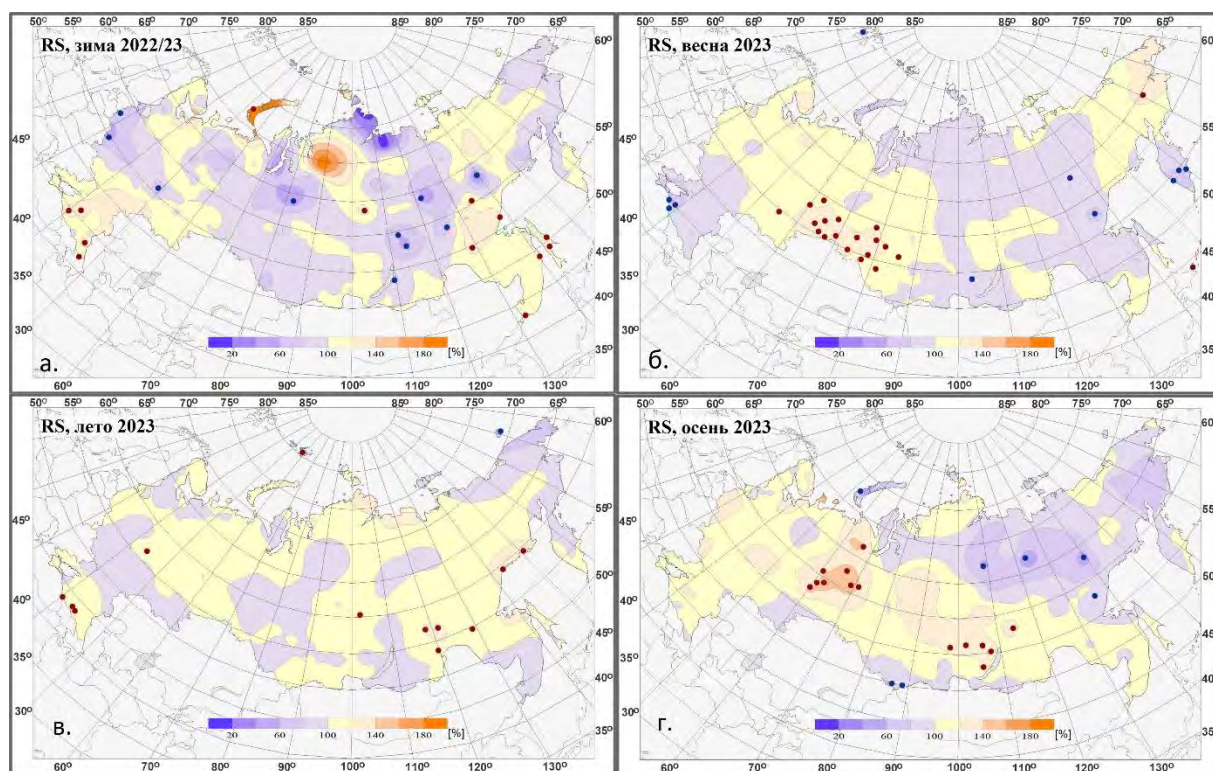
Сезонное распределение ПСС по территории России было различным. Зимой 2022-2023 гг. для большей части регионов ПСС была ниже нормы на 30-60% (рисунок 12.2а). Это наблюдалось как в ЕЧР, так и в Западной и Центральной Сибири. На Чукотке тоже была зафиксирована отрицательная аномалия. Весной количество солнечных часов увеличилось в центральной и северной областях ЕЧР, в Западной Сибири, и на Чукотке. В то же время на юге ЕЧР, юге Восточной Сибири и Камчатке ПСС уменьшилась на 30% (рисунок 12.2б). Летом почти на всей территории РФ было солнечно, так как ПСС превышала норму (рисунок 12.2в). Осенью на значительной её части наблюдались высокие

положительные аномалии (100-120%). Только на севере Восточной Сибири, Чукотке и Камчатке ПСС была ниже нормы (рисунок 12.2г).

### *Региональные особенности распределения продолжительности солнечного сияния*

Зимой 2022-2023 гг. на территории ЕЧР положительная аномалия ПСС составляла 111% с вероятностью (P) 84%. Наибольшее количество ПСС (до 119% при P=94%) наблюдалось на Кавказе (таблица 12.1). На территории АЧР выявлены как положительные, так и отрицательные аномалии ПСС, что в среднем составило норму (100%, P=66%).

В *декабре 2022 года* на значительной территории ЕЧР наблюдались положительные аномалии (средняя аномалия составила 124%). Для АЧР средняя аномалия была 106%. В *январе 2023 г.* средняя аномалия для ЕЧР составила 142% (таблица 12.2). Наибольшие значения отмечались в центре (132%) и на юге ЕЧР (162%). В АЧР отмечалось преобладание отрицательных аномалий (от 73 до 94%). Только на севере Якутии (109%) и на Дальнем Востоке (108%) ПСС превысила норму. В *феврале* отрицательные аномалии на ЕЧР усилились – средняя аномалия составила 87%. Только на севере ЕЧР и в Западной Сибири ПСС превысила норму на 9%. В АЧР кроме Западной Сибири превышение нормы ПСС наблюдалось на севере Восточной Сибири, Якутии, Алтае и Саянах. На остальных территориях Сибири были зарегистрированы отрицательные аномалии (от 87% на Чукотке и севере Камчатке до 98% в центре и на юге Восточной Сибири).



**Рисунок 12.2** – Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния (RS, %) на территории РФ в 2023 году. Кругами синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля

Весной 2023 года в Северо-Западном и Уральском ФО преобладали положительные аномалии ПСС (ранг 5 и 3 соответственно среди максимумов). В то же время в Южном ФО зафиксированные аномалии (ранг 5 среди минимумов). Для ЕЧР, как и для АЧР в целом, аномалия составила 102%. Однако, на юге ЕЧР ПСС была ниже нормы (86%, P=10%) (таблица 12.1). Наибольшие положительные аномалии отмечались на юге АЧР, где ряд

станций в центре и на юге Западной Сибири попал в 95%-й квантиль (113%, P=98%). В *марте* на всей территории РФ отмечалась отрицательная аномалия (90%). Территория ЕЧР испытывала снижение ПСС (87%), а в АЧР снижение было до 92%. (таблица 12.2). Данные по Дальневосточному ФО получили возрастающий ранг 4. В *апреле* ситуация изменилась: на всей территории РФ ПСС увеличилась (107%). В центральной части ЕЧР достигло 127% (ранг 2 среди максимумов). ПСС ниже нормы выявлен только на Дальнем востоке (92%) и юге ЕЧР (82%). В *мае* почти на всей территории РФ наблюдалась положительная аномалия в среднем 106%, кроме юга ЕЧР, Алтая и Саян. Наибольшая ПСС наблюдалась на Чукотке и севере Камчатки (142%, ранг 1 среди максимумов).

**Летом** на всей территории РФ наблюдались положительные аномалии ПСС (102%) (таблица 12.1). Средняя аномалия для ЕЧР составила 103%. Меньше нормы ПСС отмечалась только на Чукотке и севере Камчатки. В *июне* (таблица 12.2) для ЕЧР количество солнечных часов соответствовало норме, тогда как для АЧР ПСС почти приблизилась к норме (99%). В *июле* в ЕЧР ПСС уменьшилась (92%), а в АЧР увеличилась (104%). В *августе* произошло увеличение ПСС в обоих случаях: ЕЧР - 118% (ранг 2 среди максимальных), АЧР - 104%.

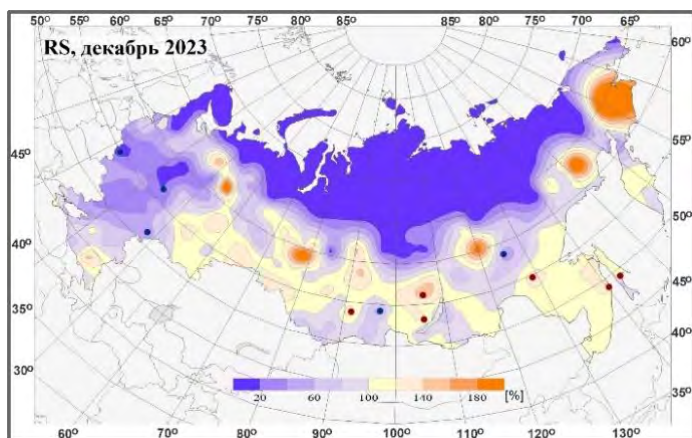
**Таблица 12.1** – Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (RS, %) в регионах России и вероятность ее неперевышения (P, %) в 2023 г. Желтым цветом выделены значения, попавшие в 5 максимальных, серым – в 5 минимальных

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	RS	P	RS	P	RS	P	RS	P	RS	P
РФ	103	94	103	79	102	82	102	85	107	92
ЕЧР	104	85	111	84	102	79	103	76	112	89
АЧР	102	90	100	66	102	76	102	87	104	77
<b>Физико-географические регионы РФ</b>										
Север ЕЧР и Западной Сибири	108	84	104	65	111	92	105	63	112	81
Север Восточной Сибири и Якутии	100	35	105	76	99	42	101	48	89	8
Чукотка и север Камчатки	100	53	97	39	121	94	90	29	81	10
Центр ЕЧР	104	81	107	58	106	87	101	61	113	84
Центр и юг Западной Сибири	106	94	98	45	113	98	101	52	115	89
Центр и юг Восточной Сибири	101	81	94	37	98	48	103	89	108	87
Дальний Восток	103	84	108	89	96	31	106	81	101	52
Алтай и Саяны	99	47	98	48	99	55	101	71	100	52
Юг ЕЧР	102	84	119	94	86	10	105	92	110	85
<b>Федеральные округа РФ</b>										
Центральный	98	48	88	34	97	48	97	45	112	76
Южный	101	74	131	97	83	6	103	79	113	92
Северо-Западный	108	90	93	35	113	94	105	68	114	84
Дальневосточный	101	77	102	74	98	32	103	89	98	27
Сибирский	102	79	97	48	104	81	100	61	109	84
Уральский	109	97	102	58	112	97	104	73	119	94
Приволжский	104	79	113	73	106	84	100	60	114	85
Северо-Кавказский	103	84	111	77	90	13	107	94	105	71

**Осенью** на территории РФ в течение всех трёх месяцев преобладал избыток солнечного сияния (107%, P=92%) (таблица 12.1). В *сентябре* на территории ЕЧР наблюдалось наибольшее количество солнечных часов, так как аномалия в среднем составила 125%, то есть на 25% выше нормы (ранг 1 среди максимумов), а максимальное значение отмечено в центре ЕЧР (137%, ранг 2 среди максимумов). В АЧР также преобладала положительная аномалия (108%). Положительные аномалии наблюдались почти на всей исследуемой территории, кроме севера Восточной Сибири и Якутии (74%), Чукотки и севера Камчатки (75%), Алтая и Саян (93%). Наибольшие значения положительных аномалий отмечены в центре и на юге Западной Сибири (131%, ранг 3 среди максимумов). В *октябре* в ЕЧР продолжительность солнечного сияния была выше нормы на 3%. Только в центре ЕЧР наблюдалось снижение ПСС до 86%. Максимальная

ПСС наблюдалась в Южном ФО (126%, ранг 4 среди максимумов). В АЧР только на Чукотке и севере Камчатки ПСС снизилась до 93%. На остальной территории ПСС превышала норму. Наибольшие значения положительных аномалий были отмечены в центре и на юге Западной Сибири (113%), а также на Алтае и в Саянах (114%). В **ноябре** ПСС на территории РФ (и в ЕЧР, и в АЧР) была ниже нормы. Только на севере ЕЧР и севере Западной Сибири ПСС наблюдалась в пределах нормы (100%). В остальных регионах отрицательная аномалия менялась от 72% до 96%.

В **декабре** (рисунок 12.3) средняя аномалия ПСС для ЕЧР составила 83% от нормы, для АЧР – 106% (таблица 12.2). В трёх регионах ПСС оказалась меньше нормы (центр ЕЧР – 71%, юг ЕЧР – 92%, Алтай и Саяны – 96%). Максимальное и одинаковое значение ПСС отмечено в центре и на юге Западной Сибири, а также на Чукотке и Камчатке (111%). В Центральном ФО значения ПСС снизилось до 35% (ранг 5 среди минимумов).



**Рисунок 12.3** – Пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории РФ в декабре 2023 года

В целом на территории РФ наибольшие положительные аномалии отмечались в августе (110%) и сентябре (115%). Наибольший дефицит солнечного сияния для страны наблюдался в ноябре (89%). Положительные аномалии в ЕЧР наблюдались в течении семи месяцев (рисунок 12.4). Максимальная аномалия отмечалась в январе (142% от нормы). Отрицательные аномалии ПСС в ЕЧР наблюдались в феврале и марте (87%). Наименьшая ПСС наблюдалась в ноябре (84%) и декабре (83%). В АЧР ПСС в большинстве месяцев оказалась близка к норме. В течение восьми месяцев преобладали положительные аномалии, наибольшие из них наблюдались в мае (109%). Меньше нормы ПСС была в течении четырёх месяцев, а минимальное значение было зафиксировано в январе (91%).

В целом на территории РФ наибольшие положительные аномалии отмечались в августе (110%) и сентябре (115%). Наибольший дефицит солнечного сияния для страны наблюдался в ноябре (89%). Положительные аномалии в ЕЧР наблюдались в течении семи месяцев (рисунок 12.4). Максимальная аномалия отмечалась в январе (142% от нормы). Отрицательные аномалии ПСС в ЕЧР наблюдались в феврале и марте (87%). Наименьшая ПСС наблюдалась в ноябре (84%) и

**Таблица 12.2** – Относительные аномалии (%) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, в 2023 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	105	100	90	107	106	100	99	110	115	106	89	98
ЕЧР	142	87	87	116	101	100	92	118	125	103	84	83
АЧР	91	105	92	102	109	99	104	104	108	107	92	106
<b>Физико-географические регионы РФ</b>												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	67	109	97	119	111	90	93	147	119	102	100	100
Север Вост. Сибири и Якутии	109	103	93	100	103	96	102	107	74	106	96	100
Чукотка и север Камчатки	94	87	96	119	142	99	81	89	75	93	74	111
Центр ЕЧР	132	83	80	127	104	102	88	116	137	86	72	71
Центр и юг Зап. Сибири	78	95	96	114	123	94	104	104	131	113	78	111
Центр и юг Вост. Сибири	88	98	84	100	106	100	106	104	112	107	100	103
Дальний Восток	108	118	92	92	104	110	109	99	104	102	93	107
Алтай и Саяны	73	108	99	103	97	105	100	97	93	114	91	96
Юг ЕЧР	162	88	93	82	84	96	105	115	110	120	93	92
<b>Федеральные округа РФ</b>												
Центральный	100	76	68	105	106	99	85	107	141	78	71	35
Южный	197	81	89	80	80	95	100	112	116	126	85	83
Северо-Западный	60	102	88	129	113	108	87	129	126	100	77	67
Дальневосточный	100	107	90	97	105	103	103	102	96	105	93	104

Сибирский	73	104	93	106	110	98	105	98	113	113	95	105
Уральский	102	94	96	118	119	90	104	124	147	100	70	111
Приволжский	153	77	83	131	99	97	88	118	140	85	75	79
Северо-Кавказский	140	96	100	87	85	95	110	117	103	112	99	98

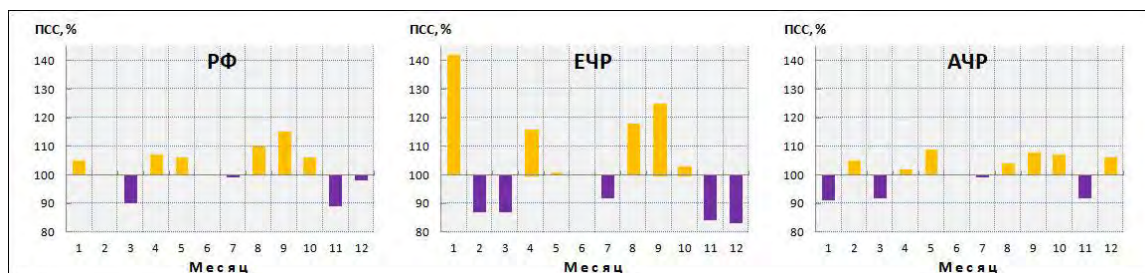


Рисунок 12.4 – Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, усредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР; 2023 год

### Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Географическое распределение коэффициентов линейного тренда годовых сумм ПСС, рассчитанных для периода 1976-2023 гг., представлено на рисунке 12.5. Оно мало отличается от полученного годом ранее (2022 год). Изменения ПСС на большинстве станций территории РФ характеризуются положительным трендом. Из 271-ой станции, для которых рассчитывался тренд годовых сумм ПСС, положительный тренд наблюдается на 203-х станциях (75%). Средняя скорость роста ПСС (коэффициент линейного тренда  $b$ ) для территории России в целом составляет 1,1%/10 лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 32% (таблица 12. 3).

Положительный тренд для России в целом наблюдается во все сезоны и является статистически значимым (за исключением осени). Также статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС для ЕЧР ( $b=1,8\%/10$  лет) и АЧР ( $b=0,7\%/10$  лет) по отдельности. Наибольший вклад в тренд годовых сумм ПСС на территории ЕЧР вносит тренд летнего сезона ( $b=2,6\%/10$  лет), а для АЧР – зимнего ( $b=2,3\%/10$  лет). Наибольший тренд годовых сумм ПСС наблюдается на юге ЕЧР – 2,8%/10 лет в Южном ФО, что является большим значением по сравнению с оценкой, полученной в 2022 году.

В географическом распределении коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий ПСС (рисунок 12.6) по сравнению с прошлым годом существенных изменений не

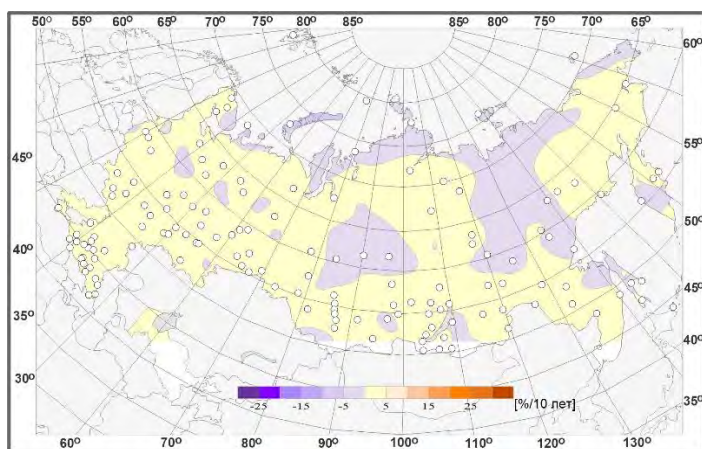


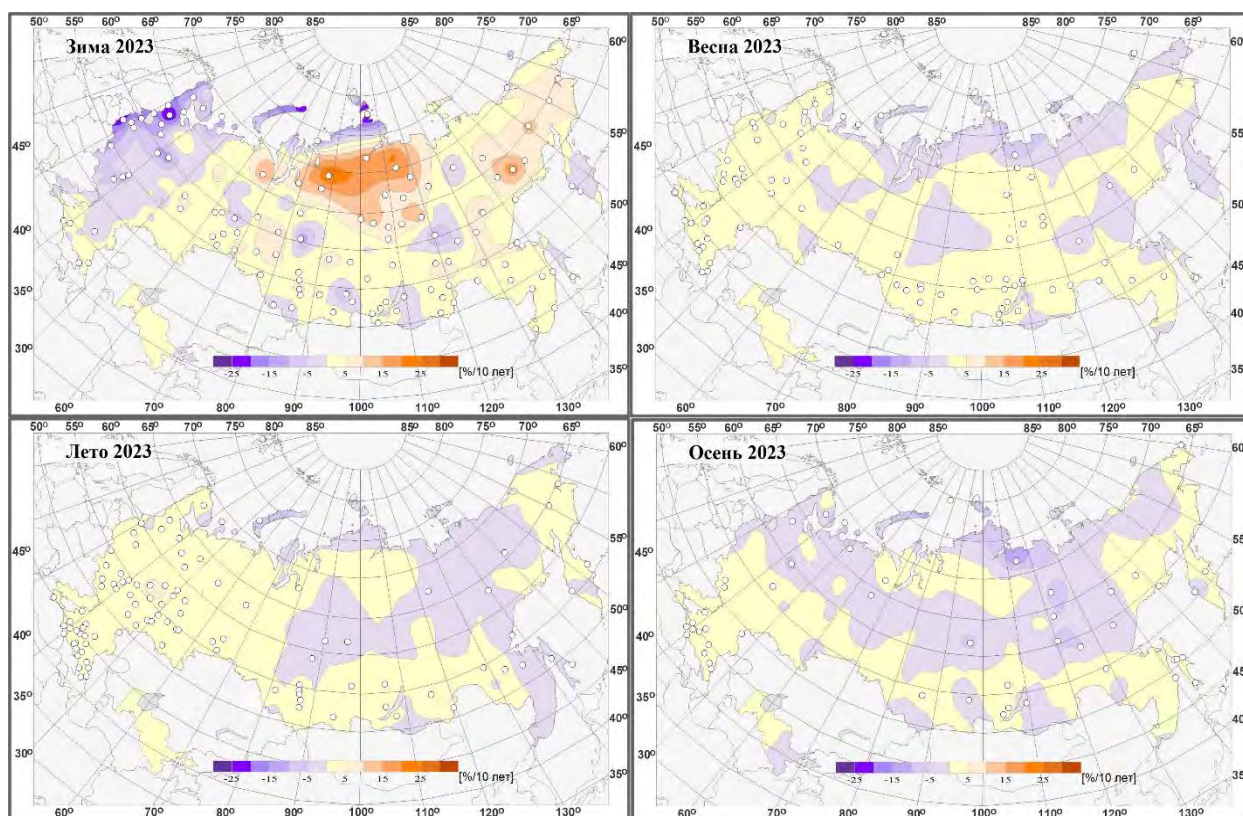
Рисунок 12.5 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий годовой продолжительности солнечного сияния на территории России, по данным за 1976-2023 гг. (%/10 лет). Белыми кружками выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-м уровне

произошло. Для России в целом в **зимний** сезон наблюдается положительный тренд. Он составляет +1,5%/10 лет и является наибольшим среди всех сезонов (таблица 12.3). При этом в ЕЧР отмечается отрицательный, но статистически незначимый тренд -1%/10 лет. Отрицательные региональные тренды в Центральном (-5%/10 лет) и Северо-западном ФО (-6%/10 лет) гораздо сильнее и являются статистически значимыми. Самое значительное

увеличение зимних сумм ПСС отмечается в регионе «Север Восточной Сибири и Якутии» ( $b=9,9\%/10$  лет,  $D=47\%$ ).

**Весной** (таблица 12.3) статистически значимый положительный тренд ПСС наблюдается как для РФ в целом ( $b=1\%/10$  лет,  $D=17\%$ ), так и отдельно для ЕЧР ( $b=1,7\%/10$  лет,  $D=17\%$ ). Наибольший тренд отмечается в Южном ( $2,7\%/10$  лет) и Центральном ( $3\%/10$  лет) ФО. По сравнению с прошлым годом (2022 г.) этот тренд несколько уменьшился. На севере ЕЧР, как и в зимний сезон, отмечается слабый, статистически незначительный отрицательный тренд ( $-0,1\%/10$  лет). В АЧР наблюдается в целом средний статистически незначимый положительный тренд ( $0,7\%/10$  лет). Однако, в отдельных регионах: Центр и юг Восточной Сибири, Алтай и Саяны, а также в Сибирском ФО наблюдается статистически значимый положительный тренд. Статистически незначимый отрицательный тренд ( $-1,2\%/10$  лет) отмечается на Чукотке.

В **летний** сезон средняя для всей территории РФ скорость роста ПСС составляет  $1,2\%/10$  лет. В ЕЧР, по сравнению с весной, тренд более существенный ( $2,6\%/10$  лет), поскольку рост ПСС наблюдается не только в центре и на юге ЕЧР, но и в Приволжском и Северо-Кавказском ФО. Летом АЧР 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 составляет всего  $0,3\%/10$  лет, являясь статистически незначимой.



