Федеральная служба
по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2024 ГОД

Москва
2025

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 2024 ГОД

Москва, 2025 г.

УДК 551.5
ББК 26.2
Д 63

Д 63 Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. – Москва, 2025. – 135 стр.

ISBN 978-5-906099-58-7

В Докладе представлены результаты мониторинга климата Российской Федерации за 2024 год, выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе. Приводятся данные о наблюдавшихся в 2024 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, 2025

RUSSIAN FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING
(ROSHYDROMET)

A REPORT
ON CLIMATE FEATURES
ON THE TERRITORY
OF THE RUSSIAN FEDERATION
IN 2024

Moscow, 2025

Настоящий ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ», головной)	М.Ю. Бардин, Е.Н. Козлова, Т.В. Платова, Э.Я. Ранькова, О.Ф. Самохина, У.И. Антипина, В.Д. Смирнов, К.С. Свистунова, Д.С. Котова, А.А. Минин, Ю.А. Буйволов
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»)	Г.В. Алексеев, Н.Е. Иванов, В.М. Смоляницкий
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)	Т.В. Дементьева, С.Г. Давлетшин, Н.Н. Коршунова, А.Ф. Финаев, А.С. Лавров, А.М. Стерин, А.В. Хохлова, А.Б. Шерстюков, Н.М. Аржанова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии» (ФГБУ «ВНИИСХМ»)	А.Д. Клещенко, А.А. Карачёнкова, В.Н. Павлова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)	О.А. Анисимов, И.И. Борзенкова, А.А. Ершова, Е.Л. Жильцова, К.О. Шаповалова, Ж.А. Балонишникова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО»)	В.А. Задворных, В.М. Ивахов, Н.Н. Парамонова, В.И. Привалов, В.В. Стадник, Е.И. Хлебникова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)	Н.С. Сидоренков, А.Д. Голубев, В.А. Акилина, В.М. Колий
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория» (ФГБУ «ЦАО»)	Н.С. Иванова, Ю.Н. Потанин
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ»)	Б.А. Ашабоков, Л.А. Кешева, А.А. Ташилова, Н.В. Теунова, М.Д. Докукин

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ НПО «Тайфун»)	Е.Л. Баранова, В.Н. Вишератин, В.А. Коршунов, А.Ф. Нерушев,
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)	Т.Р. Жемчугова

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

В подготовке фенологического раздела (раздел 21) также участвовали:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии РАН» (ФГБУН «ИГ» РАН)	Б.Н. Фомин
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный педагогический университет» (ФГАОУ ВО УрГПУ), Уральское отделение Русского географического общества	О.В. Янцер, Ю.Р. Иванова, Н.В. Скок
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН» (ФГБУН «БИН РАН»), Санкт-Петербургское отделение Русского географического общества	П.А. Лебедев

вкладчики Банка данных «Временные ряды фенологических данных»:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник им. М.А. Заблоцкого»	В.Э. Демидов
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник им. профессора В.В. Алехина»	О.В. Рыжков, А.А. Власов, И.Б. Золотухина
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В.М. Пескова»	И.И. Сапельникова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центрально-Лесной государственный заповедник»	Е.А. Шуйская

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Кивач»	М.В. Яковлева
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Хоперский государственный заповедник»	В.И. Щербакова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный парк «Кенозерский»	П.Д. Бурчаловская
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Пинежский»	И.А. Федченко
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Лапландский государственный природный биосферный заповедник»	Н.В. Чуева
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Малая Сосьва» им. В.В. Раевского»	А.Л. Васина

специалисты – фенологи, корреспонденты Русского географического общества:

Р.Г. Амирова, В.В. Брунов, В.Г. Боднарюк, О.Г. Исламова, Н.В. Климова, С.Г. Лихобабенко, И.В. Прокошева, Н.Н. Саунина, С.В. Чуйкова, Л.А. Шаменкова

СОДЕРЖАНИЕ **Стр.**
TABLE OF CONTENTS

ВВЕДЕНИЕ ……...……..…..... 10
INTRODUCTION

1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА ……..……..….....… 13
SURFACE AIR TEMPERATURE

2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ ……..….....……..…. 22
PRECIPITATION.

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2021/2022 гг. ….……...……..…..…... 29
SNOWCOVER IN WINTER 2021/2022

4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК …….…….……..…..... 36
RIVER FREEZE-UP AND SPRING BREAK

5. ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ……..…..... 38
GLAZE-ICE AND RIME DEPOSITION

6. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ …….....……..….....… 44
NORTH POLAR REGION

7. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА ……..……..….....…. 49
PERMAFROST

8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ …….……..….…..……..... 53
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS

9. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ……..……..……...…... 59
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS

10. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ...……..……..….…..……..….. 62
SOLAR RADIATION

11. ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ И ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ ЗА ПЕРИОДЫ 1957-2023 ГГ. И 2014-2024 ГГ.....…..……..... 67
DYNAMICS OF GLACIERS AND HAZARDOUS NATURAL PROCESSES IN THE HIGH-MOUNTAIN ZONE FOR THE PERIODS 1957-2023 AND 2014-2024

12. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ……..……..……...….... 70
SUNSHINE DURATION

13. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ…….…….…..…......….. 78
TEMPERATURE IN FREE ATMOSPHERE

14. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА……..…...…….. 84
WIND

15. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ …….……..…...…..……..... 88
WIND IN FREE ATMOSPHERE

16. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ ……..…...…...…..... 93
GREENHOUSE GASES

17. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ …….….……..…...……..… 98
SOIL TEMPERATURE

18. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ ..…….……..…..…….....…101
OZONE LAYER

19. СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ…….….……..…..…….....104
STRATOSPHERIC AEROSOL

20. ОБЛАЧНОСТЬ …….…..……...…..…….....107
CLOUDY

21. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ……...…….....…116
PHENOLOGICAL PHENOMENA IN WILDLIFE

ВЫВОДЫ ……..……..…..…...…….. 124
CONCLUSIONS

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ…...……..……..…....… 135
LIST OF ABBREVIATIONS

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Глобальное потепление, наблюдаемое уже в течение половины столетия, проявляется повсеместно, кроме локальных территорий вдоль побережья Антарктиды и в южной части Тихого океана. Потепление проявляется в различных частях климатической системы и во многих случаях его последствия носят негативный характер по отношению к экономике и жизнедеятельности. Особенно серьёзны последствия экстремальных погодно-климатических явлений, таких как: региональные волны жары, приводящие к крупномасштабной засухе, сопровождаемой потерями урожая, лесными и торфяными пожарами, вызывающими серьёзные проблемы со здоровьем людей из групп риска; наводнения, вызванные ускоренным таянием снежного покрова и горных ледников, а также экстремальными ливнями и многие другие погодно-климатические явления.

Рост глобальной температуры очень устойчив с середины 1970-х годов, каждое десятилетие было теплее предыдущего. Всемирная метеорологическая организация подтвердила, что на основе шести международных наборов данных 2024 год стал самым теплым годом в истории метеорологических наблюдений, и с учетом имеющейся неопределенности вероятно, что это первый год, когда средняя глобальная температура превысила среднее значение доиндустриального периода (1850—1900 гг.) более чем на 1,5°С - порог, установленный Парижским соглашением. Последние десять лет относятся к десяти самым теплым в истории наблюдений. В 2024 году наблюдались исключительные значения температуры поверхности почвы, температуры моря и теплосодержания океана. Концентрации всех основных долгоживущих парниковых газов в атмосфере продолжают расти: по данным станции Териберка среднегодовые концентрации углекислого газа в 2024 году достигли 426,2 млн$^{-1}$ (423.3 млн$^{-1}$в 2023 году), а метана 2032.4 млрд$^{-1}$ (2023.1 млрд$^{-1}$ в 2023 году).

Российская Федерация потенциально уязвима при неблагоприятных изменениях климата: рост среднегодовой температуры после середины 1970-х в два с половиной раза превосходит глобальный, что может повлечь высокий риск засухи в основных зернопроизводящих регионах, деградацию мерзлоты, ускоренное таяние ледников с ростом опасности наводнений, лавин в горных районах.

Хотя имеются и положительные последствия потепления: увеличенный вегетационный период и теплообеспеченность сельскохозяйственных культур, продолжительное судоходство по трассе Северного морского пути и другие. Но они всё же не могут отменить негативных последствий, в особенности катастрофических, связанных с гибелью большого числа людей.

В ряде случаев региональные изменения могут происходить очень быстро, а могут в масштабе десятилетий даже временно менять направление в связи с естественной изменчивостью в климатической системе. Мониторинг обширного набора климатических переменных, включая экстремальные погодные явления, остаётся основным средством оценки происходящих изменений. Являясь базовым элементом Глобальной рамочной основы климатического обслуживания под эгидой Всемирной метеорологической организации, он даёт необходимую информацию для выработки политики в области климата, а для научного сообщества — информацию о крупных погодно-климатических аномалиях и изменениях климата различного масштаба, сопутствующих значениях и изменениях различных климатических факторов, необходимую для понимания их природы, механизмов и развития прогнозов изменения их статистики.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год является авторитетным источником информации о состоянии и тенденциях изменения климата на территории РФ. Это официальное издание, обобщающее результаты текущих климатических исследований и оперативного климатического мониторинга, проводимых НИУ Росгидромета. Материалы Доклада основаны на апробированных многолетних рядах данных государственной наблюдательной сети Росгидромета и утвержденных методиках обработки и анализа климатических данных. Доклад содержит сведения об основных особенностях климатических условий на территории РФ и о сложившихся на текущий момент тенденциях их изменения. Представленные в Докладе данные будут полезны широкому кругу пользователей, заинтересованных в актуальной климатической информации: центральным и региональным органам власти, научным организациям, лицам, принимающим решения в секторах народного хозяйства, бизнесе, при разработке мер по адаптации к изменению климата и смягчению их неблагоприятных последствий, при выработке и реализации единой государственной политики в области климата.

Руководитель Росгидромета 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 2024 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 двуокиси углерода и метана. Рассмотрены особенности климатических условий в северной полярной области и Северном Ледовитом океане. Добавлены сведения о наблюдавшихся в теплый период засухах. Данные приводятся для различных масштабов временного и пространственного осреднения (в целом за год и по сезонам) поля локальных значений и их региональные обобщения.

Для характеристики климатических изменений в Докладе приводятся временные ряды климатических переменных (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова, протяженность морского льда и др.) за достаточно длительный период времени (как правило, несколько десятилетий), заканчивающийся в 2024 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, квази-однородных климатических регионов: рисунки 3, 4.

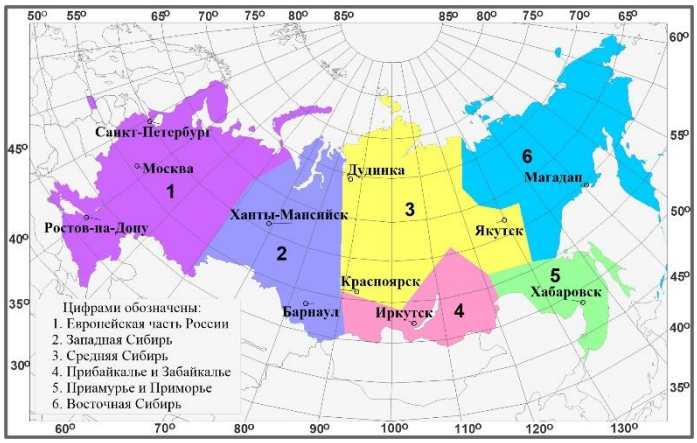

Рисунок 1 – Физико-географические регионы России (используются в разделах: «Температура воздуха», «Атмосферные осадки»).

Все оценки, приведенные в Докладе, получены с использованием данных гидрометеорологических наблюдений на станциях государственной наблюдательной сети Росгидромета (ссылки на списки используемых станций приведены в соответствующих разделах Доклада). Аномалии определены как отклонения наблюденных значений от «нормы», за которую принято многолетнее среднее за базовый период (в большинстве случаев в качестве базового используется период 1991-2020 гг.; в некоторых случаях, когда это было по тем или иным причинам нецелесообразно или невозможно, выбор базового периода специально оговорен в тексте). В качестве дополнительных характеристик аномалий используются показатели, основанные на функции распределения (вероятности непревышения, процентили) и порядковые статистики (ранги, то еть порядковые номера в упорядоченном ряду значений); периоды для оценки этих статистик специально оговариваются в каждом случае.

Рисунок 2 – Федеральные округа Российской Федерации.

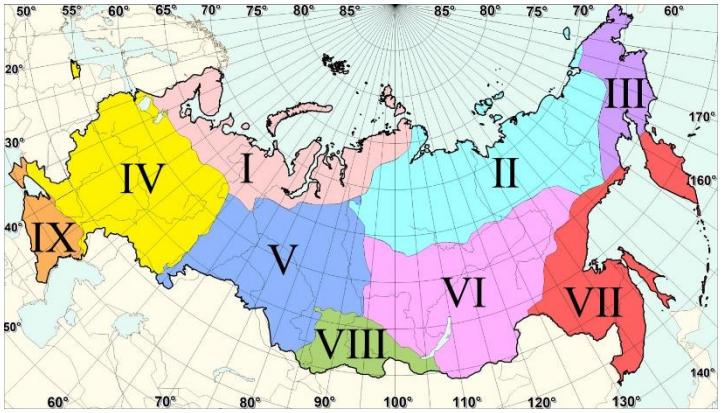

Рисунок 3 – Квази-однородные климатические регионы (используются в разделах: «Снежный покров», «Продолжительность солнечного сияния», «Режим приземного ветра»): **I** – Север ЕЧР и Западной Сибири, **II** – Северная часть Восточной Сибири и Якутии, **III** – Чукотка и север Камчатки, **IV** – Центр ЕЧР, **V** – Центр и юг Западной Сибири, **VI** – Центр и юг Восточной Сибири, **VII** – Дальний Восток, **VIII**– Алтай и Саяны, **IX**– Юг ЕЧР.

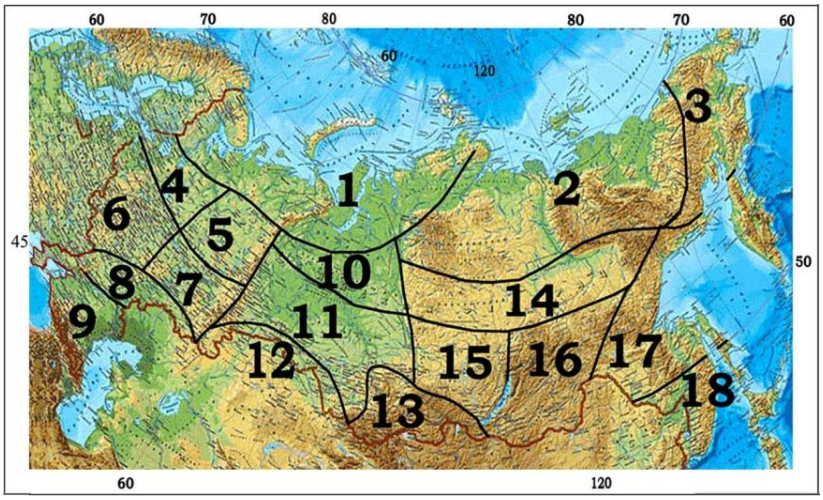

Рисунок 4 – Квази-однородные климатические регионы (используется в разделе «Гололедно-изморозевые отложения на территории России»): 1, 2, и 3— атлантическая, сибирская и тихоокеанская Арктика, соответственно; 4, 5, 6, 7, и 8— северо-запад, северо-восток, юго-запад. юго-восток и степная часть Восточно-Европейской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

Доклады за предыдущие годы представлены на Интернет-сайте Росгидромета http://www.meteorf.ru и ФГБУ «ИГКЭ»: http://climatechange.igce.ru. Дополнительная информация о состоянии климата на территории России и бюллетени оперативного мониторинга климата регулярно размещаются на веб–сайтах НИУ Росгидромета: ФГБУ «ИГКЭ» (http://www.igce.ru/climatechange/), 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 «ГГИ» (http://www.permafrost.su), ФГБУ «ЦАО» (http://www.cao-rhms.ru), и Североевразийского климатического центра (СЕАКЦ: http://seakc.meteoinfo.ru).