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

В **осенний** сезон на территории страны наблюдается слабый положительный тренд, который составляет  $0,5\%/10$  лет и является статистически незначительным. Для ЕЧР в среднем наблюдается слабый рост ПСС ( $1,2\%/10$  лет), а в АЧР тренд почти отсутствует ( $0,1\%$ ). При этом для целого ряда регионов и федеральных округов как в ЕЧР, так и в АЧР общим является слабый отрицательный тренд. Статистически значимый положительный тренд ПСС сохраняется осенью только на юге ЕЧР. В регионе Юг ЕЧР тренд составляет  $2\%/10$  лет, в Южном ФО –  $2,6\%/10$  лет, что несколько превышает оценки прошлого года (2022 г.).

Многолетний ход средних годовых и сезонных аномалий ПСС для всей территории РФ в целом и отдельно для ЕЧР и АЧР (рисунок 12.7) показывает продолжающуюся тенденцию роста ПСС в течении года. Только осенью сохраняется относительная стабильность ПСС в целом по стране и её географическим регионам.

Анализ данных аномалий годовых сумм ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ показывает многолетний положительный тренд ПСС за исследуемый период (1976-2023 гг.) (Рисунок 12.8), причем во многих из них он является статистически значимым (таблица 12.3).

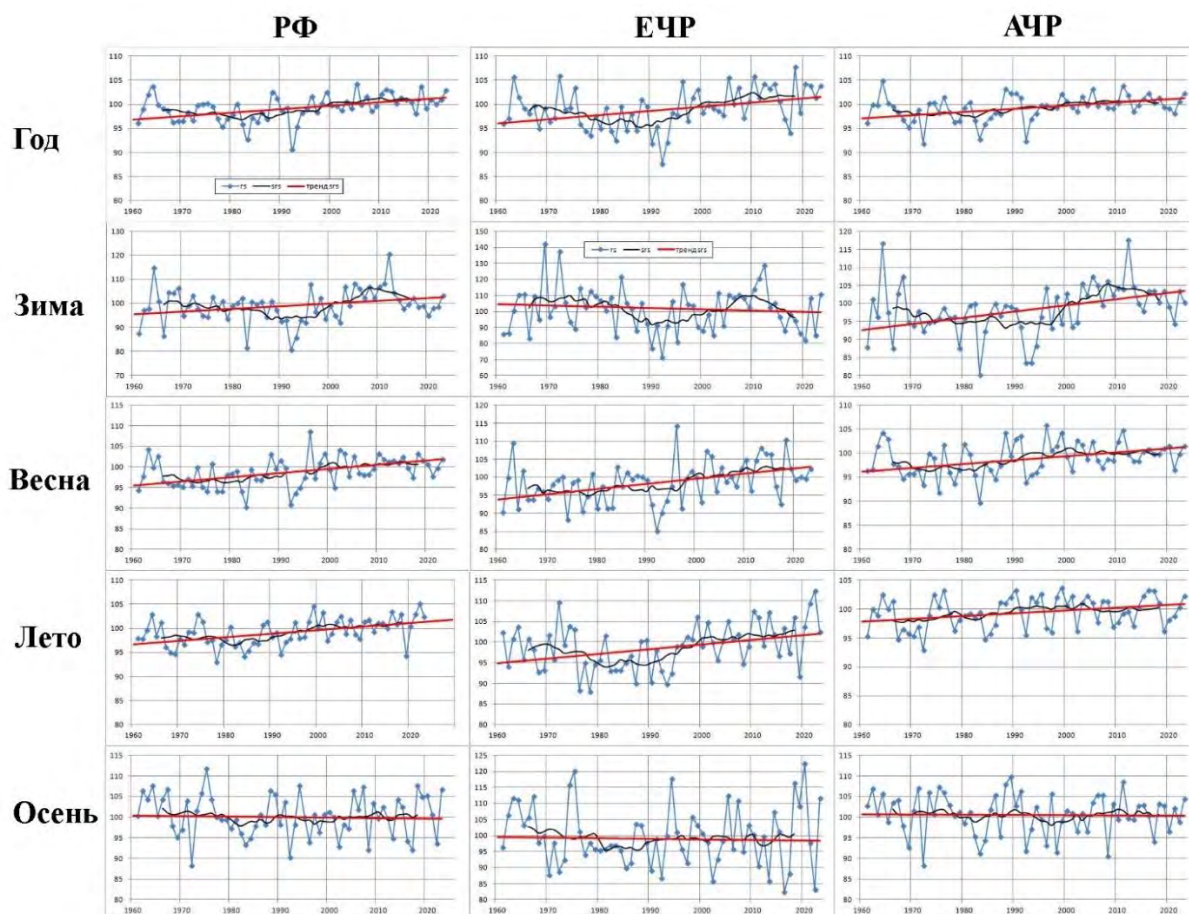
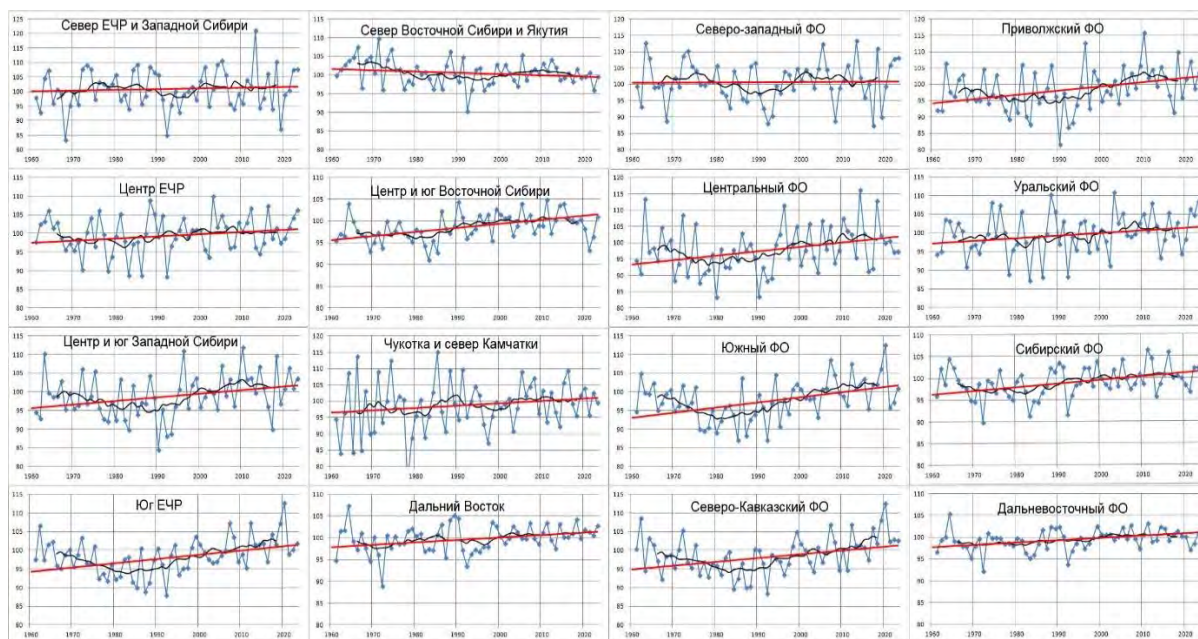


Рисунок 12.7 – Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей



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

Дополнительно получены оценки средних трендов годовых и сезонных сумм ПСС для всей территории РФ и двух её частей (ЕЧР и АЧР) за последний 30-летний период и проведено их сопоставление с оценками 2022 года (таблица 12.4).

**Таблица 12.3** – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России; 1976–2023 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	<b>1,1</b>	<b>32</b>	<b>1,5</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>1,2</b>	<b>35</b>	0,5	2
ЕЧР	<b>1,8</b>	<b>35</b>	-1,0	0	1,7	17	<b>2,6</b>	<b>41</b>	1,2	3
АЧР	<b>0,7</b>	<b>16</b>	<b>2,3</b>	<b>23</b>	<b>0,7</b>	<b>9</b>	0,3	2	0,1	0
<b>Физико-географические регионы РФ</b>										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	0,2	0	-2,0	1	-0,0	0	0,9	2	-2,0	3
Север Вост. Сибири и Якутии	0,2	1	<b>8,9</b>	<b>47</b>	0,2	1	-1,0	3	-1,0	2
Чукотка и север Камчатки	1,1	5	<b>5,7</b>	<b>13</b>	-1,0	1	1,7	5	1,0	1
Центр ЕЧР	<b>2,0</b>	<b>21</b>	-1,0	1	<b>1,7</b>	<b>10</b>	<b>3,0</b>	<b>32</b>	1,3	2
Центр и юг Зап. Сибири	0,8	5	3,2	8	0,9	3	0,4	1	-0,0	0
Центр и юг Вост. Сибири	<b>0,7</b>	<b>11</b>	<b>2,1</b>	<b>16</b>	<b>1,1</b>	<b>15</b>	0,4	1	-0,0	1
Дальний Восток	0,5	6	<b>1,6</b>	<b>12</b>	0,1	0	-0,0	1	1,0	7
Алтай и Саяны	<b>0,9</b>	<b>12</b>	1,0	3	<b>1,3</b>	<b>9</b>	0,9	7	0,2	0
Юг ЕЧР	<b>2,4</b>	<b>44</b>	1,1	2	<b>2,7</b>	<b>18</b>	<b>2,8</b>	<b>49</b>	<b>2,0</b>	<b>10</b>
<b>Федеральные округа РФ</b>										
Центральный	<b>2,2</b>	<b>20</b>	-5	9	3	17	<b>3,2</b>	<b>31</b>	1,6	2
Южный	<b>2,6</b>	<b>41</b>	1,4	2	<b>2,7</b>	<b>14</b>	<b>2,8</b>	<b>40</b>	<b>2,6</b>	<b>14</b>
Северо-Западный	0,8	4	-6	9	1,2	4	1,7	8	-2,0	3
Дальневосточный	<b>0,5</b>	<b>10</b>	<b>2,1</b>	<b>23</b>	0,4	3	-0,0	0	0,2	0
Сибирский	<b>0,8</b>	<b>12</b>	<b>2,4</b>	<b>10</b>	<b>1,3</b>	<b>10</b>	0,3	2	0,0	0
Уральский	1,1	8	3,1	7	0,4	1	1,5	7	0,2	0
Приволжский	<b>2,2</b>	<b>19</b>	1	0	1,1	3	<b>3,2</b>	<b>29</b>	2,0	3
Северо-Кавказский	<b>2,3</b>	<b>42</b>	0,9	1	<b>2,6</b>	<b>20</b>	<b>3,1</b>	<b>49</b>	1,6	6

**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 (%). Тренд статистически значимый на 5%-м уровне выделен жирным шрифтом



Сезон	1993-2022			1994-2023		
	<i>b</i> (ч/10л)	<i>b</i> (%/10л)	<i>D</i>	<i>b</i> (ч/10л)	<i>b</i> (%/10л)	<i>D</i>
<b>РФ</b>						
Год	<b>24,3</b>	<b>1,3</b>	<b>20</b>	<b>15,9</b>	<b>0,8</b>	<b>15</b>
Зима	<b>6,5</b>	<b>3,0</b>	<b>13</b>	4,3	2,0	7
Весна	7,2	1,1	9	4,3	0,7	4
Лето	<b>7,8</b>	<b>1,0</b>	<b>13</b>	6,0	0,8	9
Осень	2,7	0,8	2	2,1	0,6	1
<b>ЕЧР</b>						
Год	<b>38,5</b>	<b>2,1</b>	<b>19</b>	<b>27,3</b>	<b>1,5</b>	<b>13</b>
Зима	1,6	1,0	0	-0,2	-0,1	0
Весна	14,1	2,4	12	9,1	1,5	6
Лето	22,4	2,7	22	19,1	2,4	17
Осень	0,7	0,2	0	0,5	0,2	0
<b>АЧР</b>						
Год	<b>16,3</b>	<b>0,8</b>	<b>13</b>	9,5	0,5	8
Зима	<b>9,4</b>	<b>3,8</b>	<b>24</b>	<b>6,8</b>	<b>2,7</b>	<b>15</b>
Весна	3,1	0,5	2	1,3	0,2	0
Лето	-0,5	-0,1	0	-1,5	-0,2	1
Осень	3,9	1,1	6	3,1	0,9	4

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 учётом данных 2023 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 года, наибольший тренд ПСС был в период 1981-2010 гг. и 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, то есть в значительной мере выраженная гладкость полей в направлениях вдоль кругов широты. Поэтому для оценки текущих изменений климата свободной атмосферы применяют зонально обобщенные вдоль широтных кругов характеристики, для которых важнейшими пространственными координатами остаются географическая широта и высота по вертикали (или давление, убывающее с высотой). В этом состоит существенное отличие результатов данного раздела от результатов других разделов, где географическая долгота при расчетах и обобщении оценок играет существенную роль.

Приводимые оценки получены по срочным данным радиозондовых наблюдений, собираемым с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с глобальной сети аэрологических станций. Общее число станций, по которым ведется сбор аэрологических данных, превышает 900 и варьирует от месяца к месяцу. В их число входят более ста функционировавших в 2023 году 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 2023 года (зимний сезон включал декабрь 2022 года и январь-февраль 2023 года), а также для 2023 года в целом.

### **Особенности температурного режима в свободной атмосфере в 2023 году**

В таблице 13.1 приведены значения аномалий температуры за 2023 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 2023 году во все месяцы, за исключением апреля на высоте 300 гПа, наблюдались положительные аномалии температуры. Наибольшие аномалии температуры наблюдались в марте и сентябре в нижних слоях тропосферы и составили 1,99°C и 1,90°C соответственно. С августа по октябрь превышали или были близки к 1°C. В августе аномалии росли с высотой от 1,29 до 1,48°C, в сентябре и октябре убывали. Аномалии температуры, превышающие 1°C, наблюдались также с января по март и в декабре на высоте 850 гПа и на высоте 500 гПа в декабре. Наименьшие положительные аномалии в умеренных широтах Северного полушария наблюдались в апреле. Во всем слое тропосферы они не превышали 0,20°C, а в верхних слоях тропосферы приблизились к нулевым значениям.

В нижней стратосфере положительные аномалии наблюдались в июне и с октября по декабрь. Наибольшие отрицательные аномалии температуры в нижней стратосфере умеренных широт, превышающие -1°C по абсолютному значению, наблюдались с января

**Таблица 13.1** – Аномалии температуры за 2023 год для двух широтных зон Северного полушария (30-60 с. ш. и 60-90 с. ш.) на отдельных изобарических поверхностях. Цветной заливкой показаны отрицательные (голубой) и положительные (желтый) аномалии

МЕСЯЦ	30-60 С. Ш.				60-90 С. Ш.			
	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа
Январь	1,08	0,52	0,43	-1,77	0,42	0,03	-0,63	-2,41
Февраль	1,00	0,71	0,88	-1,76	0,13	-0,59	-0,06	-0,85
Март	1,99	0,92	0,16	-1,27	0,13	-0,36	0,41	1,75
Апрель	0,10	0,20	-0,02	-0,99	0,31	0,16	-0,68	-0,79
Май	0,15	0,34	0,12	-0,47	1,25	0,75	0,29	-1,45
Июнь	0,76	0,33	0,23	0,25	0,41	0,24	0,49	-0,49
Июль	1,29	0,65	0,70	-0,68	1,18	1,17	0,70	-0,46
Август	1,29	1,33	1,48	-0,79	2,32	2,18	1,77	-0,82
Сентябрь	1,90	1,36	0,99	-0,15	1,81	1,97	1,60	-0,62
Октябрь	1,70	1,33	1,15	0,03	1,10	0,97	0,22	-0,64
Ноябрь	0,87	0,97	0,85	0,48	1,43	1,53	0,20	-1,64
Декабрь	1,32	1,25	0,81	0,05	-0,09	-0,32	-0,56	-1,10

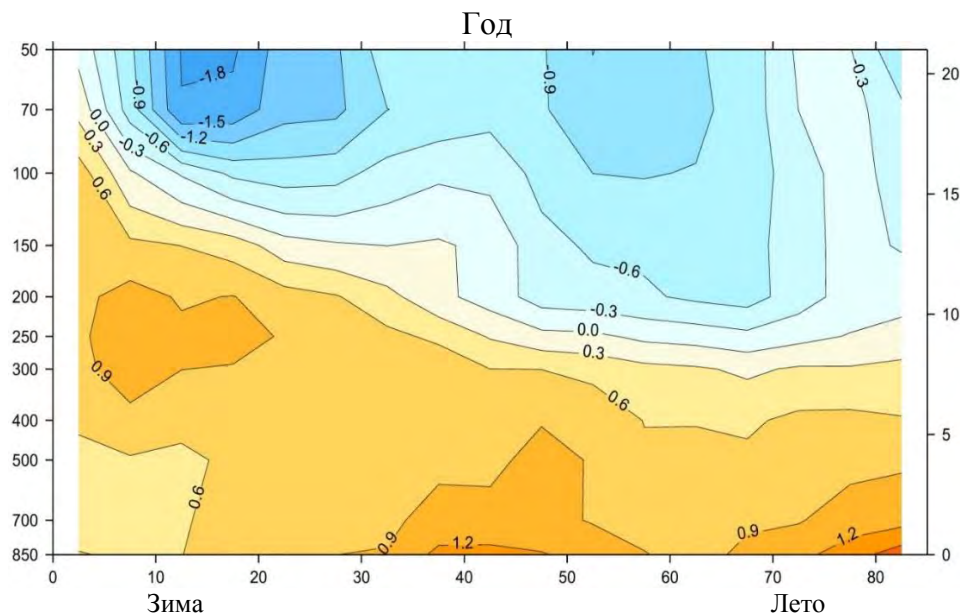
по март. Наибольшее изменение аномалий температуры с высотой наблюдалось в марте: разность аномалий на поверхностях 850 и 100 гПа составила 3,26°C.

В высоких широтах в верхних и средних слоях тропосферы Северного полушария в 2023 году преобладали отрицательные аномалии температуры с января по март, а также они наблюдались во всем слое тропосферы в декабре. На высоте 850 гПа аномалии температуры не превысили 1°C только в апреле, сентябре, ноябре и декабре. В августе наблюдались

самые большие положительные аномалии температуры в тропосфере. В нижних слоях тропосферы (850 гПа) они достигали 2,23°C, а в верхних слоях – 1,77°C. На высоте 850 гПа в мае и с июля по ноябрь аномалии температуры превышали 1°C. В нижней стратосфере высоких широт положительные аномалии температуры наблюдались только в марте и достигали 1,75°C. В январе, мае, ноябре и декабре аномалии температуры в стратосфере превышали -1°C по абсолютному значению, и в январе достигали -2,41°C.

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

Вертикально-широтная структура для годовых и сезонных аномалий температуры в 2023 г показана на рисунке 13.1



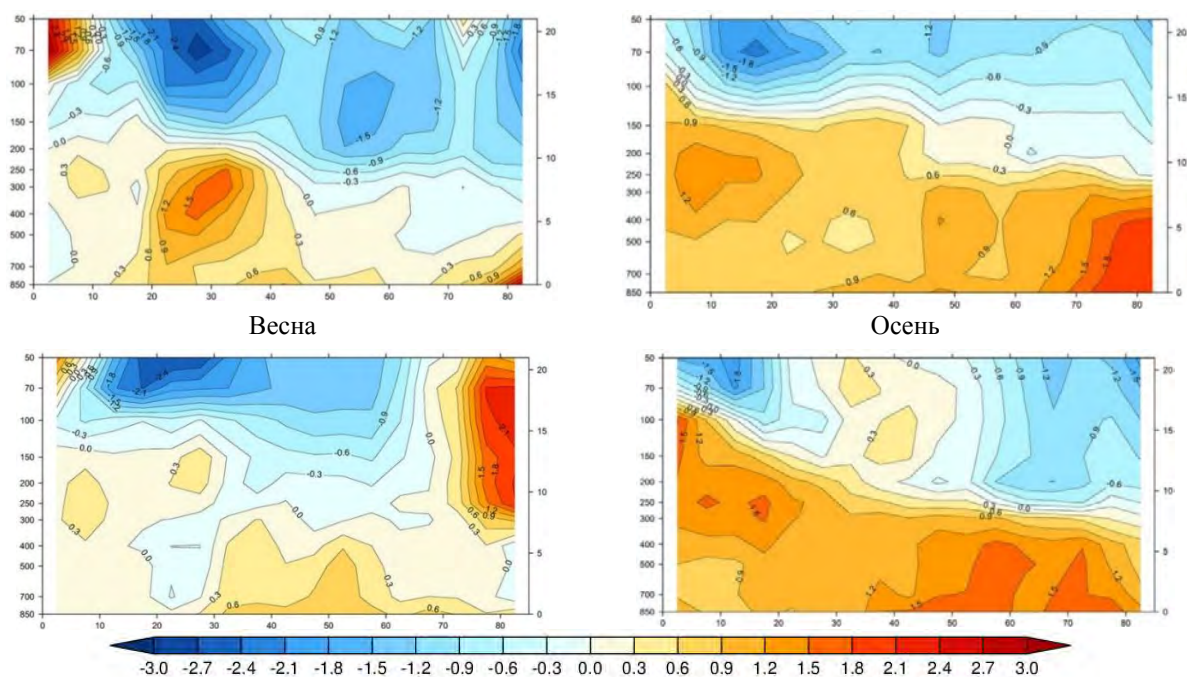


Рисунок 13.1 – Вертикально-широтная структура годовых и сезонных аномалий температуры свободной атмосферы в 2023 году. Горизонтальная ось – широты, левая вертикальная ось – давление на стандартных изобарических поверхностях, правая вертикальная ось – высоты над уровнем моря, в км

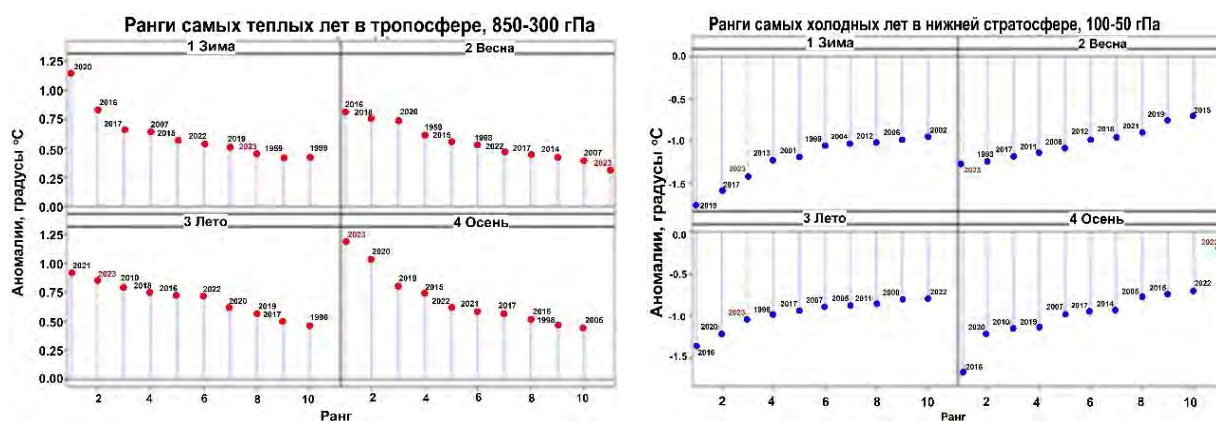
В Таблице 13.2 приведены аномалии температуры, обобщенные для каждого из четырех сезонов 2023 года (зимний сезон включает период декабрь 2022-февраль 2023 годов) и для года в целом, осредненные по вертикали внутри слоев 850-300 гПа (тропосфера) и 100-50 гПа (нижняя стратосфера) для тридцатиградусных широтных зон Северного полушария и полушария в целом, а на рисунке 13.2 представлены посезонно ранги 10 самых теплых в тропосфере и 10 самых холодных в нижней стратосфере лет, причем отдельно выделено положение 2023 года.

Таблица 13.2 – Аномалии температуры в тропосфере и нижней стратосфере от норм 1981-2010 гг.,  $\Delta T_{2023}$  – величина аномалии в градусах Цельсия, R (-R) – ранг (обратный ранг) в рядах, упорядоченных по возрастанию значений соответствующих аномалий за период 1958-2023 гг.

Сезон	0-30 С. Ш.		30-60 С. Ш.		60-90 С. Ш.		Северное полушарие	
<b>ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа</b>								
	$\Delta T_{2023}$	-R	$\Delta T_{2023}$	-R	$\Delta T_{2023}$	-R	$\Delta T_{2023}$	-R
Зима	0,58	8	0,44	13	0,07	31	0,46	8
Весна	-0,03	34	0,52	10	0,23	23	0,31	14
Лето	0,74	1	0,88	5	1,22	3	0,85	2
Осень	0,99	1	1,28	1	1,37	2	1,18	1
Год	0,68	3	0,89	2	0,67	5	0,80	2
<b>НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа</b>								
	$\Delta T_{2023}$	R	$\Delta T_{2023}$	R	$\Delta T_{2023}$	R	$\Delta T_{2023}$	R
Зима	-1,42	7	-1,48	2	-1,00	18	-1,43	3
Весна	-1,42	4	-1,35	2	-0,24	24	-1,28	1
Лето	-1,37	4	-0,90	6	-0,84	2	-1,05	3
Осень	-0,54	19	0,09	31	-1,06	1	-0,21	26
Год	-1,08	5	-0,80	4	-0,77	9	-0,89	4

В тропосфере низких широт 2023 год вошел в десятку самых теплых лет во всех сезонах, кроме весеннего. Осенью наблюдалась рекордно высокая температура с аномалией 1,18°C. Рекордные температуры осенью наблюдались и в отдельных широтных поясах: в низких и умеренных широтах. В высоких широтах осень стала второй самой теплой осенью за всю историю наблюдений. Также рекордные температуры наблюдались летом в низких широтах, аномалия температуры составила 0,74°C. В целом по северному полушарию лето было вторым в ряду самых теплых годов. Весна 2023 года была относительно холодной. Только в умеренных широтах весенняя аномалия температуры попала на десятое место в ряду самых теплых лет, а в низких широтах весной наблюдалась небольшая отрицательная

аномалия. В целом за год 2023 год стал вторым в ряду самых теплых лет с аномалией температуры 0,80°C.



**Рисунок 13.2** – Ранги самых значительных сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1958-2023 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, 2023 г. выделен красным пунктиром

В нижней стратосфере в 2023 году в целом по северному полушарию наблюдалась рекордно холодная весна, аномалия температуры составила  $-1,28^{\circ}\text{C}$ . Зима и лето заняли третье место в соответствующих рядах самых холодных лет. Их аномалии температуры составили  $-1,43$  и  $-1,05^{\circ}\text{C}$ . осенью в умеренных широтах наблюдалась небольшая положительная аномалия температуры, а в высоких широтах рекордно низкая аномалия температуры, равная  $-1,06^{\circ}\text{C}$ .

В целом по северному полушарию осень 2023 года была относительно теплой. В низких и умеренных широтах все сезонные аномалии температуры, за исключением осенних, попали в десятку самых холодных лет. В целом за год 2023 год занял 4 место в ряду самых холодных лет в нижней стратосфере с аномалией температуры  $-0,89^{\circ}\text{C}$ .

### 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 рисунок 13.3, где, наряду с рядами сезонных аномалий, представлены линии трендов.

Таблица 13.3 содержат значения линейных трендов, вычисленных за период 1981-2023 на основе рядов сезонных и годовых аномалий отдельных широтных зон и Северного полушария в целом для тропосферы и нижней стратосферы соответственно.

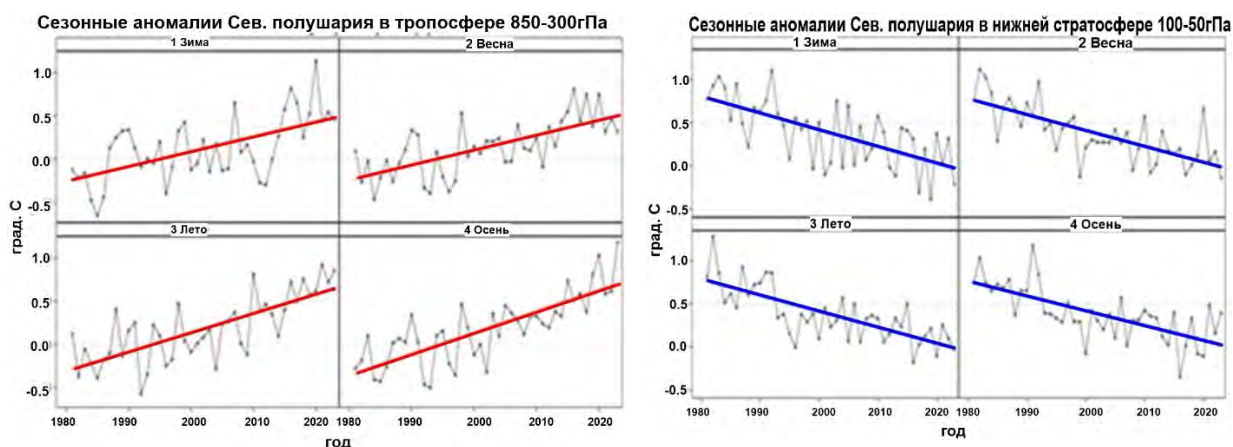
**Таблица 13.3** – Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2023 гг.)  
 $b$  – значения сезонного или годового тренда ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет),  
 $D$  – объясненная линейным трендом доля общей дисперсии ряда, в %. Жирным курсивом выделены значения трендов, значимо 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>
<b>ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа</b>								
Зима	<b>0,21</b>	43	<b>0,16</b>	18	<b>0,14</b>	21	<b>0,17</b>	35
Весна	<b>0,12</b>	19	<b>0,21</b>	44	<b>0,13</b>	13	<b>0,17</b>	48
Лето	<b>0,11</b>	26	<b>0,27</b>	55	<b>0,28</b>	45	<b>0,22</b>	55
Осень	<b>0,18</b>	37	<b>0,28</b>	57	<b>0,27</b>	42	<b>0,25</b>	61
Год	<b>0,16</b>	42	<b>0,23</b>	63	<b>0,20</b>	48	<b>0,21</b>	63

Как следует из таблицы 13.3, в тропосфере тенденции потепления во всех широтных зонах всех сезонов статистически значимы.

НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100–50 гПа								
Зима	-0,57	46	-0,33	25	-0,15	1	-0,39	44
Весна	-0,48	55	-0,31	33	-0,34	15	-0,37	52
Лето	-0,49	52	-0,33	47	-0,22	37	-0,37	55
Осень	-0,49	39	-0,29	41	-0,21	39	-0,34	47
Год	-0,50	63	-0,31	58	-0,24	24	-0,36	67

По сравнению с 2022 годом во всех широтных поясах увеличились оценки трендов летних и осенних аномалий. Весенние оценки уменьшились по сравнению с 2022 годом в низких и высоких широтах на  $0,01^{\circ}\text{C}/10$  лет. В среднем по Северному полушарию по сравнению с прошлым годом увеличились летний и осенний тренды, а значения трендов температуры принимали значения от  $0,17^{\circ}\text{C}/10$  лет зимой и весной до  $0,25^{\circ}\text{C}/10$  лет осенью. Годовой тренд по сравнению с 2022 годом увеличился на  $0,02^{\circ}\text{C}/10$  лет и составил  $0,21^{\circ}\text{C}/10$  лет.



**Рисунок 13.3** – Ряды сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1981-2023 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

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 изменился с  $-0,13^{\circ}\text{C}/10$  лет в 2022 году до  $-0,15^{\circ}\text{C}/10$  лет в 2023 году. В низких широтах абсолютные значения трендов уменьшились во всех сезонах, за исключением лета. В умеренных широтах абсолютные значения трендов увеличились во всех сезонах, за исключением осени. В высоких широтах увеличились по абсолютному значению зимние и летние тренды, а весенние уменьшились. В среднем по Северному полушарию увеличились абсолютные значения всех сезонных трендов кроме осеннего. Годовой тренд не изменился и составил  $-0,36^{\circ}\text{C}/10$  лет.

### Выводы

В 2023 году в тропосфере Северного полушария была рекордно теплая осень и второе самое теплое лето в истории наблюдений с аномалиями температуры  $1,18$  и  $0,85^{\circ}\text{C}$  соответственно. Также в десятку самых теплых лет в тропосфере попала зима 2023 года. Рекордно высокие аномалии наблюдались летом и осенью в низких широтах ( $0,74$  и  $0,99^{\circ}\text{C}$ ), а также осенью в умеренных широтах ( $1,28^{\circ}\text{C}$ ). Весной в низких широтах наблюдалась небольшая отрицательная аномалия температуры, равная  $-0,03^{\circ}\text{C}$ . В среднем за год 2023 год во всех широтных поясах был в пятерке самых теплых лет в тропосфере и в целом по Северному занял второе место в ряду с аномалией температуры  $0,80^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, 2015-2023 гг. являются девятью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария.

В нижней стратосфере лето во всех широтных поясах попало в десятку самых холодных лет и в целом по Северному полушарию оказалось третьим в ряду самых холодных лет с аномалией температуры  $-1,05^{\circ}\text{C}$ . Зима и весна 2023 года попали в десятку самых холодных лет в низких и умеренных широтах. В умеренных широтах они заняли

второе место. А в высоких широтах зима и весна оказались на 18 и 24 местах соответственно. Осень 2023 года, наоборот, в низких и умеренных широтах была относительно теплой. В умеренных широтах наблюдалась небольшая положительная аномалия температуры  $0,09^{\circ}\text{C}$ . А в высоких широтах осень была рекордно холодной с аномалией температуры  $-1,06^{\circ}\text{C}$ . В целом по Северному полушарию в 2023 году наблюдалась рекордно холодная весна, зима и лето вошли в тройку самых холодных сезонов, а осень была относительно теплой. В целом 2023 год по Северному полушарию оказался четвертым в ряду самых холодных лет в нижней стратосфере.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2023 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере.

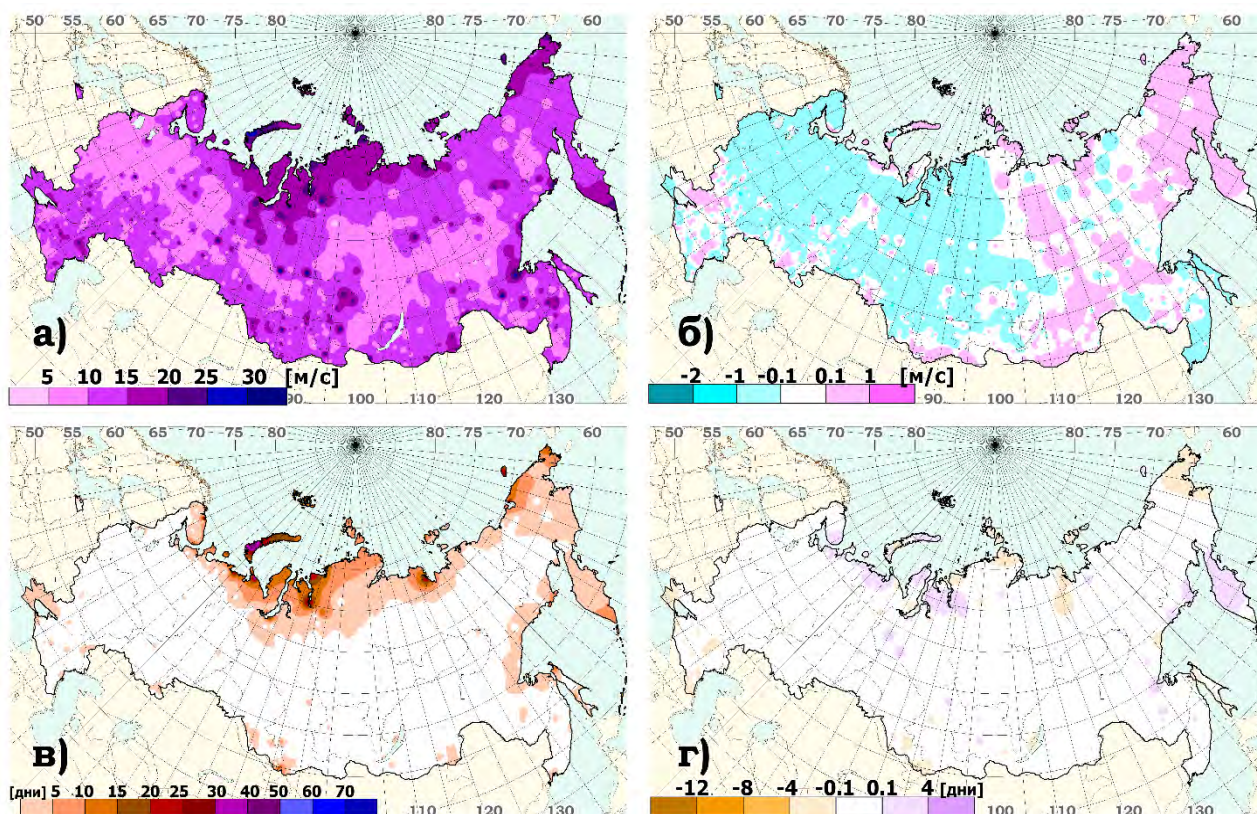
В тропосфере добавление оценок аномалий за 2023 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2022 года включительно, привело к увеличению значений летних и осенних трендов во всех широтных поясах, а также к уменьшению весенних трендов в низких и высоких широтах. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере всего Северного полушария вырос с  $0,19^{\circ}\text{C}/10$  лет до  $0,21^{\circ}\text{C}/10$  лет.

В нижней стратосфере в низких широтах уменьшились по абсолютному значению все сезонные оценки трендов за исключением летней. В умеренных широтах все сезонные тренды, за исключением осеннего, выросли по абсолютному значению. В высоких широтах выросли по абсолютному значению зимний и летний тренды, а весенний уменьшился. Среднегодовой тренд температуры в нижней стратосфере всего Северного полушария не изменился и составил  $-0,36^{\circ}\text{C}/10$  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 ( $\approx 1500$  пунктов наблюдений). Нормативные характеристики, используемые для оценки аномальности и экстремальности режима ветра в 2023 году, рассчитаны за 30-летний период с 1991 по 2020 год. Анализ многолетних изменений режима приземного ветра проводился по осредненным для 9 квазиоднородных климатических регионов характеристикам ветра. Регионы обозначены на рисунке 3 Введения.

Пространственное распределение максимальной скорости ветра, полученной из средних за 10-минутный интервал времени, представлено на рисунке 14.1а. Максимальная из средних скоростей ветра  $15$  м/с и выше наблюдалась в 2023 году на арктическом побережье Ненецкого, Ямало-Ненецкого автономных округов, Таймырского муниципального района Красноярского края, Чукотке, юге Камчатки, западном побережье Охотского моря и отдельных метеорологических станциях Южного, Сибирского и Дальневосточного ФО. Максимальная из средних скоростей ветра выше  $25$  м/с была зафиксирована в 33 пунктах.



**Рисунок 14.1** – а) Максимальная скорость ветра за 2023 год (без учета порывов); б) Аномалии среднегодовой скорости ветра в 2022 г.; в) Число дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с в 2022 году; г) Аномалии (отклонение от средних многолетних значений) числа дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с в 2023 году

На Европейской территории, за исключением южных районов, на большей части Западной Сибири и Красноярского края преобладают отрицательные аномалии средней месячной скорости ветра (рисунок 14.1 б), но по абсолютной величине они не превышают 1 м/с. На территории Дальневосточного ФО, кроме Приморского края и Сахалина, преобладают положительные аномалии среднемесячной скорости ветра до 1 м/с.

Наибольшее число дней со средней скоростью ветра  $\geq 15$  м/с (рисунок 14.1 в), отмечалось на арктическом и тихоокеанском побережье страны. Максимум таких дней (47) был зафиксирован на полярной станции Малые Кармакулы Архангельской области. На большей территории РФ число дней с сильным ветром не превышало 5 дней.

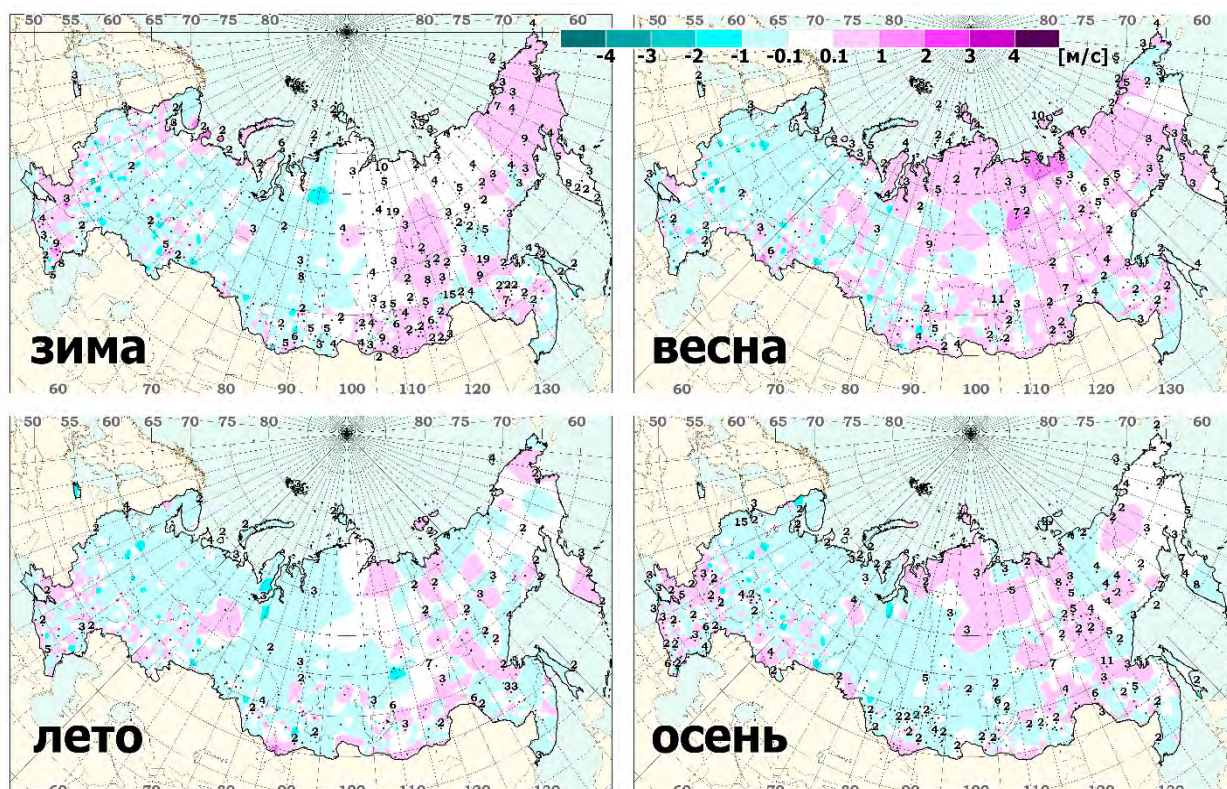
Аномалии числа дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с (рисунок 14.1 г) на большей части территории России близки к 0. Наибольшая по абсолютной величине отрицательная аномалия числа дней с сильным ветром в 2023 году отмечалась на метеорологической станции Мыс Крильон и составила  $-2,07$  дней. Число дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с превысило норму на Камчатке и северном побережье Охотского моря. Наибольшая положительная аномалия числа дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с, равная 2,77 дня, наблюдалась на острове Сосновец (Мурманская область).

Распределение аномалий скорости ветра по сезонам отражены на рисунке 14.2. Во все сезоны отрицательные аномалии преобладают на Европейской территории России и в Западной Сибири. Значительные отрицательные аномалии зимой и весной отмечались на метеорологических станциях Липецк, Тамбов, Лиман ( $\approx -2$  м/с). Метеостанция Кара-Тюрек отличилась наибольшей положительной аномалией скорости ветра в летней период (1,35 м/с). На территории Сибири и Дальнего Востока зимой, весной и осенью преобладают положительные аномалии средней скорости ветра.

Количество дней с экстремальным ветром (скорость ветра выше значения, соответствующего 95-ому процентилю) в 2023 году отмечено цифрами на рисунке 14.2. Наибольшее количество таких дней наблюдалось на метеорологической станции



Усть-Умалта (Хабаровский край) – 33 дня летом, 24 дня весной и 22 дня зимой. Количество таких дней велико также на метеорологических станциях Токо и Шелагонцы – 19 дней зимой; Средняя Олёкма (Забайкальский край) зимой и Воейково (Ленинградская область) летом – 15 дней.



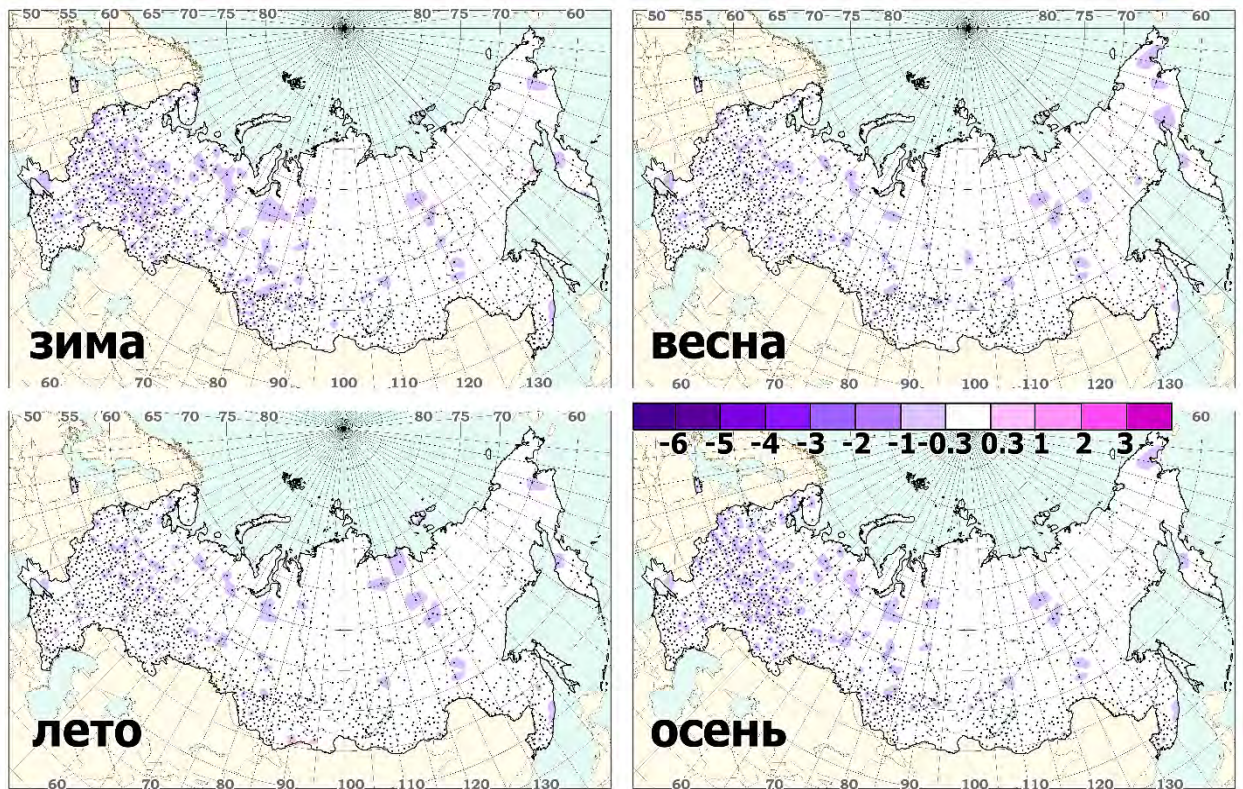
**Рисунок 14.2** – Аномалии средней скорости ветра по календарным сезонам 2023 года. Точками и цифрами обозначены станции, на которых скорость ветра превышала 95-й процентиль и число дней с такой экстремальной скоростью ветра

### 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 1976-2023 гг., которые рассчитаны, по данным станционных наблюдений, показано на рисунках 14.3 и 14.4. Тренд выражен в м/с за 10 лет и в днях за 10 лет. Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Башкортостан (Мраково) весной и летом - 0,543 м/с и 0,432 м/с за 10 лет соответственно. Также заметный рост скорости ветра отмечен на острове Тюлений в Республике Дагестан (0,467 м/с в 10 лет). Наибольшая тенденция уменьшения скорости ветра отмечается в Невельске (Сахалинская обл.). Это единственный пункт, где скорость ветра уменьшалась больше, чем на 1 м/с за 10 лет, во все сезоны кроме лета. На метеорологической станции Серафимович Волгоградской области коэффициент линейного тренда близок к -1 м/с за 10 лет, но только зимой.