1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Данные. В разделе использованы данные о температуре приземного воздуха месячного разрешения на сети 702 метеорологических станций России, стран СНГ и Балтии (http://www.igce.ru/climatechange, архив Т3288), 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 1-4 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/climatechange. 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 процентиля (отрицательные экстремумы) и выше 95-го процентиля (положительные экстремумы); ниже будем ссылаться на них как на 5%-е и 95%-е экстремумы. Процентили для каждой станции рассчитаны по ряду 1936-2024 гг. Ранги приведены для ряда 1936-2024 гг.

Особенности температурного режима в 2024 г.

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

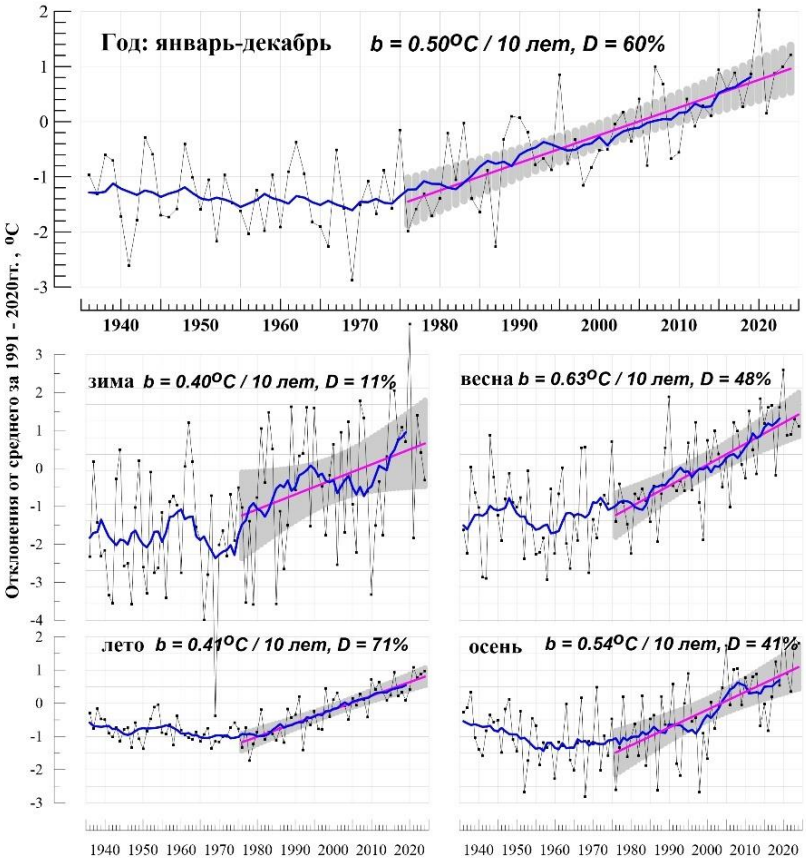

Рисунок 1.1 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха (°C), осредненные по территории России, 1936-2024 гг.
Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1991-2020 гг. Показаны также 11–летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2024 гг. с 95%-й доверительной полосой, b – коэффициент тренда (°C/10 лет), D (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию

В 2024 г. на территории России, ЕЧР, АЧР средние годовые температуры были на 1,21°C, 1,36°C, 1,16°C выше нормы — вторые величины в соответствующих рядах (рекордные значения температуры наблюдались в 2020 г. (аномалии +2,02°C, +1,74°C, +2,12°C). Осредненные по всем федеральным округам аномалии температуры среди пяти самых крупных в соответствующих рядах.

Очень тепло было летом (на 0,97°C выше нормы - вторая величина с 1936 г.), особенно тепло в АЧР: 0,78°C – вторая величина в ряду.

Теплой была и осень (на 1,80°C выше нормы - третья величина с 1936 г.);

очень тепло как в ЕЧР (аномалия +2,43°С – максимальная величина); так и в АЧР (+1,57°С – четвертая величина в ряду).