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с также статистически незначим на большей территории РФ (рисунок 14.4).

Наибольшие значения получены за осенне-зимний период для метеорологической станции Улья (Хабаровский край) – 1,845 дня за 10 лет, весной – для метеорологической станции Певек (Чукотский АО) – 1,829 дня за 10 лет. Летом коэффициент линейного тренда больше 0 только в одном пункте (Ныврово, о. Сахалин) и составляет всего 0,132дня/10 лет.



**Рисунок 14.3** – Коэффициенты линейного тренда ((м/с)/10 лет) в рядах средней скорости ветра (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2023 гг.

Зимой максимальный по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда (-5,253 дня/10 лет) получен зимой на метеорологической станции Ненастная (Республика Хакасия), весной, летом и осенью – на метеорологической станции Невельск (о. Сахалин). 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 3,5 дня в 10 лет весной и осенью. Только в 4-х пунктах наблюдений для всех сезонов отмечается положительный коэффициент линейного тренда.

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. Изменения числа дней с ветром более 15 м/с на значительной части квазиоднородных регионов незначимы, а значимые коэффициенты линейного тренда имеют отрицательные значения.

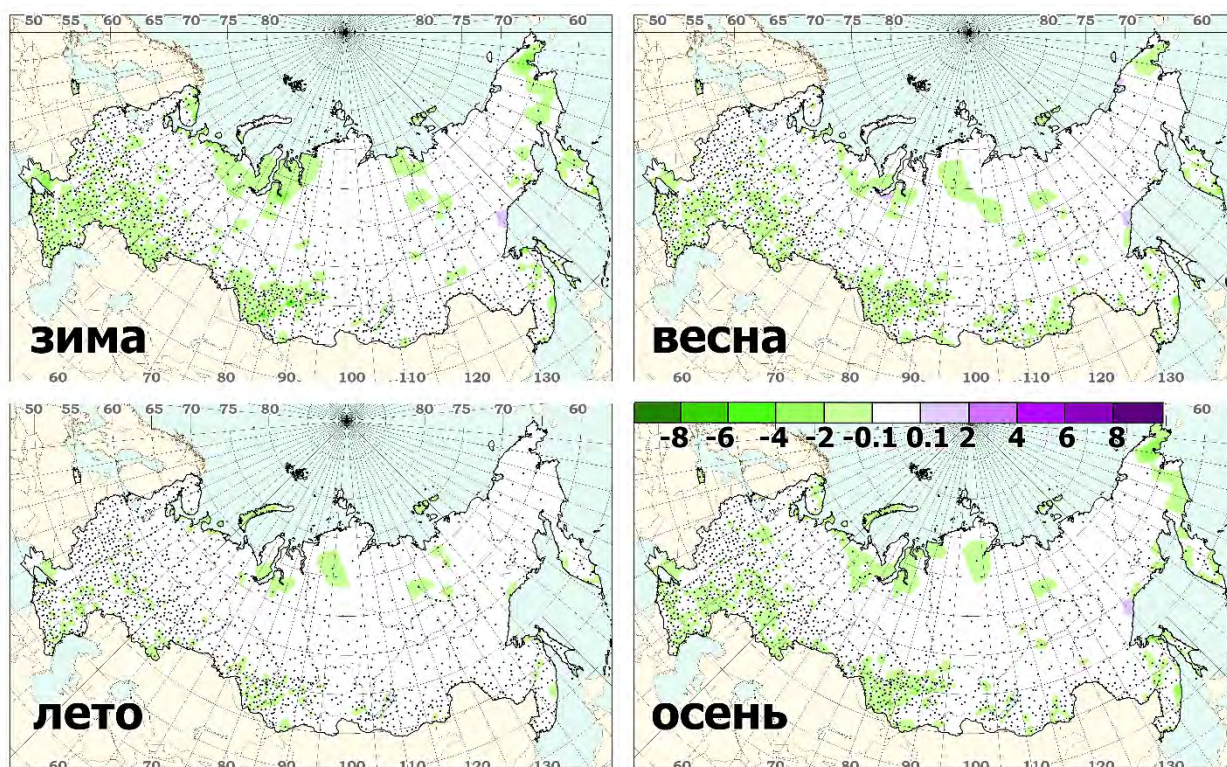


Рисунок 14.4 – Коэффициенты линейного тренда (день/10 лет) в рядах числа дней со скоростью больше 15 м/с (статистически значимые на 5%-м уровне значимости). 1976-2023 гг.

Таблица 14.1 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-м уровне значимости) регионально осредненных характеристик ветра для регионов России за 1976-2023 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				
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0,20	-0,16	-0,16	-0,20	-0,48	-0,12	-0,12	-0,58
Север Восточной Сибири и Якутии	-0,07	-0,08	-0,08	-0,05				
Чукотка и север Камчатки	-0,14							
Центр ЕЧР	-0,23	-0,15	-0,15	-0,22	-0,71	-0,15	-0,15	-0,31
Центр и юг Западной Сибири	-0,22	-0,12	-0,12	-0,17	-0,95	-0,21	-0,21	-0,91
Центр и юг Восточной Сибири			-0,05	-0,05				
Дальний Восток	-0,09	-0,09	-0,09	-0,12			-0,31	-0,31
Алтай и Саяны	-0,08							
Юг ЕЧР	-0,15	-0,08	-0,08	-0,11	-1,50	-0,33	-0,33	-0,47

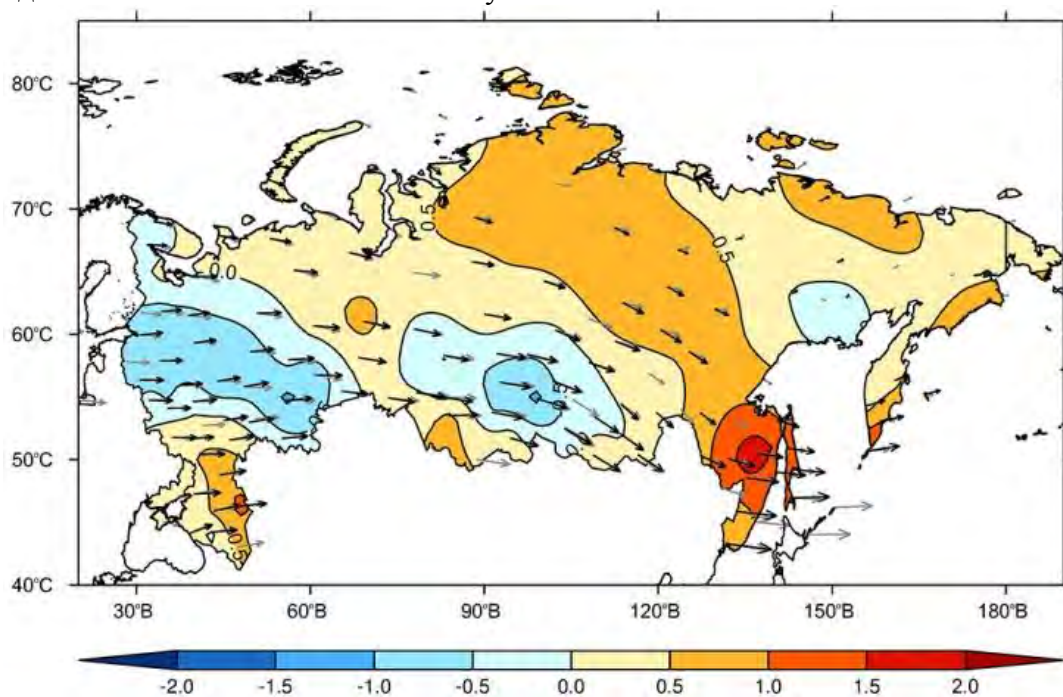
## 15. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

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 2023 г включал декабрь 2022 г и январь-февраль 2023 г), и для 2023 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 2023 год над большей частью территории России преобладали положительные аномалии скорости ветра, превышающие 0,5 м/с только над Восточной Сибирью и на отдельных станциях Дальнего Востока и Юга России. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались в центральной и северо-западной части ЕЧР, на юге Сибири и в Магаданской области. На юге Хабаровского края положительные аномалии скорости ветра достигали 2 м/с. Направление ветра в среднем за год соответствовало климатическому.

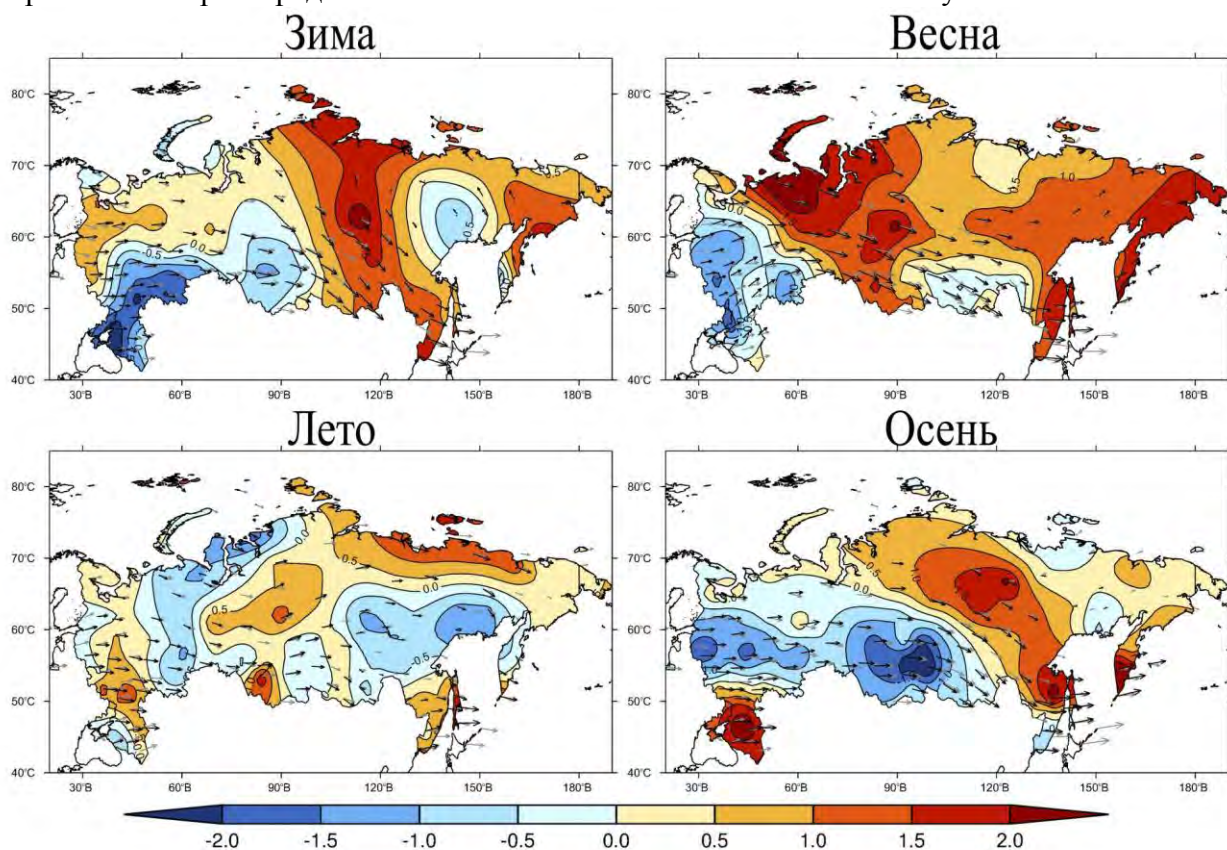


**Рисунок 15.1** – Аномалии скорости ветра в 2023 г. в тропосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2023 г., серые – за период 1985-2014 гг.

Зимой 2023 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались над северной половиной ЕЧР, над Восточной Сибирью и над Чукоткой и севером Камчатки. Над Восточной Сибирью они достигали 2 м/с. Отрицательные аномалии скорости ветра на Юге России достигали -2 м/с. В отдельные месяцы большие положительные аномалии, достигающие 6 м/с, наблюдались над Камчаткой в декабре 2022 года, а большие отрицательные аномалии, превышающие -4 м/с по абсолютному значению, наблюдались в феврале над Магаданской областью. В целом за сезон направление ветра соответствовало климатическому. В декабре 2022 года над ЕЧР

преобладало юго-западное направление ветра, а над Сибирью – северо-западное. Схожая картина наблюдалась и в январе. В феврале на западе ЕЧР наблюдался ветер северо-западного направления, а на востоке – юго-западного.

Весной 2023 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра, достигающие 2 м/с, наблюдались над большей частью азиатской части России и на северо-востоке ЕЧР. На северо-востоке ЕЧР они превышали 2 м/с. На западе ЕЧР отрицательные аномалии скорости ветра достигали -1,5 м/с. В отдельные месяцы распределение аномалий скорости ветра значительно различалось. В марте положительные аномалии скорости ветра, превышающие 4 м/с, преобладали на широтах южнее 65 град. с.ш. Направление ветра при этом соответствовало климатическому. В мае распределение аномалий противоположное. Южнее 65 град. с.ш. преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. На западе ЕЧР при этом наблюдалось юго-западное направление ветра, а над Западной Сибирью – практически северное. В апреле область положительных аномалий скорости ветра протянулась от северо-востока ЕЧР до юга Западной Сибири, а также на севере Дальнего Востока. В среднем за сезон над южной и центральной частью ЕЧР наблюдалось небольшое отклонение направления ветра до юго-западного. Над остальной частью России направление ветра в среднем за сезон соответствовало климатическому.



**Рисунок 15.2** – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2022-2023 гг., весна, лето и осень 2023 года) в тропосфере

Летом 2023 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра, достигающие 1 м/с, наблюдались на севере азиатской части России, над центральной Сибирью, на юге Хабаровского края и в Приморском крае, а также в центральной части ЕЧР. На протяжении всех летних месяцев над ЕЧР наблюдались значительные аномалии направления ветра. В июне из-за отрицательных аномалий меридионального ветра над западной частью ЕЧР преобладало северо-западное направление ветра. В июле на востоке ЕЧР из-за больших положительных аномалий меридионального ветра преобладало юго-западное направление ветра. В августе из-за отрицательных аномалий меридионального ветра над Волгоградской областью наблюдалось северо-западное направление ветра, а над

восточной часть ЕЧР – практически северное направление. Над Восточной Сибирью при этом доминирующее направление ветра отсутствовало. В среднем за сезон направление ветра соответствовало климатическому.

Осенью 2023 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались на северо-востоке Сибири и над Дальним Востоком, за исключением Приморского края, Магаданской области и севера Якутии. На северо-востоке Сибири они достигали 2 м/с. Также положительные аномалии, превышающие 2 м/с, наблюдались на Юге России. Над центральной частью ЕЧР и на юго-западе Сибири наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, достигавшие -2 м/с. В значительной степени сезонное распределение аномалий скорости ветра повторяет распределение аномалий в сентябре. Существенным отличием являются только отрицательные аномалии скорости ветра на Юге России и положительные на севере ЕЧР в сентябре. В октябре и ноябре на юге России аномалии скорости ветра положительные и достигают 6 м/с. В среднем за сезон направление ветра над всей территорией России соответствовало климатическому, а в сентябре над центральной частью ЕЧР наблюдалось северное направление ветра, в ноябре – юго-западное.

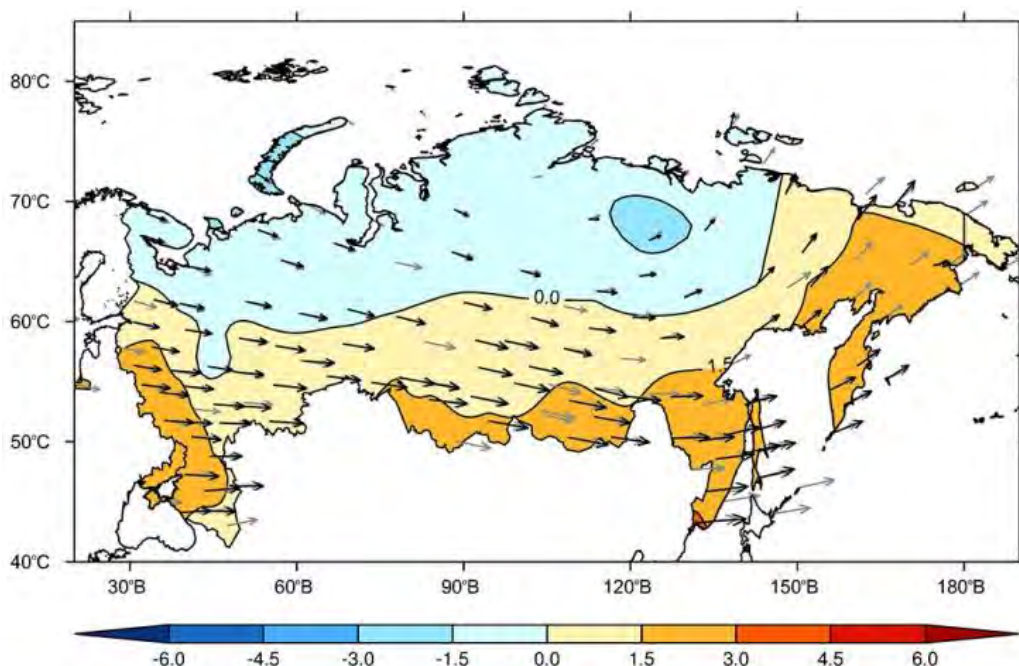
На рисунках 15.3 и 15.4 показаны среднегодовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в нижней стратосфере. В целом за 2023 год на севере ЕЧР и севере Сибири наблюдались небольшие отрицательные аномалии скорости ветра. На юге ЕЧР и Сибири, а также на Дальнем Востоке положительные аномалии скорости ветра превышали 1,5 м/с. Направление ветра в среднем за год соответствовало климатическому.

Зимой 2023 года в нижней стратосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались на западе ЕЧР, юге Сибири и на Дальнем Востоке. Наибольшие положительные аномалии, превышающие 4,5 м/с, наблюдались в Хабаровском и Приморском крае. На западе Якутии наблюдалась область наибольших отрицательных аномалий скорости ветра, превышавших -4,5 м/с по абсолютному значению. При этом в декабре 2022 года отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались практически над всей территорией России. В центральной и южной части Сибири они превышали -5 м/с по абсолютному значению. Направление ветра над всей территорией России в среднем за сезон в целом соответствовало климатическому, только на севере Дальнего Востока ветер имел практически южное направление. В декабре 2022 года из-за отрицательных аномалий меридионального ветра над Восточной Сибирью наблюдалось северо-западное направление ветра. В феврале на западе ЕЧР ветер имел северо-западное направление, а над Западной Сибирью – юго-западное.

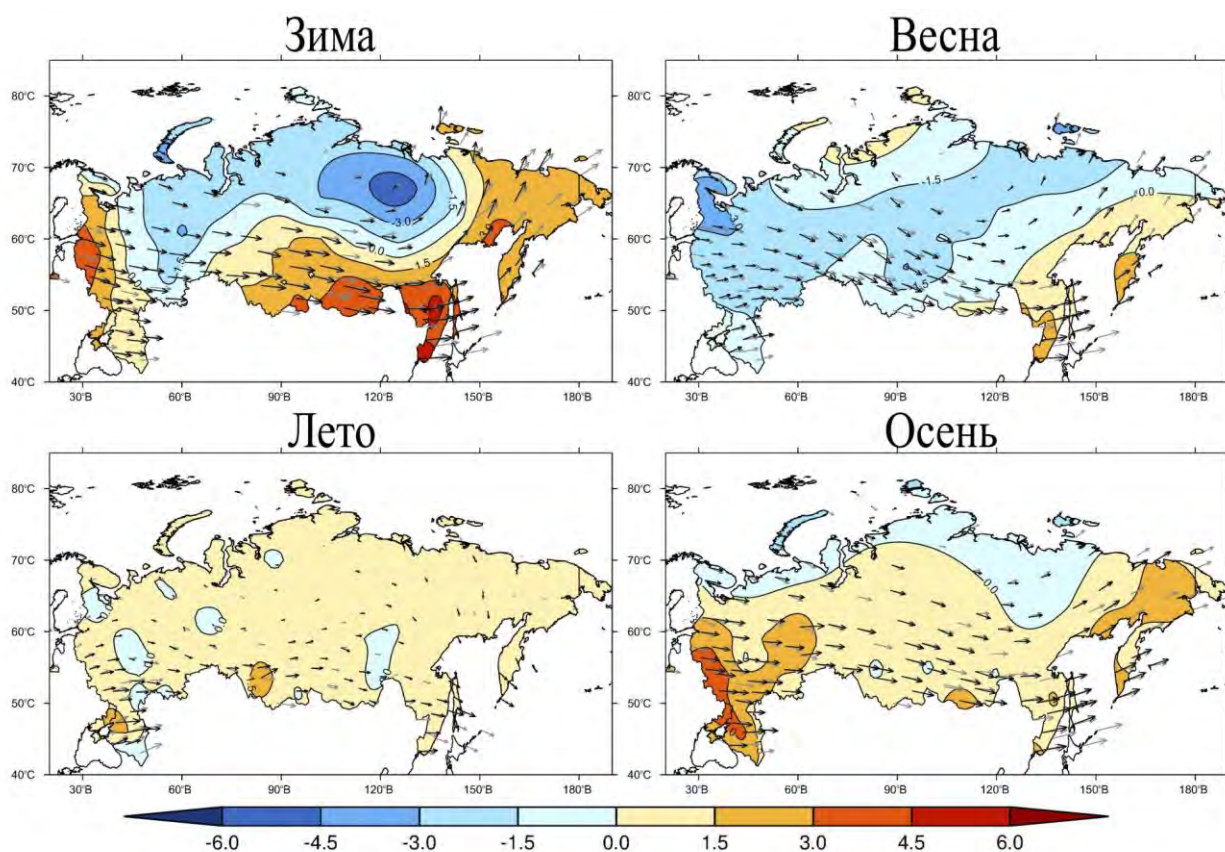
Весной 2023 года в нижней стратосфере практически над всей территорией России преобладали отрицательные аномалии скорости ветра. Наибольшие аномалии, превышавшие -3 м/с по абсолютному значению, наблюдались в Карелии. Положительные аномалии скорости ветра наблюдались на юге и востоке Дальнего Востока и над Карским морем. Отрицательные аномалии скорости ветра преобладали над всей территорией России и в марте и апреле. В мае над большей частью территории России преобладали небольшие положительные аномалии скорости ветра. В среднем за сезон из-за отрицательных аномалий меридионального ветра над Западной Сибирью наблюдалось северо-западное направление ветра. Аналогичное направление ветра наблюдалось в апреле и в большей степени в мае. В апреле над Восточной Сибирью ветер имел юго-западное направление, а в мае юго-западное направление ветра наблюдалось на западе ЕЧР.

Летом 2023 года в нижней стратосфере практически над всей территорией России наблюдались небольшие положительные аномалии скорости ветра, не превышающие 1,5 м/с. отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на отдельных станциях. В августе небольшие отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались над центральной и восточной частями ЕЧР, а также над Сибирью. При этом на северо-востоке ЕЧР ветер имел северо-восточное направление, а юго-востоке – северо-западное. На северо-западе

Сибири доминирующего направления не наблюдалось. В среднем за сезон направление ветра соответствовало климатическому.



**Рисунок 15.3** – Аномалии скорости ветра в 2023 году в нижней стратосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2023 году, серые – за период 1985-2014 гг.



**Рисунок 15.4** – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2022-2023 гг., весна, лето и осень 2023 года) в нижней стратосфере

Осенью 2023 года в нижней стратосфере небольшие отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на севере ЕЧР и на севере Сибири. Над остальной территорией России аномалии скорости ветра были положительными. На юго-западе ЕЧР они

превышали 3 м/с. В сентябре на юге ЕЧР и Западной Сибири наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, сопровождаемые отрицательными аномалиями как зонального, так и меридионального ветра, из-за чего наблюдалось северо-западное направление ветра. В октябре распределение аномалий скорости ветра практически повторяет среднесезонное, только в Хабаровском и Приморском крае наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра. В ноябре отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались над Восточной Сибирью. В октябре и ноябре ветер над ЕЧР и Западной Сибирью ветер имел западное направление из-за положительных аномалий как зонального, так и меридионального ветра. В среднем за сезон направление ветра соответствовало климатическому.

Таким образом, в 2023 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались на юге Хабаровского края. Наибольшие отрицательные (до -1 м/с) – над центром ЕЧР и на отдельных станциях на юге Сибири. В отдельные сезоны над большей частью территории России аномалии скорости ветра также не превышали 2 м/с по абсолютному значению. Положительные аномалии больше 2 м/с наблюдались весной на северо-востоке ЕЧР и осенью на Юге России. Наибольшие отрицательные аномалии наблюдались зимой на Юге России и осенью на юго-западе Сибири. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому. Только весной над южной и центральной частью ЕЧР наблюдалось отклонение ветра до юго-западного направления.

В нижней стратосфере в среднем за год на севере ЕЧР и севере Сибири наблюдались небольшие отрицательные аномалии скорости ветра. На юге ЕЧР и Сибири, а также на Дальнем Востоке положительные аномалии скорости ветра превышали 1,5 м/с. Наибольшие положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 4,5 м/с наблюдались на западе ЕЧР зимой и осенью, а также на юге Сибири и Дальнего Востока зимой. Наибольшие отрицательные аномалии скорости ветра, достигавшие -4,5 м/с, наблюдались зимой над Восточной Сибирью и весной над Карелией. Летом практически над всей территорией России наблюдались положительные аномалии скорости ветра, не превышавшие 1,5 м/с. В среднем за год направление соответствовало климатическому. Наибольшее отклонение направления ветра от климатического в отдельные сезоны наблюдалось зимой на севере Дальнего Востока и весной над Западной Сибирью. Зимой на севере Дальнего Востока наблюдался практически южный ветер, а весной над Западной Сибирью – северо-западный ветер.

## **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 «АНИИ» 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), расположенные 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 Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ подвержены значительному влиянию



региональных источников, которое было рассмотрено в Докладе об особенностях климата на территории РФ за 2019 г.

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).

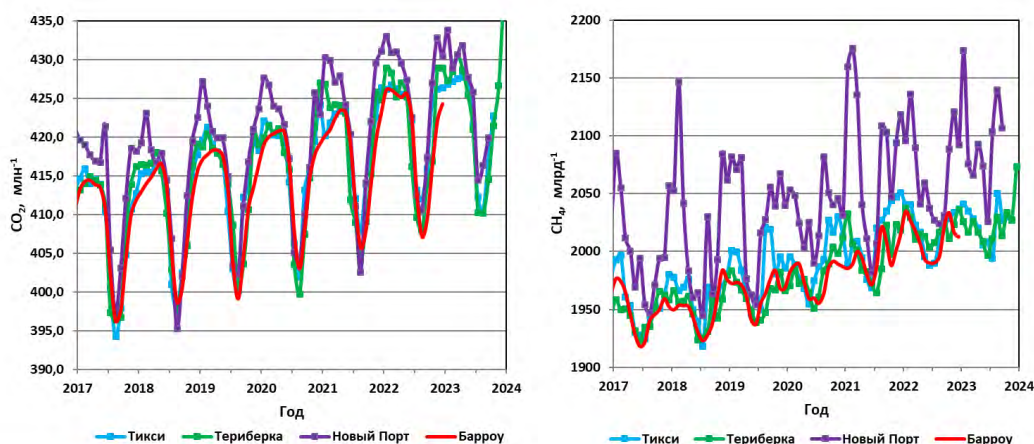
Поскольку ряды наблюдений на удаленных станциях Арктической зоны РФ к моменту подготовки настоящего доклада оказываются не завершенными для 2023 года, для анализа были привлечены также данные станции Воейково (59,98° с. ш., 30,70° в. д.), на которой с 2021 г. ведутся наблюдения CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> с помощью признанного на сети ВМО лазерного спектрометра G-2401 фирмы Пикарро. Станция Воейково расположена в окрестностях Санкт-Петербурга.

**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 <sub>2</sub>
				с 1996	CH <sub>4</sub>
Новый Порт	67,68° с, ш,	72,88° в, д,	11	с 2002	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
Тикси	71,58° с, ш,	128,92° в, д,	30	с 2011	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
Воейково	59,98° с. ш.	30,70° в. д.	40	с 2021	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO (G-2401)
				с 1996	CH <sub>4</sub> (ГХ метод)
ПТБЗ	54,92° с, ш,	37,57° в, д,		с 2006	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
Обнинск	55,10° с, ш,	36,90° в, д,	186	с 1998	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
				с 2015	N <sub>2</sub> O
				с 2015	OC CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> O

### Содержание и изменчивость CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в северных широтах РФ

Результаты мониторинга парниковых газов на российских арктических станциях представлены на рисунке 16.1 (среднемесячные значений концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>) в сравнении с данными станции Барроу. Сравнение сезонного хода концентраций CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> за последние 5 лет наблюдений для станций Териберка и Воейково показаны на рисунках 16.2 и 16.3.



**Рисунок 16.1** – Временной ход концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу (НУОА, США)

Увеличение концентрации как CO<sub>2</sub>, так и CH<sub>4</sub> продолжается. Среднегодовое значение концентрации CO<sub>2</sub> на станции Териберка превысило 423 млн<sup>-1</sup>, а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили 430 млн<sup>-1</sup>. Вместе с

тем, темпы роста концентрации  $\text{CO}_2$  снизились по сравнению с предыдущим годом. На станции Териберка возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  составило  $2,2 \text{ млн}^{-1}$ , что заметно меньше межгодовой изменчивости в 2022 г., которая превышала значение  $3 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ . Рост концентрации  $\text{CO}_2$  в 2023 г. зафиксирован и на станции Воейково, он составил  $2,7 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ .

Последние три года как на российских Арктических станциях, так и в глобальном масштабе наблюдалось ускорение роста концентрации метана. Прирост среднеглобальной концентрации  $\text{CH}_4$  за год составил 15, 18 и 16 млрд $^{-1}$  в 2020, 2021 и 2022 годах соответственно (Бюллетень ВМО № 19 от 15 ноября 2023 г.). По данным станции Териберка (рисунок 16.2) среднегодовое значение концентрации  $\text{CH}_4$  в 2022г. увеличилось на 20 млрд $^{-1}$ , а увеличение среднемесячного значения концентрации для периода с апреля по август 2022 г. по сравнению с теми же месяцами 2021 г. превысило 30 млрд $^{-1}$ . После такого резкого возрастания изменения концентрации  $\text{CH}_4$  в 2023 г. по сравнению с 2022 годом незначительны. Для станции Териберка прирост составил 4 млрд $^{-1}$  (рисунок 16.2) и на станции Воейково 7 млрд $^{-1}$  (рисунок 16.3).

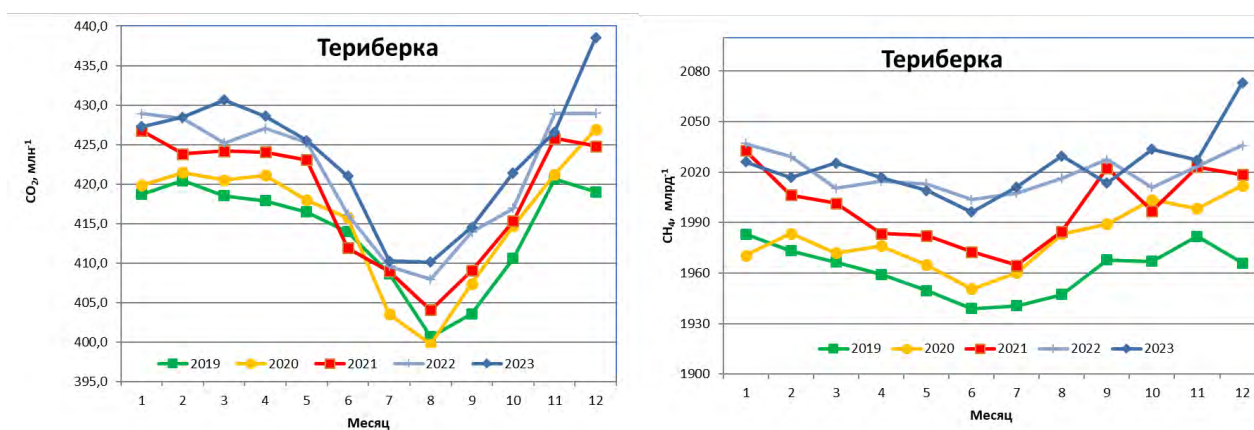


Рисунок 16.2 – Сезонный ход концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на станции Териберка

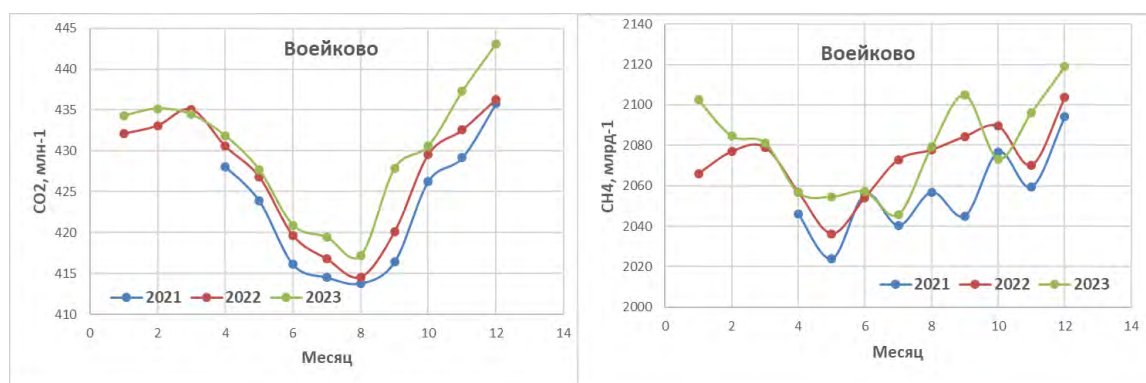


Рисунок 16.3 – Сезонный ход концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на станции Воейково

Поступление метана в атмосферу происходит как от антропогенных, так и природных источников, при этом возрастание природной эмиссии может быть вызвано потеплением климата. Научные исследования, направленные на выяснение возможных причин увеличения межгодового роста концентрации метана, представлены в Бюллетене ВМО по ПГ №18 от 26 октября 2022 года. Совместное рассмотрение изменений концентрации и изотопного состава метана со временем свидетельствует о существенной роли биогенных источников в этом процессе. Пока не ясно, происходит ли это отчасти из-за увеличения выбросов из естественных водно-болотных угодий как обратной климатической связи. В связи с этим обращает на себя внимание сильная изменчивость концентрации метана на станции Воейково в период наибольшего влияния природных источников (как от месяца к месяцу, так и от года к году), в то время как в зимний период наблюдается последовательный рост концентрации метана от года к году.

Долговременный тренд концентрации, определенный по десятилетнему ряду наблюдений на станциях Териберка и Тикси, несколько выше, чем среднеглобальные значения, приведенные в бюллетене ВМО по ПГ №19 от 15 ноября 2023 года. Они составляют  $2,6 \text{ млн}^{-1}$  для  $\text{CO}_2$  и  $11,5\text{-}11,7 \text{ млрд}^{-1}$  для  $\text{CH}_4$ , в то время как среднеглобальные значения соответственно равны  $2,46 \text{ млн}^{-1}$  и  $10,2 \text{ млрд}^{-1}$ . Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу. Особенности сезонного хода концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на станции Новый Порт связаны с влиянием региональных источников, как естественных, так и антропогенных.

### 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 на станции Обнинск в приземном слое атмосферы

Динамика изменчивости средних годовых значений  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  с 1998 по 2023 годы и  $\text{N}_2\text{O}$  с 2015 по 2023 годы представлены на рисунке 16.4.

Величина положительного линейного тренда среднегодовых концентраций за период наблюдений с 1998 по 2023 годы для  $\text{CO}_2$  составила  $2,6 \pm 0,9 \text{ млн}^{-1}$  в год. Для  $\text{CH}_4$  значение линейного тренда для периода роста с 2007 года равно  $14,6 \pm 6,2 \text{ млрд}^{-1}$  в год. Линейный тренд  $\text{N}_2\text{O}$  за период с 2015 по 2023 годы составил  $2,1 \pm 0,8 \text{ млрд}^{-1}$  в год (здесь и далее погрешности приводятся для доверительного интервала 68%). По данным мирового центра данных ВМО, приведенным в бюллетене ВМО по ПГ №19 от 15 ноября 2023 года, среднеглобальное значение трендов парниковых газов за последние 10 лет (2012-2022 гг.) составляет  $2,46 \text{ млн}^{-1}$ ,  $10,2 \text{ млрд}^{-1}$  и  $1,05 \text{ млрд}^{-1}$  для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , и  $\text{N}_2\text{O}$  соответственно. Среднегодовые концентрации углекислого газа, метана и закиси азота на ст. Обнинск в 2023 году сохранились примерно на уровне 2022 года.

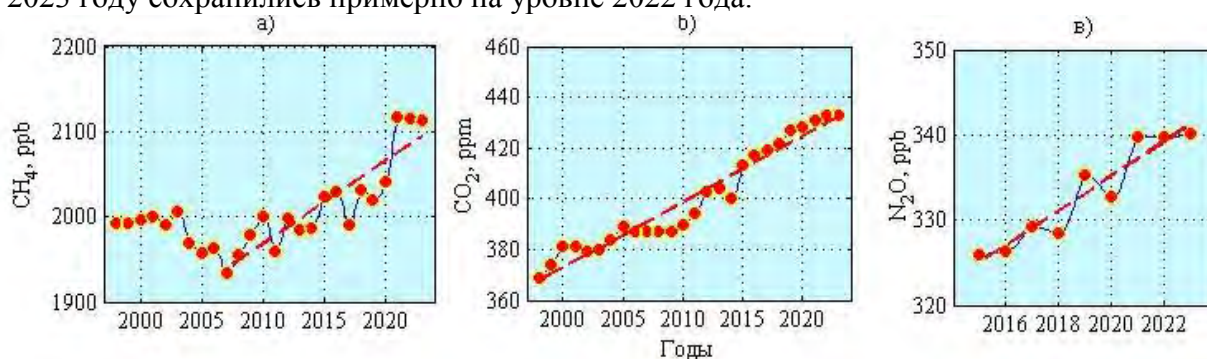
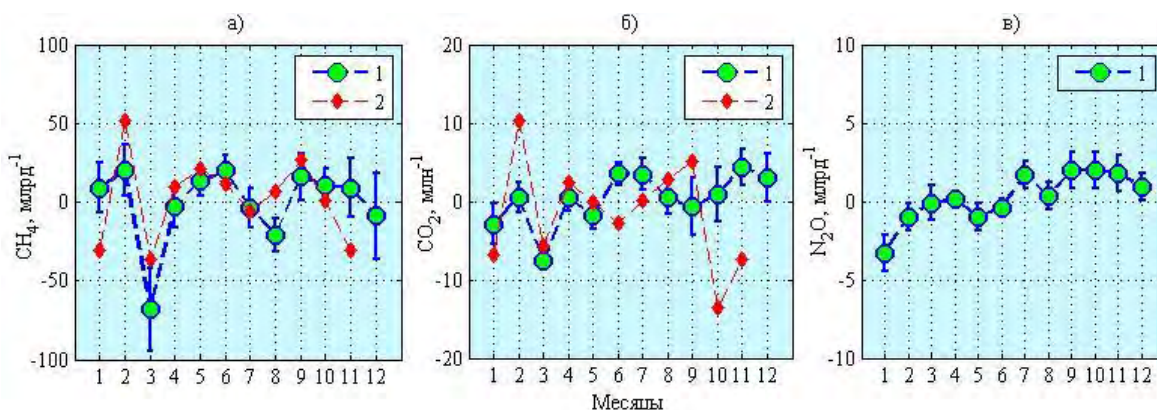


Рисунок 16.4 Динамика многолетней изменчивости средних годовых значений  $\text{CH}_4$  (а),  $\text{CO}_2$  (б),  $\text{N}_2\text{O}$  (в) в приземном слое атмосферы

Сезонный ход  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  представлен на рисунке 16.5 в виде разности среднемесячных значений в 2023 и 2022 годах. Из рисунка следует, что рост концентрации метана и углекислого газа наблюдался только в отдельные месяцы, а заметное уменьшение концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в 2023 г. в сравнении с 2022 годом. наблюдалось в марте. Схожая ситуация характерна и для средневропейской станции Карлсруэ, входящей в сеть ICOS (<https://www.icos-cp.eu/>).

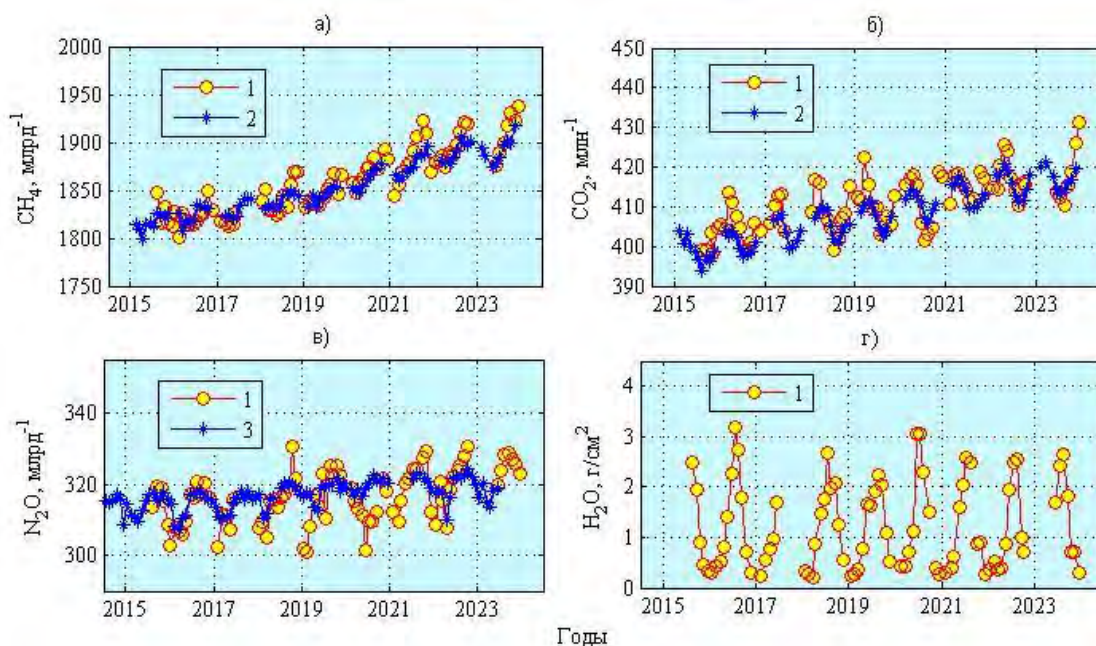


**Рисунок 16.5** – Разность среднемесячных концентраций  $\text{CH}_4$  (а),  $\text{CO}_2$  (б),  $\text{N}_2\text{O}$  (в) в приземном слое атмосферы в 2023 году относительно 2022 года. 1 – Обнинск, 2– Карlsruэ

### *Вариации содержания углекислого газа, метана и закиси азота на станции Обнинск в толще атмосферы*

Вариации среднемесячных значений  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{O}$  за период с 2015 по 2023 годы, полученные с помощью комплекса МР-32/МГС, представлены на рисунке 16.6. В первой половине 2023 года измерения не проводились в связи с ремонтными и профилактическими работами. Прирост среднегодовых значений средней по высоте объемной концентрации между 2023 и 2022 гг. за сопоставимый период составил 4 млрд<sup>-1</sup> для  $\text{CH}_4$ , 0,6 млн<sup>-1</sup> для  $\text{CO}_2$  и 0,3 млрд<sup>-1</sup> для  $\text{N}_2\text{O}$ . В целом за весь период наблюдений с 2015 по 2023 годы положительный тренд среднегодовых объемных концентраций парниковых газов составил (11,8 ± 4,3) млрд<sup>-1</sup>, (2,0 ± 0,7) млн<sup>-1</sup>, (1,3 ± 0,6) млрд<sup>-1</sup> в год для метана, углекислого газа и закиси азота соответственно. Слабый положительный тренд общего содержания водяного пара находится на границе значимости и составляет (0,02 ± 0,02) г/см<sup>2</sup>.

На рисунке 16.6 приведены также результаты измерений средней по высоте объемной концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  спутниковым прибором GOSAT (<https://data2.gosat.nies.go.jp>).



**Рисунок 16.6** – Вариации среднемесячных значений средней по высоте объемной концентрации  $\text{CH}_4$  (а),  $\text{CO}_2$  (б),  $\text{N}_2\text{O}$  (в) и общего содержания  $\text{H}_2\text{O}$  (г). 1 – Обнинск, 2 – GOSAT, 3 – Карlsruэ

Спутниковые данные, имеющие пропуски по времени и в пространстве, были усреднены для области (51-59)<sup>о</sup> с.ш. и (34-39)<sup>о</sup> в.д. относительно расположения ст. «Обнинск». По данным GOSAT тренды метана и углекислого газа составляют  $10,3 \pm 3,7$  млрд<sup>-1</sup> в год и  $2,3 \pm 0,8$  млн<sup>-1</sup> в год. Для сопоставления результатов измерений средней по высоте концентрации N<sub>2</sub>O использовались последние доступные данные (по июнь 2023 года) станции Карлсруэ, входящей в сеть TCCON (<https://tcccon.org>). Тренд N<sub>2</sub>O по данным ст. Карлсруэ равен  $1,2 \pm 0,4$  млрд<sup>-1</sup> в год.

Таким образом, по результатам измерений на станции Обнинск тренды парниковых газов в приземном слое в пределах погрешности совпадают с трендами общих содержаний в столбе атмосферы и в среднем составляют 13 млрд<sup>-1</sup>, 2,3 млн<sup>-1</sup> и 1,7 млрд<sup>-1</sup> в год для CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, и N<sub>2</sub>O соответственно. Концентрации парниковых газов в 2023 году сохранились примерно на уровне 2022 года. Как и в предыдущие годы, минимальные концентрации для всех парниковых газов в приземном слое и в столбе атмосферы наблюдались в летний, а максимальные – в зимний период.

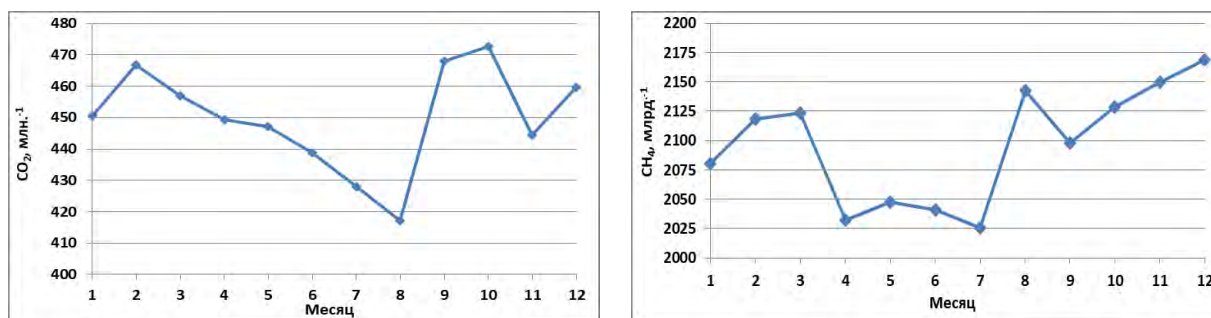
### ***Содержание парниковых газов в приземном слое атмосферы на станции в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике.***

Изменения содержания диоксида углерода и метана по результатам измерений, выполненных в течение 2023 года, представлены на рисунке 16.7. Среднемесячные концентрации диоксида углерода варьировали в интервале от 417,5 млн.<sup>-1</sup> до 472,7 млн.<sup>-1</sup>. Минимальные в течение года концентрации диоксида углерода регистрируются в летний период, что является типичным для сезонной изменчивости CO<sub>2</sub>, наблюдаемой в средних широтах Северного полушария.