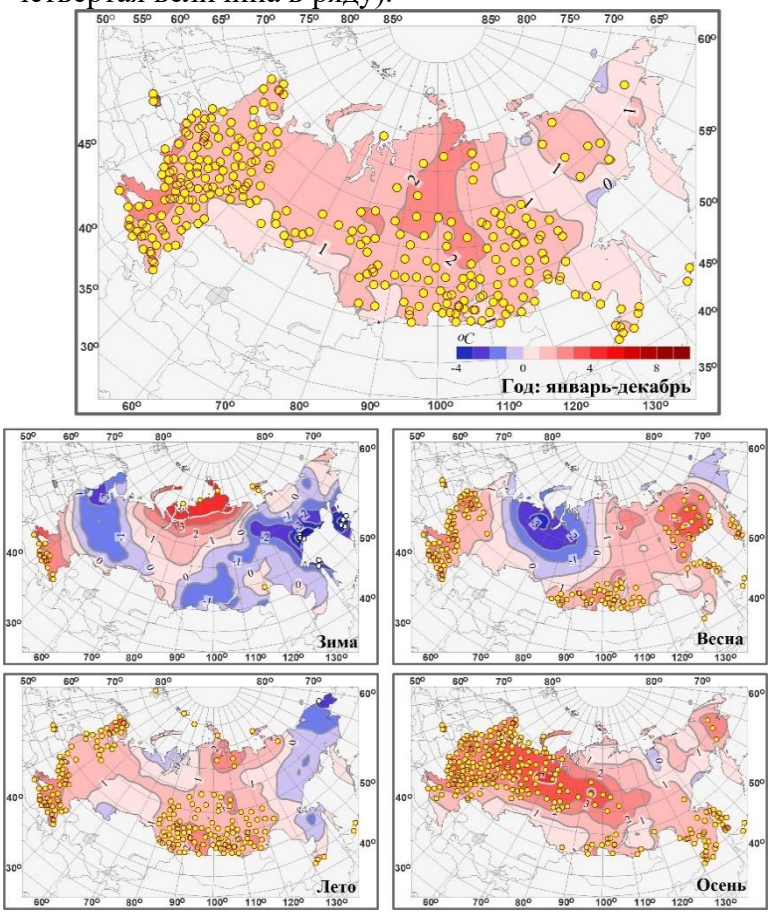

Рисунок 1.2 – Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2024 г. (отклонения от средних за 1991-2020 гг.) с указанием локализации 95%-х экстремумов (желтые кружки)

Зимой 2023/24 гг. Осредненная по территории РФ сезонная аномалия -0,31°С (ранг 37). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-западе, в центре и на юго-востоке ЕЧР, а также на юге СФО и большей части ДФО, на ряде станций на побережье Охотского моря отмечались 5%-е экстремумы. Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге ЕЧР (осредненная по СКФО аномалия: 2,39°С – четвертая величина в ряду), в центре и на севере Западной и Средней Сибири (в предгорьях Кавказа и на станциях побережья Карского моря фиксировались 95%-е экстремумы).

Декабрь 2023 г. На большей части территории РФ был холодным. Средняя по РФ аномалия составила -0,44°С. Температуры выше климатической нормы наблюдались только на юге ЕЧР (в предгорьях Кавказа отмечены 95%-е экстремумы), на севере Западной и Средней Сибири.

Январь. Осредненная в целом по России аномалия температуры составила -0,42°С. Температуры ниже климатической нормы наблюдались всюду в ЕЧР (-1,63°С) кроме юга, в Якутии, Хабаровском крае, на Камчатке, на Сахалине (на ряде станций Хабаровского отмечались 5%-е экстремумы холода, аномалии -2 - -8°С °С) (рисунок 1.3). На метеорологической станции Сусуман среднесуточная температура воздуха в редкие дни превышала норму по минимальной температуре. Особенно холодной выдалась первая половина второй декады, когда столбики термометров опускались

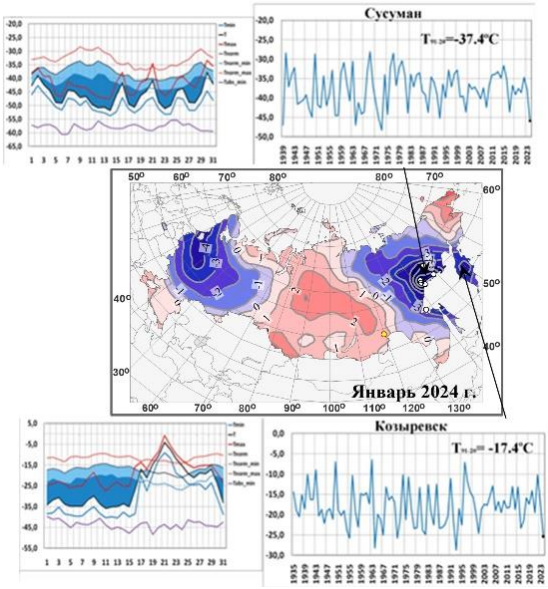

Рисунок 1.3 – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в январе 2024. На врезках ряды среднемесячной январской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в январе 2024 года на метеорологических станциях Сусумае и Козыревск в очаге отрицательных температурных аномалий

до -50…-54°С. В центральных районах Камчатского края температурную аномалию обусловила очень холодная первая половина месяца. На метеорологической станции Козыревск среднесуточная температура воздуха была значительно ниже нормы по минимальной температуре, а минимальные температуры близки к абсолютным минимумам. И только мощная, но кратковременная, волна тепла в начале третьей декады не позволила стать прошедшему январю самым холодным за период наблюдения на станции.

Температуры выше климатической нормы наблюдались в СФО и в Забайкалье (аномалии до +3°С), а также на Чукотке, в ЮФО, востоке СЗФО.

Февраль. Осредненная в целом по России аномалия температуры составила -0,08°С. Температуры ниже климатической нормы наблюдались в центре и на юго-востоке ЕЧР, на юге Западной и Средней Сибири, в центре Якутии, в Хабаровском крае, в Магаданской области, на Камчатке (аномалии на Камчатке до -7,7°С, на ряде станций Хабаровского края и Камчатки фиксировались 5%-е экстремумы). На метеорологической станции Козыревск (рисунок 1.4) очень холодными выдались первые дни месяца, когда минимальная температура вплотную приближалась к отметкам абсолютного минимума, и середина третьей декады, когда при антициклональном характере погоды наблюдалось сильное ночное выхолаживание.