В 2023 году среднемесячные концентрации метана изменялись в диапазоне от 2025,9 млрд<sup>-1</sup> до 2168,4 млрд<sup>-1</sup>. Наименьшие концентрации метана в приземном слое атмосферы наблюдаются в весенне-летний период с апреля по июль, что, согласно данным станций наблюдений, расположенных в средних широтах Северного полушария, характерно для сезонных изменений содержания метана в воздухе.

Рост концентраций парниковых газов в приземном слое атмосферы на станции в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике продолжается. Среднегодовая концентрация диоксида углерода в 2023 году была равна 449,9 млн.<sup>-1</sup>, что на 2,4 млн.<sup>-1</sup> больше, чем в 2022 году. За всё время наблюдений с 2011 года абсолютный прирост среднегодовой концентрации диоксида углерода в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике составил 37,1 млн.<sup>-1</sup>, что соответствует средней годовой скорости роста концентрации 3,1 млн.<sup>-1</sup>/год.

Среднегодовая концентрация метана в приземном воздухе на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике была равна 2096,2 млрд<sup>-1</sup>. По сравнению с предыдущим годом рост среднегодовой концентрации метана составил 59,2 млрд.<sup>-1</sup> За весь период наблюдений с 2006 года среднегодовая концентрация метана выросла на 180,2 млрд<sup>-1</sup>, таким образом средний годовой абсолютный прирост содержания метана в воздухе равен 10,6 млрд<sup>-1</sup> в год.



**Рисунок 16.7** – Изменение среднемесячных концентраций CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в приземном слое атмосферы на станции ПТБЗ в 2023 году

## **Заключение:**

Увеличение концентрации как  $\text{CO}_2$ , так и  $\text{CH}_4$  продолжается. Среднегодовое значение концентрации  $\text{CO}_2$  на станции Териберка превысило  $423 \text{ млн}^{-1}$ , а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, стали больше  $430 \text{ млн}^{-1}$ . Вместе с тем, темпы роста концентрации  $\text{CO}_2$  снизились по сравнению с предыдущим годом. На станции Териберка возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  составило  $2,2 \text{ млн}^{-1}$ , что заметно меньше межгодовой изменчивости в 2022 году, которая на фоновых станциях РФ превышала значение  $3 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ . На станции Воейково концентрация  $\text{CO}_2$  в 2023 г. увеличилась на  $2,7 \text{ млн}^{-1}$  и на станции ПТБЗ на  $2,4 \text{ млн}^{-1}$ .

После резкого возрастания концентрации метана в атмосфере, наблюдавшегося в 2020-2022 гг., изменения концентрации  $\text{CH}_4$  в 2023 г. по сравнению с 2022 годом незначительны. Для станции Териберка прирост составил  $4 \text{ млрд}^{-1}$  и на станции Воейково  $7 \text{ млрд}^{-1}$ .

По данным станции Обнинск тренды парниковых газов в приземном слое в пределах погрешности совпадают с трендами общих содержаний в столбе атмосферы и в среднем составляют  $13 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $2,3 \text{ млн}^{-1}$  и  $1,7 \text{ млрд}^{-1}$  в год для  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , и  $\text{N}_2\text{O}$  соответственно и на других рассмотренных станциях меняются в пределах  $2,6\text{-}3,1 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$  для  $\text{CO}_2$  и  $10,6\text{-}11,7 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$  для  $\text{CH}_4$ , в то время как среднеглобальные значения за последние 10 лет соответственно равны  $2,46 \text{ млн}^{-1}$ ,  $10,2 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $1,05 \text{ млрд}^{-1}$  в год.

На фоне наблюдающегося в 2023 г. снижения межгодового роста концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  действие близко расположенных источников, а также изменение мощности источников и стоков природного происхождения, действие которых зависит от климатических характеристик, может приводить к существенным вариациям величины роста концентрации за год для разных станций. Так, на станции Обнинск концентрации парниковых газов в 2023 году сохранились примерно на уровне 2022 года, а на станции ПТБЗ зафиксирован сильный рост концентрации метана ( $59,2 \text{ млрд}^{-1}$ ).

Превышение концентрации над фоновым уровнем, являющееся характеристикой мощности действующих в районе расположения станций источников и стоков, в 2023 году для станций Воейково, Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ составляет по  $\text{CO}_2$   $6,4 \text{ млн}^{-1}$ ,  $1,9 \text{ млн}^{-1}$ ,  $9,5 \text{ млн}^{-1}$ ,  $26,3 \text{ млн}^{-1}$  и по  $\text{CH}_4$  -  $56 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $72 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $91 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $73 \text{ млрд}^{-1}$  соответственно. В качестве фонового уровня приняты данные станции Териберка.

## **17. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ**

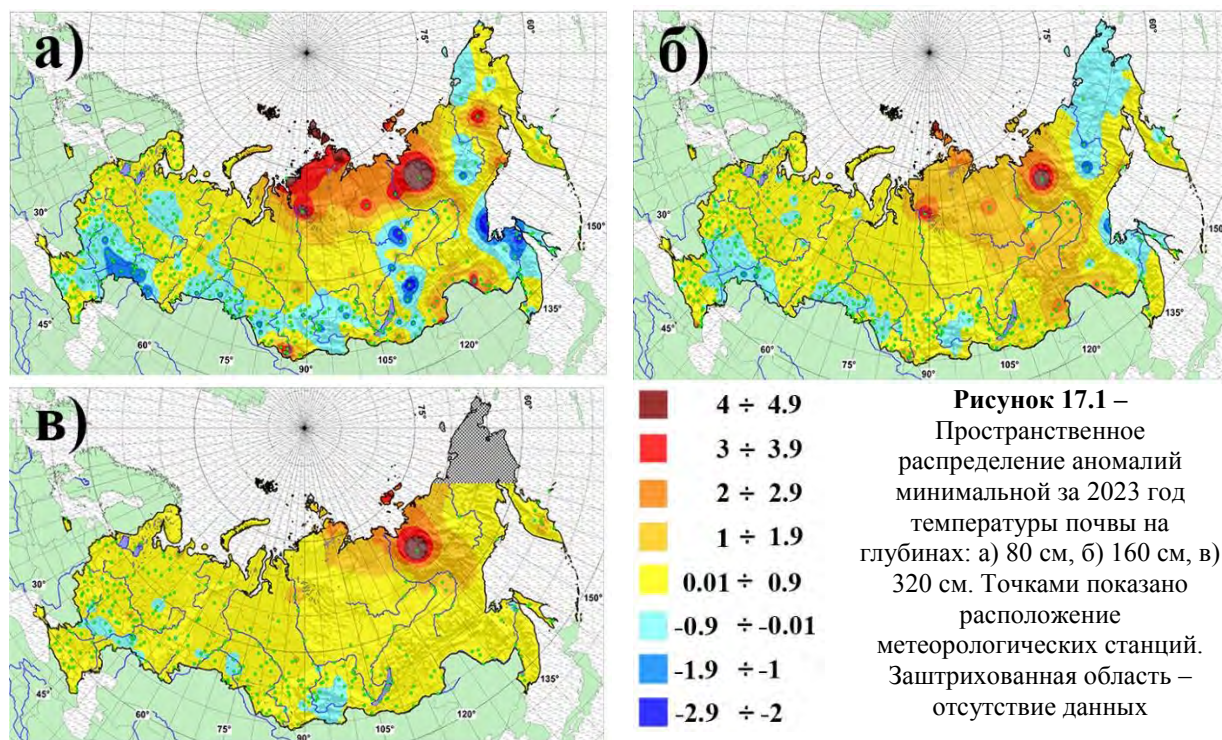
Данные о температуре почвы на глубинах используются при решении многих прикладных задач в строительстве зданий и технических сооружений, при эксплуатации дорог и подземных коммуникаций и т. д. При этом важнейшей характеристикой является минимальная за год температура. Сведения о минимальной температуре 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 1976-2023 гг. Для анализа выбраны наблюдения по вытяжным термометрам на глубинах 80 см, 160 см, 320 см. Используются нормы (среднепогодные значения) минимальной температуры почвы на глубинах за период 1991-2020 гг.

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

### Особенности температурного режима почвы в 2023 году

Пространственное распределение аномалий минимальной температуры почвы за 2023 год (от нормы за период 1991-2020 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. Высокие значения аномалий наблюдаются на севере Средней и Восточной Сибири и составляют 2 – 4°C. Исключением является юг Восточно-Европейской равнины, Кавказ, юг Западной и Средней Сибири с отрицательными аномалиями -1 – -2°C, а также северо-восточная часть Дальнего Востока с аномалиями до -1°C. На юге Дальнего Востока и в долинах рек Вилюй и Лена отрицательные аномалии в пределах -1 – -3°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 севере Средней и Восточной Сибири. Слабые отрицательные аномалии до -1°C наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины, на Кавказе, на юге Западной и Средней Сибири. На юге и в северо-восточной части Дальнего Востока отрицательные аномалии в пределах -1 – -2°C.

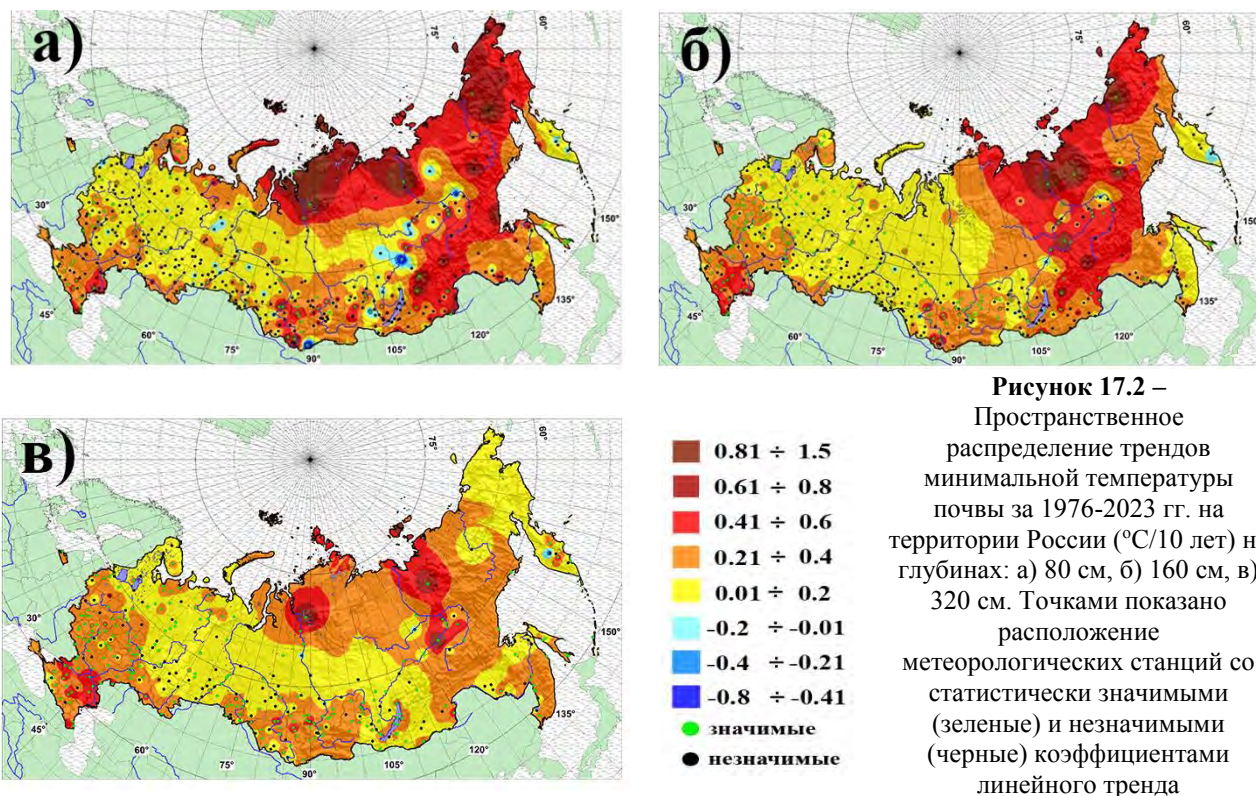
На глубине 320 см (рисунок 17.1в) отток тепла в холодный сезон, также как приток тепла в теплый сезон, и межгодовые изменения температуры почвы ослаблены. На этой глубине преобладают слабые положительные аномалии минимальной за год температуры почвы и составляют менее 1°C. На севере Средней и Восточной Сибири аномалии составляют 1 – 2°C, достигая в долине реки Яна 4°C и более. Слабые отрицательные аномалии -1°C наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины и юге Средней Сибири.

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 северную 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 незначимыми трендами -0,2 – -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 юге Средней Сибири и Дальнего Востока тренды составили также 0,2 – 0,4°C/10 лет.

На глубине 160 см (рисунок 17.2б) по всей России преобладают положительные тренды, но область повышенных значений (>0,4°C/10 лет) в высоких широтах смещена к Востоку. Положительные тренды 0,2 – 0,8°C/10 лет охватывают север Восточной Сибири и Дальнего Востока. На юге Средней Сибири и Дальнего Востока тренды составили 0,2 – 0,4°C/10 лет. Статистически достоверное (с вероятностью 95%) потепление (0,2 – 0,4°C/10 лет) наблюдается на юге Восточно-Европейской равнины и в Средней Сибири. На Кавказе потепление достигает 0,4 – 0,6°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°C/10 лет) встречаются на Кавказе, в северной



половине Средней и 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 1976-2023 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, Яна и Енисей.

## 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 2023 год. Более подробная информация о поведении ОСО над территорией Российской Федерации и прилегающими территориями ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология».

В первом квартале 2023 года средние за квартал значения общего содержания озона (ОСО) над большей частью контролируемой территории были ниже средних многолетних значений за период 1974-1984 гг. Над территорией Красноярского края, Эвенкии и Якутии среднеквартальные значения ОСО были на 8-13% ниже нормы (373-430 ед. Д.). Во втором, третьем и четвертом кварталах 2023 года средние за квартал значения ОСО над контролируемой территорией были близки к средним многолетним значениям.

При этом в течение года над большей частью территории средние месячные значения ОСО составляли:

- в январе – 325-430 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России, Урала и Западной Сибири – 311-325 ед. Д., над Приморьем, Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 430-491 ед. Д. Над северными регионами Европейской части территории России, Урала, Западной и Центральной Сибири дефицит среднемесячных значений ОСО составлял 6-14% (311-322 ед. Д.);

- в феврале – 340-440 ед. Д.; над северными регионами Европейской части территории России – 297-340 ед. Д., над Якутией, Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 440-506 ед. Д. Над северными районами Европейской части территории России среднемесячные значения ОСО были на 11-19% ниже нормы (297-333 ед. Д.);

- в марте – 370-450 ед. Д.; над южными районами Европейской части территории России, Урала и Казахстана – 359-370 ед. Д. Над Хабаровским краем, Магаданской областью, севером Якутии и Камчаткой – 450-459 ед. Д. Над территорией Красноярского края, Эвенкии и Якутии среднемесячные значения ОСО были на 9-14% ниже нормы (372-432 ед. Д.);

- в апреле – 380-440 ед. Д.; над центральными и южными районами Европейской части территории России, южными районами Урала и Казахстана – 348-380 ед. Д., над Эвенкией, севером Красноярского края и Якутии – 440-463 ед. Д.;

- в мае – 370-420 ед. Д.; над центральными и южными районами Европейской части территории России, южными районами Урала и Казахстана – 346-370 ед. Д., над севером Якутии – 420-434 ед. Д.;

- в июне – 340-388 ед. Д.; над Якутией, Карелией, Мурманской и Архангельской областями – 332-340 ед. Д.;

- в июле – 300-365 ед. Д.;  
- в августе – 280-347 ед. Д.; над Архангельской и Мурманской областями и островом Хейса – 271-280 ед. Д.;

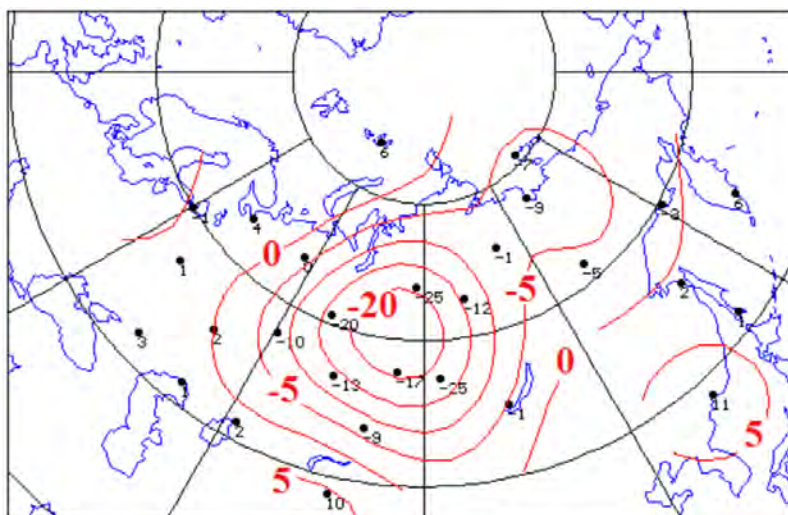
- в сентябре – 290-333 ед. Д.; над северными территориями России – 238-290 ед. Д. Над островом Хейса, северными районами Европейской части территории России, Урала и Западной Сибири наблюдались пониженные на 8-11% среднемесячные значения ОСО (238-275 ед. Д.).

- в октябре – 275-340 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России, Урала и Сибири – 244-275 ед. Д. Над Хабаровским краем, севером Сахалина, Магаданской областью и Камчаткой – 340-359 ед. Д.;

- в ноябре – 282-375 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России, Урала и Сибири – 244-282 ед. Д., над Магаданской областью, Хабаровским краем севером Сахалина и Камчаткой – 375-392 ед. Д.

- в декабре – 320-400 ед. Д.; над Европейской частью территории России, Уралом и Западной Сибирью – 261-320 ед. Д., над Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 400-454 ед. Д.

Аномальными будем считать отклонения, превышающие 2,5 единицы среднеквадратического отклонения. В течение 2023 года отдельные существенные аномальные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в июне и августе:



**Рисунок 18.1** – Поле отклонений значений ОСО от средних многолетних значений 6 июня 2023 г., (%)

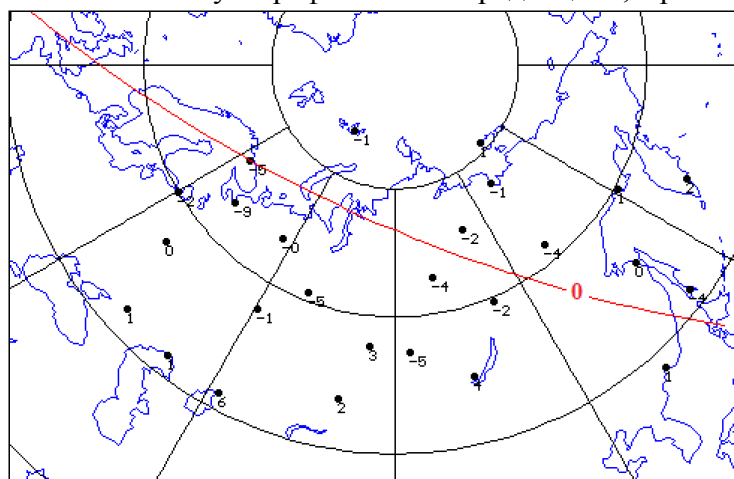
- с 3 по 6 июня пониженные на 17-25 % среднесуточные значения ОСО над Западной Сибирью, Алтаем и севером Казахстана (282-303 ед. Д.).

На рисунке 18.1 представлена карта отклонений общего содержания озона от средних многолетних значений в процентах 6 июня 2023 г.

- 9 и 10 августа пониженные на 20-23% среднесуточные значения

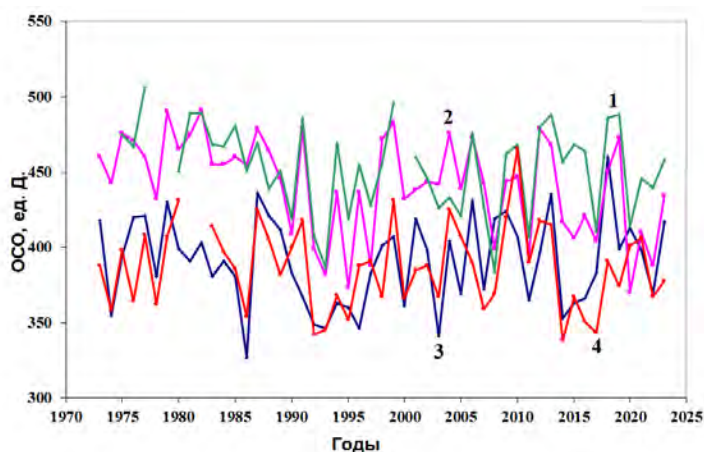
ОСО над северными районами Европейской части территории России (237-249 ед. Д.).

Обе озоновые аномалии появились в результате переноса тропической воздушной массы с низким общим содержанием озона из более южных широт. Как показал мониторинг облученности земной поверхности солнечной ультрафиолетовой радиацией, при низком озоне и практически отсутствующей в антициклоне облачности на территории, охваченной озоновой аномалией в июне, УФ индекс возрастал до 7-8. На территории, охваченной озоновой аномалией в августе, УФ индекс не превышал 4.



**Рисунок 18.2** – Поле отклонений среднегодовых значений СО от средних многолетних значений в 2023 году, (%)

Отклонения среднегодовых значений СО от нормы в 2023 г. (рисунок 18.2) для всех анализируемых станций лежат в интервале от -9 до 6%. Максимальный дефицит среднегодового значения СО (9%) зарегистрирован в Архангельске. Максимальное превышение среднегодового значения СО над нормой (6%) зарегистрировано на станции Аральское море.



**Рисунок 18.3** – Межгодовой ход средних за март значений СО на станциях: 1 – Нагаево (Магадан) (60° с.ш., 151° в.д.), 2 – Якутск (62° с.ш., 130° в.д.), 3 – С.-Петербург (60° с.ш., 30° в.д.) и 4 – Екатеринбург (57° с.ш., 61° в.д.)

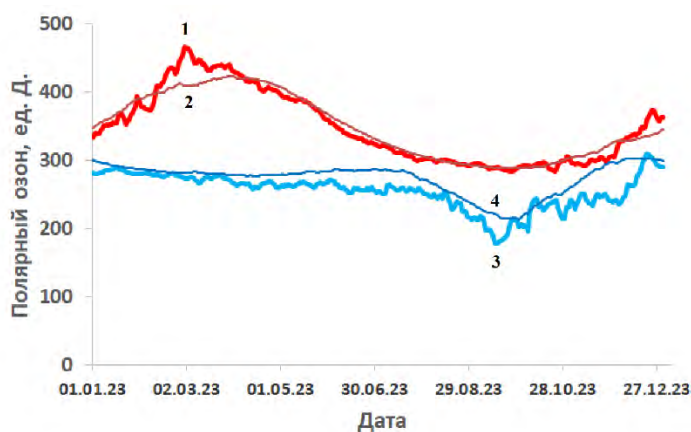
-0,12 ед. Д. за год. Для Санкт-Петербурга расчёт показал положительный тренд 0,07 ед. Д. за год.

С начала января 2023 года полярный арктический озон (среднее зональное значение СО в зональном поясе 63-90° с. ш.) был ниже средних многолетних значений (рисунок 18.4), но благодаря постепенному росту к концу января он достиг их.