Температуры выше климатической нормы наблюдались на западе и юге ЕЧР (осредненная по СКФО аномалия: 3,54°С – пятая величина в ряду, на многих станциях в предгорьях Кавказа фиксировались 95%-е экстремумы), на севере Западной и Средней Сибири (на станциях побережья Карского моря отмечены 95%-е экстремумы). Температурная аномалия обусловлена мощной волной тепла во второй половине месяца, когда среднесуточная температура воздуха превышала норму на 15-20°С.

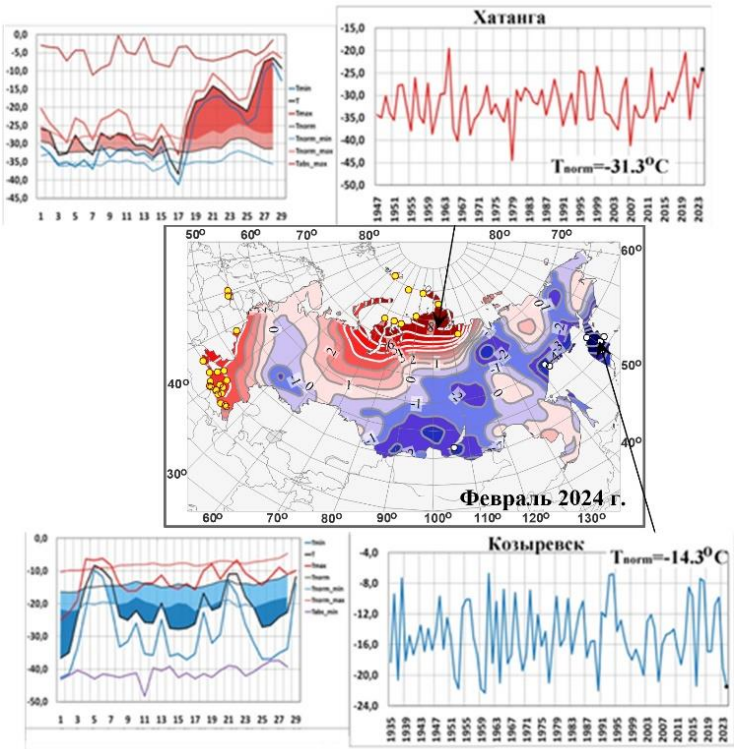

Рисунок 1.4 – Аномалии температуры воздуха в феврале 2024 г. На врезках ряды среднемесячной февральской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в феврале 2024 года: на метеостанции Хатанга в очаге максимальных температурных аномалий, на метеостанции Козыревск в очаге минимальных температурных аномалий

Весной 2024 года осредненная аномалия по РФ составила 0,84°С– 12-ая величина в ряду с 1936 года. Температуры выше климатической нормы наблюдались в ЕЧР всюду (кроме северо-востока), а в АЧР – восточнее течения Енисея. 95%- экстремумы на станциях отмечались в ЦФО (1,73°С – ранг 4), ЮФО (1,85°С – ранг 1) и СКФО (1,52°С – ранг 2), в районе Байкала, в Якутии, в Хабаровском крае, на Камчатке и на Сахалине (в среднем по ДФО аномалия составила 1,75°С - ранг 5).

Температуры ниже климатической нормы наблюдались от востока Кольского полуострова и Тиманского кряжа (на западе) до течения Енисея (на востоке) (аномалии до -3°С на севере Западной Сибири), а также на Чукотке (аномалии до -1°С).

В марте осредненная аномалия температуры в целом по РФ 1,35°С (ранг 14). Температуры выше климатической нормы наблюдались в ЕЧР (кроме части ПФО), на юге УФО и СФО, на большей части ДФО. 95%-е экстремумы фиксировались в центральных областях ЕЧР и в Хабаровском крае.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке ЕЧР, на севере УФО и СФО (кроме востока Таймыра), аномалии в районе Обской губы достигали -4,9°С.

Таблица 1.1 – Средние годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2023 г. ***vT*** – отклонения от средних за 1991-2020 гг.; ***s*** – среднее квадратическое отклонение за 1991-2020 гг. Красной заливкой выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранг 1, 2 или 3), розовой – имеющие ранг 4 или 5.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT, °C	*s, °C*	*vT, °C*	*s, °C*	*vT, °C*	s, °C	*vT, °C*	*s, °C*	*vT, °C*	*s, °C*
Россия	**1,21**	*0,75*	*-0,31*	*1,62*	0,84	*1,17*	0,97	*0,51*	**1,80**	*1,12*
Физико-географические регионы										
ЕЧР	**1,36**	*0,77*	*-0,13*	*2,07*	0,70	*1,08*	1,45	*1,00*	**2,43**	*1,31*
АЧР	**1,16**	*0,80*	*-0,38*	*1,65*	0,90	*1,24*	**0,78**	*0,48*	**1,57**	*1,15*
Западная Сибирь	**1,29**	*1,05*	*0,79*	*2,77*	0,70	*1,93*	**1,00**	*0,96*	**2,16**	*1,60*
Средняя Сибирь	***1,65***	*1,09*	*-0,20*	*2,57*	1,04	*1,69*	**1,38**	*0,67*	2,03	*1,53*
Прибайкалье и Забайкалье	***1,35***	*0,75*	*-0,70*	*1,97*	**1,60**	1,31	**1,78**	*0,62*	1,17	*1,13*
Приамурье и Приморье	*0,64*	*0,51*	*-0,51*	*1,37*	1,13)	*1,10*	0,08	*0,62*	1,38	*0,94*
Восточная Сибирь	*0,67*	*0,88*	*-1,41*	*1,41*	**1,72**	1,45	-0,23	*0,60*	0,86	*1,37*
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	**1,31**	*0,98*	*-0,62*	*2,59*	-0,26	*1,45*	**1,48**	*0,81*	**3,18**	*1,60*
Центральный	**1,75**	*0,80*	*-0,13*	*2,22*	**1,73**	1,06	1,84	*1,13*	**2,83**	*1,44*
Приволжский	**0,98**	*0,80*	*-0,78*	*2,40*	0,78	*1,35*	0,89	*1,16*	**1,82**	*1,41*
Южный	**1,86**	*0,89*	*2,22*	*1,82*	**1,85**	1,02	**2,07**	*1,23*	1,67	1,38
Северо-Кавказский	**1,57**	*0,83*	**2,39**	1,46	**1,52**	0,96	**1,73**	*1,05*	0,78	*1,26*
Уральский	**1,34**	*1,22*	*0,96*	*2,95*	-1,35	*2,15*	0,63	*1,13*	**2,82**	*1,83*
Сибирский	**1,54**	*1,00*	*0,00*	*2,73*	0,76	*1,62*	**1,67**	*0,63*	1,73	*1,48*
Дальневосточный	**0,92**	*0,71*	*-0,88*	*1,14*	**1,52**	1,26	0,38	*0,51*	1,16	*1,03*

Апрель. Осредненная по РФ аномалия температуры 1,50°С (ранг 8). Температуры выше климатической нормы наблюдались в центре и на юге ЕЧР, а также на в АЧР (кроме Западно-Сибирской равнины и Таймырского полуострова, а также Чукотского АО). 95%-е экстремумы отмечались на многих станциях центра и юга ЕЧР и на многих станциях побережья Охотского и Японского морей. Осредненные аномалии температуры по ЦФО (4,24°С), ЮФО (5,69°С), СКФО (5,04°С) – максимальные величины в соответствующих рядах, а по ПФО (4,93°С) – вторая -величина в ряду.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в ЕЧР в СЗФО (-0,75°С), а в АЧР: на Западно-Сибирской равнине и на Таймыре, а также на севере Чукотки, аномалии на станциях моря Баренцево до -4,3°С.

Май. Осредненная по РФ аномалия температуры составила -0,31°С (ранг 33). Температуры ниже климатической нормы наблюдались всюду в ЕЧР (кроме Ленинградской области и Карелии) и в Западной Сибири (аномалии до -5,4°С) - на востоке ЕЧР и на Урале на станциях фиксировались 5%-е экстремумы холода. Температуры ниже нормы наблюдались также на Чукотке и в Приморье (аномалии до -2,1°С).

Температуры выше климатической нормы наблюдались в АЧР: на Среднесибирском плоскогорье и восточнее (исключая Приморье и Чукотку), 95%-е экстремумы отмечались повсеместно, осредненная по ДФО аномалия температуры составила 1,06°С (ранг 5).

Летом осредненные по РФ в целом и по АЧР аномалии температуры составили 0,97°С и 0,78°С – вторые величины в соответствующих рядах (максимальные значения

аномалий наблюдались по РФ в целом 2021 г.: +1,08°С,а в АЧР в 2023 г.: +1,03°С). Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме Восточной Сибири). 95%-е экстремумы отмечены на северо-западе и юге ЕЧР (в СЗФО аномалия температуры составила 1,48°С (ранг 5) в ЮФО: 2,07°С (ранг 2), в СКФО: 1,73°С (ранг 3)), в СФО (1,67°С - ранг 1) и в Забайкалье.

Температуры ниже нормы отмечались на востоке ДФО (аномалии на Чукотке достигали -2,4°С), в Южном Урале и на побережье Карского моря.

Июнь. Осредненная по РФ аномалия температуры составила 0,92°С – 3-ья величина в ряду, а по ЕЧР 2,06°С – четвертая в ряду. На большей части страны температуры выше климатической нормы. На ЕЧР особенно тепло (95%-е экстремумы) в СКФО (2,49°С – ранг 2), ЮФО (2,51°С – ранг 4), а в АЧР – в Саянах и в Якутии.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в Приамурье и Приморье (осредненная по региону аномалия составила -1,33°С), в Хабаровском крае и на Чукотке - на ряде станций в этих районах фиксировались температуры ниже 5-го процентиля, а также на Северном Урале и в районе Обской губы.

Июль. Осредненные по РФ и по АЧР аномалии температуры составили 1,20°С и 1,14°С –максимальные величины в соответствующих рядах. Температуры выше нормы наблюдались на большей части страны, кроме Восточной Сибири, Южного Урала, прибрежных территорий Ямало-Ненецкого АО, дельты Амура. 95%-е экстремумы фиксировались на юге ЕЧР: в ЮФО (2,68°С– ранг 2) и СКФО (1,68°С– ранг 5), а в АЧР - в южных районах Красноярского края и в Байкальском регионе (осредненные по регионам: Средняя Сибирь и Прибайкалье и Забайкалье, и по СФО аномалии температуры составили +1,74°С, +2,70°С и +2,01°С – максимальная, максимальная и вторая величины в соответствующих рядах).

Температуры ниже климатической нормы наблюдались, в основном, в Восточной Сибири (аномалии на станциях до -2,4°С).