На рисунке 18.3 представлены долговременные изменения средних за март значений СО на нескольких российских озонометрических станциях, потому что именно в марте чаще всего в Северном полушарии регистрировались значительные аномалии СО. Оценка линейных трендов средних за март значений СО показала наибольший отрицательный тренд в Якутске (-0,91 ед. Д. за год). Для станции Нагаево (Магадан) он равен -0,43 ед. Д. за год, а для Екатеринбурга он составил

Вторая волна роста полярного арктического озона началась в конце первой декады февраля и продолжалась до начала марта. 1 марта был зарегистрирован максимум полярного озона 466 ед. Д. при среднем многолетнем значении для этого дня 408 ед. Д. и максимуме для этого дня 501 ед. Д. К росту полярного озона привело смещение арктического циркумполярного вихря в средние широты. В марте циркумполярный вихрь располагался над территорией России, захватывая средние широты, поэтому в этом месяце в различных регионах страны регистрировались области пониженных значений ОСО, но областей с аномальными значениями ОСО не наблюдалось. В результате среднемесячные значения ОСО в марте на большей части контролируемой территории оказались ниже нормы.

Рисунок 18.4 иллюстрирует поведение полярного арктического озона в 2023 году. Там же для сравнения представлен годовой ход средних многолетних значений полярного арктического озона 1979-2022 гг. На этом рисунке также представлен ход полярного антарктического озона в 2023 г. и ход его средних многолетних значений. Приведённые данные заимствованы с сайта NASA, США (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>).



**Рисунок 18.4** – Годовая изменчивость полярного озона в Арктике (1) и Антарктике (3) в 2023 году. Для сравнения представлен годовой ход средних многолетних значений полярного арктического (2) и антарктического (4) озона 1979-2022 гг.

### Выводы

Над территорией Российской Федерации в 2023 г. было зарегистрировано две непродолжительные аномалии среднесуточных значений общего содержания озона. Так как наблюдаемые аномалии были непродолжительными и не очень сильными, они не оказали существенного влияния на среднегодовые значения общего содержания озона, которые близки к средним многолетним значениям за 1974-1984 гг. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2023 г. для всех анализируемых станций лежат в интервале от -9 до +6%. Полярный арктический озон в зимне-весенний период 2023 г. не демонстрировал существенного снижения по сравнению со средними многолетними значениями, а в конце февраля - начале марта даже существенно превысил их. Полярный антарктический озон практически весь год был ниже средних многолетних значений, но аномально низких значений не достигал.

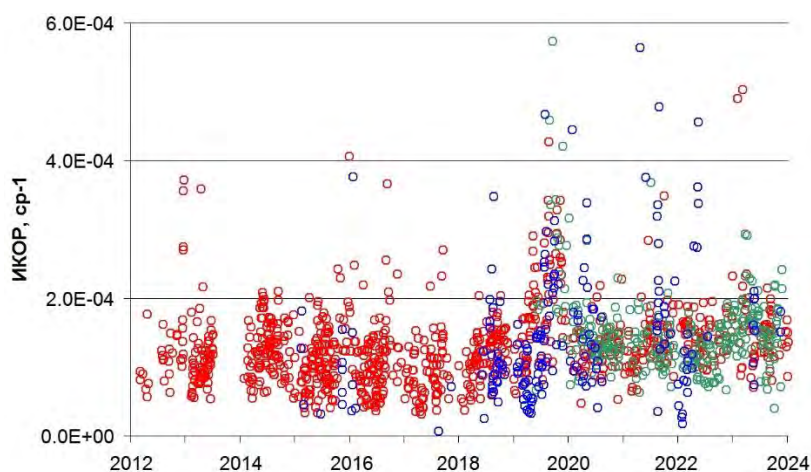
## 19. СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ

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 представлены результаты измерений стратосферного аэрозоля и перистой облачности верхнего яруса (выше 8 км) на лидарных станциях Росгидромета. Регулярные лидарные наблюдения проводятся в Обнинске с 2012 года. 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.

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.),



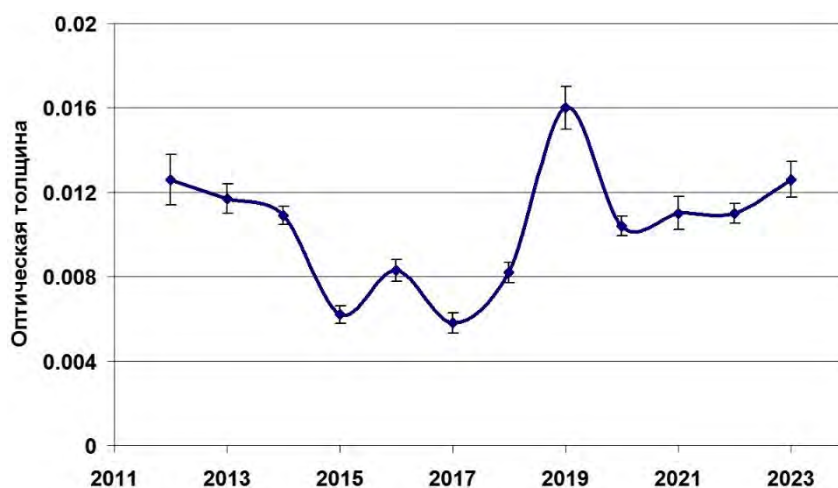
**Рисунок 19.1** – ИКОР в слое от 15 до 30 км на лидарных станциях Обнинска, Новосибирска и Знаменска (красные, синие и зеленые кружки)

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 годы можно отнести к фоновому вулканическому периоду. В 2019 году 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 2023 годы происходило некоторое увеличение аэрозольного наполнения слоя 15-30 км.

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 оптической толщины стратосферного аэрозоля в слое от 13 до 30 км с 2012 по 2023 годы. С 2012 года происходило уменьшение оптической толщины аэрозоля после крупных извержений в 2011 году вулканов Набро и Гримсвотен. Минимум оптической



**Рисунок 19.2** – Временной ход среднегодовых значений оптической толщины в стратосферных слое от 13 до 30 км и оценки их среднеквадратического отклонения

толщины был достигнут в 2017 году. Затем началось ее увеличение, которое объясняется ростом эмиссий серы в стратосферу, связанным с извержением вулкана Райкоке в 2019 году, а также выбросами Австралийских природных пожаров в 2020 году. Определенный вклад внесло также извержение подводного вулкана Хунга Тонга в январе 2022 года. Хотя при этом извержении

выброс серы был не столь значительным, зато в стратосфере было вынесено огромное количество водяного пара. В совокупности указанные явления, по-видимому, и ответственны за увеличение оптической толщины аэрозоля в 2019-2023 гг. по сравнению с предшествующим периодом 2015-2018 гг. В дальнейшем, если не будет крупных вулканических извержений, следует ожидать стабилизации, а затем постепенного снижения оптической толщины аэрозоля.

По данным об оптической толщине проведены оценки радиационного форсинга аэрозоля. В 2023 году средняя величина радиационного форсинга стратосферного аэрозоля в слое от 13 до 30 км составила  $(0,35 \pm 0,18)$  Вт/м<sup>2</sup>, что близко к значениям 2022 года.

На рисунке 19.3 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

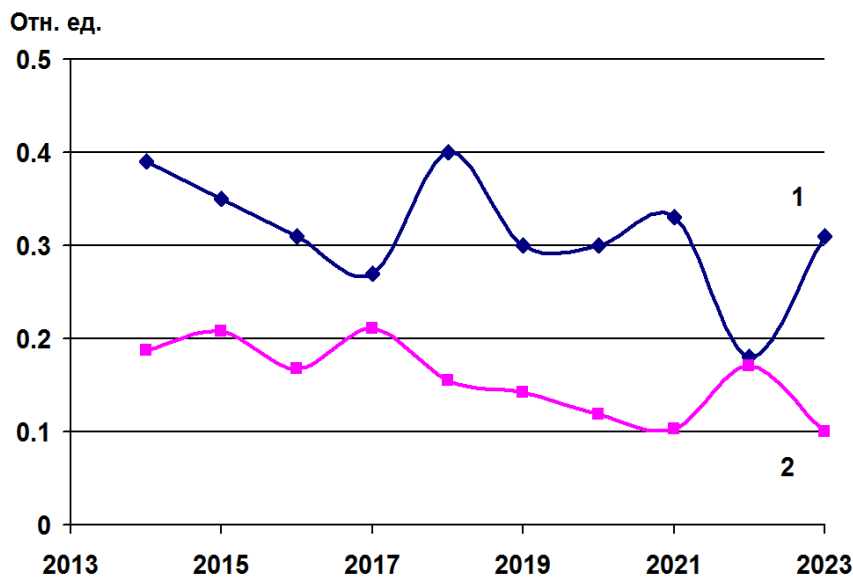


Рисунок 19.3 – Вероятность появления (1) и средняя оптическая толщина (2) перистых облаков

поведение вероятности их наблюдения. 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. Вероятным объяснением является влияние вулканического извержения Хунга Тунга. В 2023 г. эти параметры вернулись к среднему уровню последних лет.

Среднегодовой радиационный форсинг перистых облаков на

верхней границе атмосферы оценивался по данным об оптической толщине и вероятности их появления для ночных условий и составил в 2023 году  $\sim 5$  Вт/м<sup>2</sup>.

Распределение аэрозоля по высоте характеризуется отношением коэффициентов обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния  $R$  на длине волны 532 нм. Среднегодовые высотные профили этого параметра, измеренные на лидарных станциях Обнинска и Знаменска (Астраханская обл.) в 2023 г. показаны на рисунке 19.4

На высотах от 14 до 30 км аэрозольные профили в Обнинске и Знаменске практически одинаковы. В диапазоне высот от 16 до 22 км выделяется слой Юнга, сформированный аэрозолем, перенесенным из области низких широт в результате циркуляции Брюера-Добсона. В нижней стратосфере (10-14 км) периодически наблюдались выделенные слои повышенного обратного рассеяния, представляющие собой результат тропосферно-стратосферного

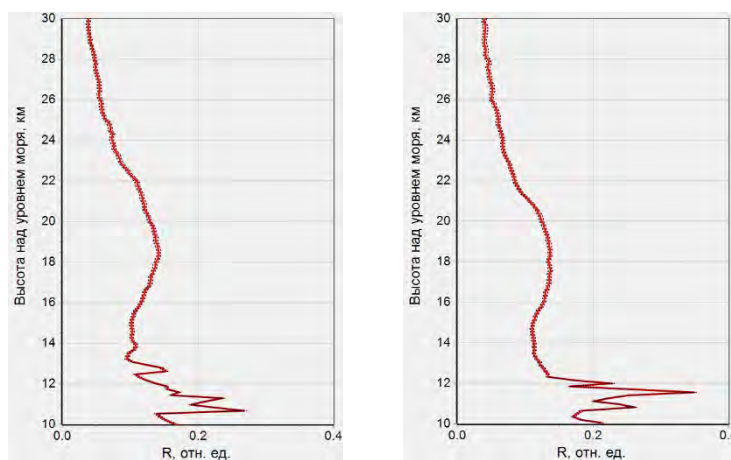
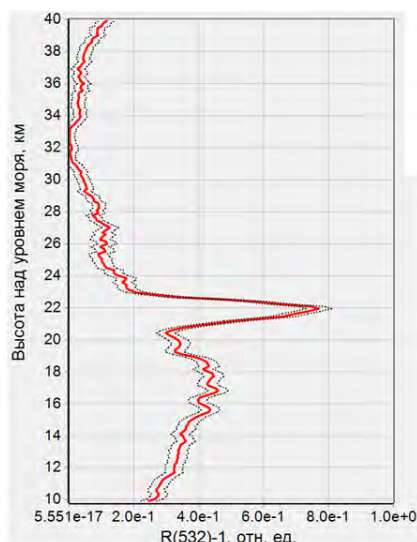


Рисунок 19.4 – Среднегодовые высотные профили отношения коэффициентов обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния в Обнинске (слева) и Знаменске (справа)

обмена. Наиболее выраженными эти явления были в мае (Обнинск, Знаменск), июне (Знаменск), июле (Обнинск) и сентябре (Обнинск, Знаменск). Появление этих слоев связано с апрельскими извержениями вулканов Безымянный и Шивелуч на Камчатке, а также природными пожарами в ряде регионов РФ весной 2023 года и летними природными пожарами в Канаде.



**Рисунок 19.5** – Облачный слой полярных стратосферных облаков, наблюдавшийся над Обнинском 12.02.2023. Пунктиром показано среднеквадратическое отклонение

Следует отметить достаточно редкий эпизод – появление полярных стратосферных облаков над Обнинском 12.02.2023 (рисунок 19.5). По данным радиозондирования в Долгопрудном и Сухиничах температура на высоте наблюдения облаков 22 км опускалась в это время ниже 195 К. В облачном слое наблюдалась заметная деполяризация обратного рассеяния (более 0,1) что указывало на присутствие кристаллических частиц.

### Основные выводы

Представленные 12-летние данные лидарных наблюдений стратосферного аэрозоля показывают достаточно динамичную картину изменений его радиационных параметров, связанную, в первую очередь, с изменением эмиссии серы в стратосферу в результате вулканических извержений взрывного характера. Оптическая толщина

перистых облаков демонстрирует тенденцию к снижению, а вероятность их появления носит вариативный характер. Наметившиеся изменения указывают на необходимость в продолжении мониторинга стратосферного аэрозоля.

## ВЫВОДЫ

- 2023 год в России был в целом очень тёплым. Среднегодовая аномалия (отклонение от среднего за 1991-2020 гг.) температуры воздуха в среднем по РФ составила  $+0,99^{\circ}\text{C}$  – третья величина с 1936 года. Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны (кроме отдельных районов Чукотки). Ранги средних температур по ЕЧР, Западной Сибири и по всем федеральным округам (кроме ДФО) с первого по пятый.

Наиболее теплые условия сложились *осенью*. Осредненная по РФ в целом аномалия температуры составила  $+1,96^{\circ}\text{C}$  – вторая величина в ряду. Всюду (кроме северо-запада) температуры были выше климатической нормы. Аномалии температуры, осредненные по всем регионам (кроме Приамурья, Приморья и Восточной Сибири) и федеральным округам (кроме СЗФО и ЦФО) - среди четырех самых крупных. В Карелии и на Кольском полуострове температуры были ниже климатической нормы (аномалии до  $-1^{\circ}\text{C}$ ).

Очень тепло было *летом*. Осредненная по РФ в целом аномалия  $0,87^{\circ}\text{C}$  – третья величина в ряду. Осредненная по АЧР аномалия температуры  $+1,03^{\circ}\text{C}$  – максимальная величина в ряду. На ЕЧР экстремально тепло на юге в предгорьях Кавказа, а в центре наблюдались слабые отрицательные аномалии (до  $-0,7^{\circ}\text{C}$ ), температуры ниже нормы отмечались также на Чукотке (аномалии до  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ).

*Зимой 2022-23* гг. осредненная по территории РФ аномалия  $+0,42^{\circ}\text{C}$  (ранг 23). Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части ЕЧР, в Западной

Сибири, на западе Среднесибирского плоскогорья, в районе Байкала, на Чукотке. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на большей части ДФО (аномалии до  $-5,7^{\circ}\text{C}$ ), в Среднем Поволжье и в Саянах.

**Весной** средняя по РФ аномалия составила  $+1,06^{\circ}\text{C}$  – ранг 8. На большей части страны температуры были выше климатической нормы. Тепло в ЕЧР ( $1,91^{\circ}\text{C}$  - ранг 4), в Приамурье и Приморье ( $1,73^{\circ}\text{C}$  – ранг 3). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на Алтае и в Саянах, на севере Таймыра, в дельте Яны, на Новосибирских островах, на Чукотке (аномалии до  $-2,4^{\circ}\text{C}$ ).

На всех станциях Северного Кавказа наблюдались положительные аномалии сезонных средних температур, за исключением зимнего сезона на горных станциях (Ахты, Теберда, Терскол). Заметные (более стандартного отклонения) положительные аномалии максимальных температур наблюдались на метеорологических станциях Нальчик и Прохладная в зимний сезон, а также на метеорологической станции Ахты в весенний сезон. Заметные положительные аномалии минимальных температур имели место на метеорологической станции Прохладная в осенний сезон с превышением межгодовой изменчивости более  $1\sigma$ .

- 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 1976-2023 гг. составила  $0,50^{\circ}\text{C} / 10$  лет (вклад в общую изменчивость 58%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной ( $0,64^{\circ}\text{C} / 10$  лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом ( $0,41^{\circ}\text{C} / 10$  лет: описывает 70% суммарной дисперсии).

Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири и на востоке Якутии, 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 и сезонные тренды значимы на 1%-ном уровне, кроме зимнего, весеннего и осеннего трендов в Терсколе. Наиболее высокие темпы роста средних температур наблюдаются летом и зимой.

- В области морской Арктики температура с 1990-х годов к 2018-2020 гг. повысилась зимой более чем на  $4^{\circ}\text{C}$ , а летом – на  $2^{\circ}\text{C}$ , а затем, к 2023 году понизилась зимой на  $2^{\circ}\text{C}$ , а летом – на  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

На акватории Сибирских арктических морей (Карское–Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь, особенно заметно потеплело в 2010-е годы. повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2018 год на  $6^{\circ}\text{C}$ , а летней к 2020 году почти на  $3^{\circ}\text{C}$ .

Некоторое понижение после 2020 года просматривается в изменениях средней температуры на 32 станциях с началом наблюдений в 1901 году.

В Северном Ледовитом океане площадь, занятая льдом (ледовитость) на сезонном минимуме в сентябре сократилась с 1980 года до 2012 года в 2,2 раза. При этом сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха.

На акватории арктических морей, по которым пролегает СМП, ледовитость в сентябре, сокращалась с 1996 года вместе с ростом летней температуры воздуха и за десять лет уменьшилась в восемь раз, с 1892 тыс. км<sup>2</sup> до 234 тыс. км<sup>2</sup>. В последующие годы площадь колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. км<sup>2</sup> в 2020 году. Зимой сокращение морского ледяного покрова много меньше, чем летом. От максимума в марте 1982 года до минимума в марте 2016 года сокращение составило 9% в СЛО и около 1% в морях СМП.

Значительно уменьшилась с 1999 по 2017 год сумма градусодней мороза (влияющая на разрастание ледяного покрова на акватории морей СМП в холодную часть года с октября по апрель и на последующее летнее таяние и сокращение площади морских льдов), но после 2017 года СГДМ растет вместе с ростом ледовитости морей СМП.



В Арктике положительные аномалии температуры 2023 года были существенно ниже аномалий 2016-2020 гг.

- В 2023 году в тропосфере Северного полушария была рекордно теплая осень и второе самое теплое лето в истории наблюдений с аномалиями температуры 1,18 и 0,85°C соответственно. Также в десятку самых теплых лет в тропосфере попала зима 2023 года. Рекордно высокие аномалии наблюдались летом и осенью в низких широтах (0,74 и 0,99°C), а также осенью в умеренных широтах (1,28°C). Весной в низких широтах наблюдалась небольшая отрицательная аномалия температуры, равная -0,03°C. В среднем 2023 год во всех широтных поясах был в пятерке самых теплых лет в тропосфере и в целом по Северному занял второе место в ряду с аномалией температуры 0,80°C. Таким образом, 2015-2023 гг. являются девятью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария.

В нижней стратосфере лето во всех широтных поясах попало в десятку самых холодных лет и в целом по Северному полушарию оказалось третьим в ряду самых холодных лет с аномалией температуры -1,05°C. Зима и весна 2023 года попали в десятку самых холодных лет в низких и умеренных широтах. В умеренных широтах они заняли второе место. А в высоких широтах зима и весна оказались на 18 и 24 местах соответственно. Осень 2023 года, наоборот, в низких и умеренных широтах была относительно теплой. В умеренных широтах наблюдалась небольшая положительная аномалия температуры 0,09°C. А в высоких широтах осень была рекордно холодной с аномалией температуры -1,06°C. В целом по Северному полушарию в 2023 году наблюдалась рекордно холодная весна, зима и лето вошли в тройку самых холодных сезонов, а осень была относительно теплой. В целом 2023 год по Северному полушарию оказался четвертым в ряду самых холодных лет в нижней стратосфере.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2023 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере.

В тропосфере добавление оценок аномалий за 2023 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2022 года включительно, привело к увеличению значений летних и осенних трендов во всех широтных поясах, а также к уменьшению весенних трендов в низких и высоких широтах. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере всего Северного полушария вырос с 0,19°C/10 лет до 0,21°C/10 лет.

В нижней стратосфере в низких широтах уменьшились по абсолютному значению все сезонные оценки трендов за исключением летней. В умеренных широтах все сезонные тренды, за исключением осеннего, выросли по абсолютному значению. В высоких широтах выросли по абсолютному значению зимний и летний тренды, а весенний уменьшился. Среднегодовой тренд температуры в нижней стратосфере всего Северного полушария не изменился и составил -0,36°C/10 лет.

- Осадки в 2023 году в целом по России составили 106% нормы – четвертая-пятая величина в ряду. Значительный избыток осадков наблюдался на большей части ЕЧР (111% – ранг 4, особенно в центре и на юге) и на большей части СФО (109% - ранг 5). Небольшой дефицит осадков наблюдался на Урале, в бассейне Амура, на северо-востоке страны.

Из сезонов выделяется «влажная» *осень* - в целом по РФ выпало 117% нормы – максимальная величина в ряду. На большей части страны (кроме центра Западной Сибири, верхнего течения Лены, предгорий Кавказа) наблюдался значительный избыток осадков, особенно много осадков выпало в Средней Сибири (105% - ранг 3), в Восточной Сибири (109% - ранг 1), в СФО (115% - ранг 3) и в ДФО (117% - ранг 3). Небольшой дефицит осадков осенью наблюдался в центре Западной Сибири, в верхнем течении Лены, в предгорьях Кавказа.

Следует отметить «влажную» *весну* в ЮФО (144% - ранг 1) и ДФО (120% - ранг 4), «сухую» *весну* на Южном Урале, на юге Западной Сибири, «сухое» *лето* в Восточной Сибири (78% - третья среди самых «сухих»).

На Северном Кавказе в 2023 году имел место дефицит осадков (ниже 5%-го перцентиля) в летний период на метеорологических станциях Теберда и Терскол и в зимний сезон на метеорологических станциях Ахты, Прохладная. В 2023 году имело место превышение климатической нормы сумм осадков в весенний сезон на станциях Теберда и Терскол и летний сезон на метеорологической станции Ахты.

- На территории России в целом преобладает тенденция к **увеличению годовых сумм осадков**: тренд за 1976-2022 гг. составляет 1,9% / 10 лет, вклад в дисперсию 38%. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается **весной** (5,2% / 10 лет, вклад в дисперсию 41%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако **летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают**: в ПФО тренд -5,1% нормы в десятилетие, в ЦФО -4,5% нормы в десятилетие.

Тренд годовых осадков за период 1976-2022 гг. на всех станциях Кавказского региона статистически незначим, но весной на горной станции Теберда наблюдался статистически значимый на 5% уровне рост сумм осадков ( $D=8\%$ ).

- Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2022-2023 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы, аномалия вошла в десятку наименьших значений. В северных районах страны, центральных районах ЕЧР и Западной Сибири, на Дальнем Востоке отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова вошли в десятку наименьших в ранжированном ряду с 1967 года. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России также оказалась ниже климатической нормы, при этом аномалия максимальной высоты снега во II квазиоднородном районе (север Восточной Сибири и Якутии) попала в десятку наиболее крупных в ранжированном ряду. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался ниже нормы как в лесу, так и в поле. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены в I, IV, V, VII и VIII квази-однородных регионах. В центре и на юге Восточной Сибири (район VI) положительная аномалия запаса воды в снеге на лесном маршруте оказалась в десятке наибольших. В поле положительная аномалия во II квазиоднородном районе вошла в десятку наибольших. Отрицательные аномалии максимального запаса воды в снеге на полевом маршруте получены во всех квазиоднородных районах, за исключением I, II, VIII. Значительный дефицит запаса воды в снеге в поле отмечен в III квази-однородном районе (Чукотка и север Камчатки), и это наименьшее значение в ранжированном ряду с 1967 года.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова. В среднем для России число дней со снегом сокращается на 1,64 дня за 10 лет. Наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны, среднем для России – 1,32 см/10 лет. Максимальный за зиму запас воды в снеге с 1976 по 2023 гг. по данным маршрутных наблюдений в поле увеличивается на 2,71 мм за 10 лет. По данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге: -1,15 мм/10 лет в среднем по России и -5,13 мм/10 лет в центре Европейской части России.

- Сроки начала ледообразования на большинстве рек страны были преимущественно позже нормы (на 5-20 дней) или около нормы. Появление льда осенью 2022 года началось северо-востока страны в первой декаде октября, и лишь в первой декаде декабря ледообразование началось на реках юга ЕЧР (на Нижней Волге и Нижнем Дону).

Вскрытие ото льда большинства рек европейской и азиатской части России преимущественно произошло раньше средних многолетних сроков на 5-24 дня.

- Суммарные за холодный период аномалии **числа случаев гололеда** были положительными в ПФО, Брянской, Курской, Астраханской областях, на юго-западе Архангельской и западе Иркутской областей, востоке ЯНАО и ХМАО. Отрицательные аномалии числа случаев гололеда отмечались в ЦФО, ЮФО и востоке СЗФО. Обширный очаг отрицательных аномалий числа случаев **кристаллической изморози** сформировался

на большей части ЕЧР (от 1 до 5 случая), в Забайкалье, севере Чукотки и в Камчатском крае (от 5 до 10 случаев). Небольшие области положительных аномалий сформировались на севере ПФО, юге УФО и Западной Сибири, в Амурской, Магаданской областях, на севере Камчатского края. Положительные аномалии, преобладали в распределении числа случаев с отложением **мокрого снега** на ЕЧР и юге Западной Сибири.

Суммарная **продолжительность гололеда** на 12-24 часа меньше в ЦФО, Ненецком АО, в Краснодарском и Ставропольском краях, также на северо-востоке Коми. Отрицательные аномалии **продолжительности кристаллической изморози** отмечаются в ЮФО, на западе ЦФО, севере СЗФО, в Забайкалье и на севере Чукотки (от 12 до 48 часов). Положительные аномалии продолжительности **отложения мокрого снега** наблюдаются на ЕЧР, в УФО и Западной Сибири.

Преобладали отрицательные аномалии **веса гололеда**. Отрицательные аномалии веса **кристаллической изморози** получены на ЕЧР, севере Западной Сибири, в УФО, Камчатском крае и на Чукотке. Значительные положительные аномалии **веса отложения мокрого снега** отмечаются в Крыму, на севере ЮФО, в центре ЦФО, Карелии, Свердловской и Тюменской областях, на Сахалине.

Преобладают положительные тенденции числа случаев с **гололедом** на ЕЧР (на северо-востоке ПФО, юго-востоке СЗФО и в Астраханской области до 0,8-1,6 случаев за 10 лет). Значимые положительные тенденции числа случаев с **кристаллической изморозью** получены в трех регионах: Восточная Сибирь центральная часть, Дальний Восток между 50°N и 60°N и Дальний Восток южнее 50°N, а значимые отрицательные тренды выявлены в регионах Атлантическая Арктика, на северо-западе, юго-западе и в степной части Восточно-Европейской равнины. На большей ЕЧР и Западной Сибири получен положительный тренд числа случаев с **отложением мокрого снега**.

Положительные тенденции продолжительности **гололеда** получены в центральных областях ЕЧР и на востоке ЯНАО. Значительные отрицательные тенденции продолжительности **кристаллической изморози** сформировались на арктическом побережье ЕЧР, Урала, северо-западе Красноярского края (более 96 час/10 лет). Тенденция увеличения продолжительности **отложения мокрого снега** по-прежнему сохраняется почти на всей ЕЧР, Урале и в Западной Сибири.

Тенденция увеличения веса **гололеда** наблюдается на северо-западе ПФО, севере ЦФО, в отдельных районах СЗФО, Приморском крае. На большей ЕЧР преобладают отрицательные тенденции веса **кристаллической изморози** (при оценке региональных изменений значимые отрицательные тренды получены в восьми районах и в целом для ЕЧР:  $b=-0,2$  г/см /10 лет,  $d=24\%$ ). В семи квазиоднородных климатических регионах, для территории ЕЧР и страны в целом выявлены значимые положительные тенденции **веса отложения мокрого снега**.

- 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 земледельческой зоны дата возобновления вегетации (переход через 5°С весной) значительно отличались от среднемноголетних значений, и аномалии составляли от -15 до +9 суток.

Продолжительность периода вегетации ( $T>5^{\circ}\text{C}$ ) и активной вегетации ( $T>10^{\circ}\text{C}$ ) превышала среднемноголетние значения на всей исследуемой территории, и в среднем аномалия составила 11 и 15 суток соответственно. Практически на месяц дольше длился вегетационный период в южных регионах, а также в центральных областях ЕЧР и в Поволжье – примерно на одну-две декады (от 12 до 18 суток).

Положительные аномалии сумм температур за период вегетации ( $T>5^{\circ}\text{C}$ ) отмечались на всей территории России, а максимальное значение, зафиксированное на территории южных регионов ЕЧР в СКФО и ЮФО, превысило 500°С.

Количество выпавших осадков за период вегетации яровых зерновых культур ( $R_{\text{зерн.}}$ ) в 2023 году в среднем по территории земледельческой зоны России близко к среднему за период 1991-2020 гг. Благоприятные агроклиматические условия сложились в вегетационный период зерновых культур в ЦФО, СКФО и ЮФО, где осадков выпало на 11, 34 и 36% выше нормы соответственно. В северо-западных областях ЕЧР, на Урале наблюдалась отрицательные аномалии атмосферных осадков. Сезонное распределение осадков неравномерное – с максимумом осенью и минимумом в весенний период

Индекс сухости М.И. Будыко, рассчитанного за период с температурой выше  $5^{\circ}\text{C}$ , был близким к среднему за 1991-2020 гг. на большей части исследуемой территории (исключение - положительные аномалии ИС Будыко на Урале и Северном Кавказе).

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной на дату возобновления вегетации и вплоть до фазы колошения зерновых культур были достаточными во всех сельскохозяйственных районах и колебались в диапазоне от 87 мм (СКФО) до 201 мм (СЗФО). Высокий уровень увлажнённости почвы был в основных зернопроизводящих регионах на ЕЧР – в ЦФО, ПФО и ЮФО, локальная почвенная засуха наблюдалась в ЮФО и СКФО, в южных областях УФО в период с июня по август.

Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода ( $T > 5^{\circ}\text{C}$ ) и периода активной вегетации ( $T > 10^{\circ}\text{C}$ ).

Положительная тенденция к росту весенних осадков сохраняется на прежнем уровне в земледельческой зоне (от  $\sim 3$  мм/10 лет в СЗФО до  $\sim 6$  мм/10 лет в ДФО)

По оценкам степень засушливости в земледельческой зоне растёт: за период 1976-2023 гг. оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости Будыко (ИС) за весь тёплый период года ( $T > 5^{\circ}\text{C}$ ) составляют  $-0,03$  и  $0,02$  ед./10 лет соответственно.

В основных зернопроизводящих регионах на ЕЧР в ЦФО, ПФО, ЮФО и СКФО климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы превысила уровень предшествующего пятилетия на 30-40%, в СЗФО – на 25%.

В 2023 году положительные аномалии климатически обусловленной урожайности отмечаются в центральных и центрально-чернозёмных областях ЕЧР. Аномалии климатически обусловленной урожайности в основных сельскохозяйственных районах на АЧР по большей части отрицательные.

Урожай (биомасса) многолетних трав или БКП в 2023 году в целом по земледельческой зоне несколько превысил уровень среднего за 2018-2022 гг. (3%).

Условия увлажнённости посевов озимых культур урожая 2024 года в осенний период оцениваются как благоприятные, и запасы продуктивной влаги в среднем по территории выше, чем в аналогичный период предшествующих лет, 2021 и 2022 годы.

- В 2023 году на территории России для измерения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты (СТС) была задействованы 35 площадки CALM. Анализ данных с площадок показал сохранение положительных трендов СТС практически на всей территории криолитозоны России в 2023 году, близких по значению к трендам 2022 года, что свидетельствует о сохранении устойчивой тенденции увеличения мощности СТС.

На Европейской части России, представленной всего двумя площадками в районе Воркуты, увеличение мощности СТС составило 4 и 10 см по сравнению с 2022 годом. В районе площадки Сейда мощность СТС в 2023 году достигла максимума за весь период наблюдений с 2012 года. По данным 9 площадок из Западной Сибири наиболее ярко выраженное увеличение мощности СТС отмечается в районе Надыма, на Ямале (Марресале) и на Полярном Урале. 7 площадок из Центральной Сибири свидетельствуют о незначительном уменьшении мощности СТС в 2023 году, в пределах 2-5 см по сравнению с 2022 годом. В Северо-восточной Сибири по данным 13 площадок в целом для всего региона отмечаются незначительные изменения мощности СТС в 2023 году, на 4-х площадках значения СТС остались на уровне 2022 года. На 9 площадках отмечается

уменьшение мощности СТС в 2023 году, наиболее значительные уменьшение мощности СТС в 2023 году отмечены в районе озера Ахмело и на пинго Сегодня (Колыма) - на 11 см. Для Чукотки и Камчатки по данным 4-х площадок в 2023 году характерны очень незначительные изменения мощности СТС (увеличение или уменьшение в пределах 1-2 см) при сохранении положительных трендов на уровне 2022 года.

Сохранение устойчивой тенденции увеличения мощности СТС на территории криолитозоны России обусловлено, прежде всего, продолжающимся ростом температур воздуха в высоких широтах Арктики, увеличением температуры поверхности почвы и сокращением площади морских льдов в летнее время.

- В минимальной за год температуре почвогрунтов 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. С увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвы.

В период 1976-2023 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, Яна и Енисей.

- За период 2022-2023 гг. выявлено продолжение ускоренной деградации ледников Эльбруса – 1,27 км<sup>2</sup>.

Изменение климата и вызванное им ускорение темпов деградации ледников привело к активизации опасных природных процессов: ускорение движения ледников, появление и развитие новых трещин на ледниково-моренных комплексах, появление и увеличение ледниковых озер Центрального Кавказа.

Выявлено увеличение площади приледникового озера Бирджалы на севере Эльбруса (с 8,3 тыс. м<sup>2</sup> в 2022 г. до 19,6 тыс. м<sup>2</sup> в 2023 г.), площадь озера Башкара (в верховьях реки Адылсу) увеличилась – на 0,7 тыс. м<sup>2</sup> (с 32,8 до 33,5 тыс. м<sup>2</sup>), площадь озера Лапа (Башкара нижнее) увеличилась на 0,8 тыс. м<sup>2</sup> и составила 27,6 тыс. м<sup>2</sup> – увеличение площади этих озер вызвано камнепадами и протаиванием масс погребённого льда.

Другие моренные и каровые озёра изменялись в обычном режиме или были стабильными в течение сезона (озеро над ледником Башиль, озеро ниже ледника Азот в ущелье Адырсу, озеро Гийбашкель, озеро Сылтранкель, озеро Донгуз-Орункель, озёра у ледника Малый Азау и др.).

Язык ледника Башиль обособился от контактирующих с ним мёртвых льдов, отступление конца ледника составило около 100 м за счёт быстрого таяния узкой части, граничащей с выходом коренных пород.

Язык ледника Безенги (крупнейшего ледника Кавказа) также отступает, при этом участок истока реки Черек Безенгийский сместился от левого края ледника к правому краю.

- В 2023 году в целом на территории РФ отмечалось 1191 опасных гидрометеорологических явлений, из которых 448 были с ущербом. В целом за год оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета было выпущено 2224 штормовых предупреждений, оправдываемость которых 96,2% (что несколько выше показателя 2022 года (95,9%).

Наивысшая активность возникновения ОЯ на территории Российской Федерации наблюдалась в период с мая по сентябрь. Наибольший ущерб был нанесен в первую очередь дождевыми паводками, а также очень сильными дождями и порывистым ветром.

В 2023 году на территории России было зарегистрировано рекордное количество опасных гидрометеорологических явлений: 642 случая возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений (КМЯ), сочетание которых образует ОЯ.

Самой высокой была повторяемость очень сильных осадков, очень сильного ветра, КМЯ и заморозков. Суммарное количество этих четырех явлений составляет 78 % от всех опасных метеорологических явлений в 2023 году.

По-прежнему наибольший ущерб нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в т.ч. шквал), град, заморозки и чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в течение апреля-октября. Заморозки на Европейской части России были столь частыми и сильными, что погибли завязи плодово-ягодных растений и клюквы на болотах.

На территории СФО, ДФО и ЮФО зарегистрирован 381 случай (59%) всех ОЯ и КМЯ. По сравнению с 2022 годом в 2023 году количество ОЯ и КМЯ во всех федеральных округах увеличилось в среднем на 35%.

- В целом радиационный режим в 2023 году на территории России был близок к норме 1961-1990 гг. в зимний сезон и отличался преобладанием положительных аномалий прямой радиации в весенний и летний сезоны. Наиболее ярко это проявилось в апреле и особенно в августе, когда область положительных аномалий охватывала всю ЕЧР и северные районы Западной Сибири, и количество поступающей на земную поверхность прямой солнечной радиации достигало рекордно высоких значений. 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 2023 году средняя годовая аномалия продолжительности солнечного сияния (ПСС) в целом для территории РФ  $RS = 103\%$  при  $P = 94\%$  - среди пяти максимальных; для ЕЧР ( $RS = 104\%$ ), и для АЧР ( $RS = 102\%$ ) была положительной.

Зимой 2022-23 гг. на территории ЕЧР положительная аномалия ПСС составляла  $RS = 111\%$  с вероятностью ( $P$ ) 84%. Наибольшее количество ПСС (до 119% при  $P = 94\%$ ) наблюдалось на Кавказе. На территории АЧР выявлены как положительные, так и отрицательные аномалии ПСС, что в среднем составило норму (100%,  $P = 66\%$ ).

Весной 2023 г. в СЗФО ( $RS = 113\%$ ) и УФО ( $RS = 112\%$ ) преобладали положительные аномалии ПСС (ранг 5 и 3 соответственно среди максимумов). В то же время в Южном ФО зафиксированные аномалии ПСС отрицательные ( $RS = 83\%$  - ранг 5 среди минимумов).

Летом на всей территории РФ наблюдались положительные аномалии ПСС ( $RS = 102\%$ ). Средняя аномалия для ЕЧР составила  $RS = 103\%$ . Меньше нормы ПСС отмечалась только на Чукотке и севере Камчатки ( $RS = 90\%$ ).

Осенью ( $RS = 107\%$ ,  $P = 92\%$ ) на территории РФ в течение всех трёх месяцев преобладал избыток солнечного сияния

В целом на территории РФ наибольшие положительные аномалии отмечались в августе ( $RS = 110\%$ ) и сентябре ( $RS = 115\%$ ). Наибольший дефицит солнечного сияния для страны наблюдался в ноябре ( $RS = 89\%$ ).

Изменения ПСС почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом: рост наблюдается на 75% станций. Средняя скорость роста ПСС для территории России в целом составляет 1,1%/10 лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 32%. 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 (1,8%/10 лет), чем в АЧР (0,7%/10 лет).

- На Европейской территории, за исключением южных районов, на большей части Западной Сибири и Красноярского края преобладали отрицательные аномалии средней месячной скорости ветра (по абсолютной величине они не превышали 1 м/с). На территории Дальневосточного ФО, кроме Приморского края и Сахалина, преобладали положительные

аномалии среднемесячной скорости ветра до 1 м/с. Максимальная из средних скоростей ветра выше 25 м/с была зафиксирована в 33 пунктах арктического и тихоокеанского побережья. На большей территории РФ число дней с сильным ветром (со средней скоростью ветра  $\geq 15$  м/с) не превышало 5 дней, наибольшее число дней отмечалось на арктическом и тихоокеанском побережье страны.

Аномалии числа дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с на большей части территории России близки к нулю. Наибольшая по абсолютной величине отрицательная аномалия числа дней с сильным ветром в 2023 году отмечалась на метеорологической станции Мыс Крильон и составила  $-2,07$  дней. Число дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с превысило норму на Камчатке и северном побережье Охотского моря (на острове Сосновец (Мурманская область), положительная аномалия составила 2,77 дня – наибольшая аномалия).

Во все сезоны отрицательные аномалии преобладали на ЕЧР и в Западной Сибири. На территории Сибири и Дальнего Востока зимой, весной и осенью преобладали положительные аномалии средней скорости ветра.

Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Башкортостан (Мраково) весной и летом - 0,543 м/с и 0,432 м/с за 10 лет соответственно. Наибольшая тенденция уменьшения скорости ветра отмечается в Невельске (Сахалинская обл.).

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с статистически незначим на большей территории РФ. В целом, осенью, зимой и весной отрицательные тенденции более выражены, чем летом.

Во все сезоны года средняя по территории России и в большинстве квазиоднородных регионов скорость ветра уменьшается. Изменения числа дней с ветром более 15 м/с на значительной части квазиоднородных регионов незначимы, а значимые коэффициенты линейного тренда имеют отрицательные значения.

- В 2023 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались на юге Хабаровского края. Наибольшие отрицательные (до -1 м/с) – над центром ЕЧР и на отдельных станциях на юге Сибири. В отдельные сезоны над большей частью территории России аномалии скорости ветра также не превышали 2 м/с по абсолютному значению. Положительные аномалии больше 2 м/с наблюдались весной на северо-востоке ЕЧР и осенью на Юге России. Наибольшие отрицательные аномалии наблюдались зимой на Юге России и осенью на юго-западе Сибири. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому. Только весной над южной и центральной частью ЕЧР наблюдалось отклонение ветра до юго-западного направления.

В нижней стратосфере в среднем за год на севере ЕЧР и севере Сибири наблюдались небольшие отрицательные аномалии скорости ветра. На юге ЕЧР и Сибири, а также на Дальнем Востоке положительные аномалии скорости ветра превышали 1,5 м/с. Наибольшие положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 4,5 м/с наблюдались на западе ЕЧР зимой и осенью, а также на юге Сибири и Дальнего Востока зимой. Наибольшие отрицательные аномалии скорости ветра, достигавшие -4,5 м/с, наблюдались зимой над Восточной Сибирью и весной над Карелией. Летом практически над всей территорией России наблюдались положительные аномалии скорости ветра, не превышавшие 1,5 м/с. В среднем за год направление соответствовало климатическому. Наибольшее отклонение направления ветра от климатического в отдельные сезоны наблюдалось зимой на севере Дальнего Востока и весной над Западной Сибирью. Зимой на севере Дальнего Востока наблюдался практически южный ветер, а весной над Западной Сибирью – северо-западный ветер.

- Увеличение концентрации как  $\text{CO}_2$ , так и  $\text{CH}_4$  продолжается. Среднегодовое значение концентрации  $\text{CO}_2$  на станции Териберка превысило  $423 \text{ млн}^{-1}$ , а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, стали больше  $430 \text{ млн}^{-1}$ . Вместе с тем, темпы роста концентрации  $\text{CO}_2$  снизились по сравнению с предыдущим годом. На

станции Териберка возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  составило  $2,2 \text{ млн}^{-1}$ , что заметно меньше межгодовой изменчивости в 2022 году, которая на фоновых станциях РФ превышала значение  $3 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ . На станции Воейково концентрация  $\text{CO}_2$  в 2023 году увеличилась на  $2,7 \text{ млн}^{-1}$  и на станции ПТБЗ на  $2,4 \text{ млн}^{-1}$ .

После резкого возрастания концентрации метана в атмосфере, наблюдавшегося в 2020-2022 гг., изменения концентрации  $\text{CH}_4$  в 2023 г. по сравнению с 2022 г. незначительны. Для станции Териберка прирост составил  $4 \text{ млрд}^{-1}$  и на станции Воейково  $7 \text{ млрд}^{-1}$ .

По данным станции Обнинск тренды парниковых газов в приземном слое в пределах погрешности совпадают с трендами общих содержаний в столбе атмосферы и в среднем составляют  $13 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $2,3 \text{ млн}^{-1}$  и  $1,7 \text{ млрд}^{-1}$  в год для  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , и  $\text{N}_2\text{O}$  соответственно и на других рассмотренных станциях меняются в пределах  $2,6$ - $3,1 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$  для  $\text{CO}_2$  и  $10,6$ - $11,7 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$  для  $\text{CH}_4$ , в то время как среднеглобальные значения за последние 10 лет соответственно равны  $2,46 \text{ млн}^{-1}$ ,  $10,2 \text{ млрд}^{-1}$ ,  $1,05 \text{ млрд}^{-1}$  в год.

На фоне наблюдающегося в 2023 году снижения межгодового роста концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , действие близко расположенных источников, а также изменение мощности источников и стоков природного происхождения, действие которых зависит от климатических характеристик, может приводить к существенным вариациям величины роста концентрации за год для разных станций. Так на станции Обнинск концентрации парниковых газов в 2023 году сохранились примерно на уровне 2022 года, а на станции ПТБЗ зафиксирован сильный рост концентрации метана ( $59,2 \text{ млрд}^{-1}$ ).

Превышение концентрации над фоновым уровнем, являющееся характеристикой мощности действующих в районе расположения станций источников и стоков, в 2023 году для станций Воейково, Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ составляет по  $\text{CO}_2$  -  $6,4 \text{ млн}^{-1}$ ;  $1,9 \text{ млн}^{-1}$ ;  $9,5 \text{ млн}^{-1}$ ;  $26,3 \text{ млн}^{-1}$  и по  $\text{CH}_4$  -  $56 \text{ млрд}^{-1}$ ;  $72 \text{ млрд}^{-1}$ ;  $91 \text{ млрд}^{-1}$ ;  $73 \text{ млрд}^{-1}$ . В качестве фонового уровня приняты данные станции Териберка.

- Над территорией Российской Федерации в 2023 г. было зарегистрированы две непродолжительные аномалии среднесуточных значений общего содержания озона. Так как наблюдаемые аномалии были непродолжительными и не очень сильными, они не оказали существенного влияния на среднегодовые значения общего содержания озона, которые близки к средним многолетним значениям за 1974-1984 гг. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2023 году для всех анализируемых станций лежат в интервале от  $-9$  до  $+6\%$ . Полярный арктический озон в зимне-весенний период 2023 года не демонстрировал существенного снижения по сравнению со средними многолетними значениями, а в конце февраля - начале марта даже существенно превысил их. Полярный антарктический озон практически весь год был ниже средних многолетних значений, но аномально низких значений не достигал.

- Данные лидарных наблюдений стратосферного аэрозоля (12-тилетние данные) показывают достаточно динамичную картину изменений его радиационных параметров, связанную, в первую очередь, с изменением эмиссии серы в стратосферу в результате вулканических извержений взрывного характера. Оптическая толщина перистых облаков демонстрирует тенденцию к снижению, а вероятность их появления носит вариативный характер.



## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

<b>Сокращение</b>	<b>Полное название</b>
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
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
н.у.м.	ниже уровня моря
о.	остров
ОСО	Общее содержание озона
ОЯ	Опасные гидрометеорологические явления
п.	поселок
п. ст.	поселок при станции
ПГ	Парниковые газы
пгт.	поселок городского типа
п-ов	полуостров
ПСС	Продолжительность солнечного сияния
ПТБЗ	Приокско-Тerrasный биосферный заповедник
ПТВ	Приповерхностная температура воздуха
ПФО	Приволжский федеральный округ
р.	река
рп.	рабочий поселок
с.	село
SALM	Circum Polar Active-Layer Monitoring
СГДМ	сумма градусодней мороза
СЗФО	Северо-Западный федеральный округ
СКФО	Северо-Кавказский федеральный округ
СЛО	Северный Ледовитый океан
СМП	Северный морской путь
СТС	Сезонно-талый слой
ст-ца	станция
СФО	Сибирский федеральный округ
УГМС	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
УФО	Уральский федеральный округ
ЦФО	Центральный федеральный округ
ЮФО	Южный федеральный округ