Август. Осредненная по РФ аномалии температуры составила 0,77°С – восьмая величина в ряду, а по АЧР (0,72°С – ранг 5). Температуры выше нормы наблюдались на большей части страны (кроме северной половины ДФО и Южного Урала). Очень тепло (95%-е экстремумы на станциях) наблюдались на юге СФО (+1,93°С – ранг 2) и в Забайкалье. В ЕЧР экстремально тепло было на Кольском полуострове.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в Восточной Сибири (-1,06°С) и на Южном Урале.

Осень. Осредненная по РФ аномалия температуры 1,80°С – третья величина в ряду. Экстремальные условия (аномалии выше 1°С, на станциях фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдались всюду в ЕЧР (2,43°С – максимальная величина в ряду), в Западной Сибири (2,16°С - ранг 3), в центре Средней Сибири, в Саянах, в Приморье.

Небольшие отрицательные аномалии наблюдались лишь на побережье моря Лаптевых в районе дельты Лены.

Сентябрь. Осредненная по РФ аномалия температуры 1,35°С - третья величина в ряду, а по ЕЧР 3,54°С – рекордное значение. Температуры выше климатической нормы с 95% экстремумами на станциях наблюдались от западных границ до течения Оби (ранги осредненных аномалий температуры по всем федеральным округам ЕЧР (кроме СКФО) от одного до четырех. В центре и на севере АЧР аномалии температуры положительные (не выше 2°С). Отрицательные аномалии температуры наблюдались на юге Красноярского края, в Хабаровском крае, в нижнем течении Амура (аномалии до -1,5°С).

Октябрь. Осредненная по РФ аномалия температуры +0,92°С – тринадцатая величина в ряду. Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме юга УФО, севера Средней Сибири, Забайкалья). Особенно тепло (на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) в центре и на юго-западе ЕЧР, в Саянах, в Приморье, на северо-востоке страны.

Температуры ниже нормы наблюдались на севере Средней Сибири (аномалии на станциях до -2,1ºС) Южном Урале, в Забайкалье.

Ноябрь. Осредненная по территории России аномалия 3,13ºС – третья величина в ряду (после рекордно теплого ноября 2013 г. (4,05ºС) и ноября 2020 г.), а по АЧР 3,36ºС – ранг 3. Температуры выше климатической нормы наблюдались на большей части страны (кроме бассейнов рек Яна и Колыма, и Камчатки). 95%-е экстремумы наблюдались повсеместно в АЧР от течения Оби до течения Лены и Алдана.

Температуры ниже нормы наблюдались в бассейнах рек Яна и Колыма, на Камчатке.

Декабрь 2024 г. Осредненные по территории России и АЧР аномалии температуры в декабре 2024 г.: +4,22ºС и +4,71ºС – максимальная и вторая величины в ранжированных по убыванию рядах с 1901 г. В северных районах Западной Сибири и Красноярского края аномалии среднесуточной температуры превышали 10°С. На метеорологической станции Толька (Ямало-Ненецкий АО) среднесуточная температура воздуха в течение всего месяца на 5-10°С превышала климатическую норму, 4 декабря зафиксирован новый абсолютный максимум этого дня (рисунок 1.5).

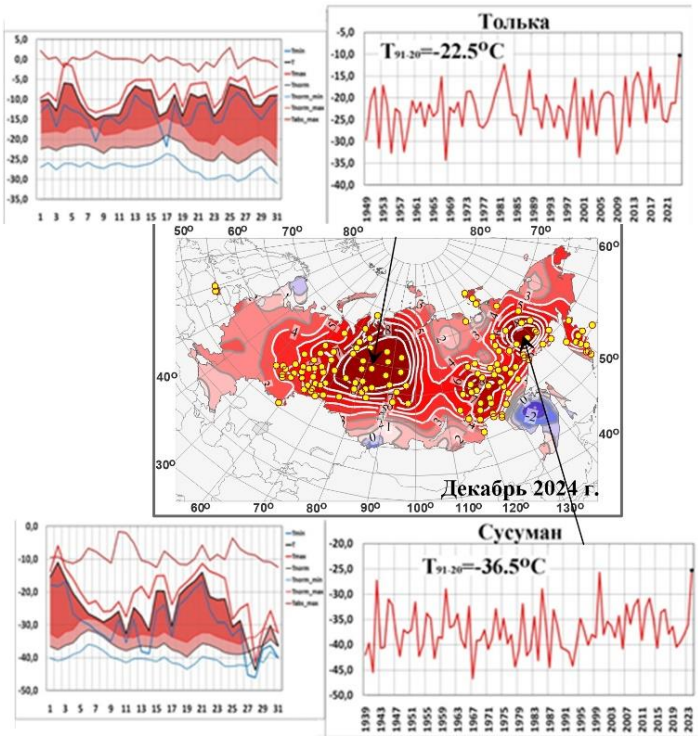

Рисунок 1.5 – Аномалии температуры воздуха в декабре 2024 г. На врезках ряды среднемесячной декабрьской температуры воздуха и среднесуточной температуры воздуха в декабре 2024 года: на метеостанциях Толька и Сусуман в очагах максимальных температурных аномалий.

Аномально теплая погода наблюдалась на большей части ДФО, что связано со значительным ослаблением Сибирского антициклона. В Магаданской области аномалии среднесуточной составили 8-11°С. На метеорологической станции Сусуман декабрь 2024 года стал самым теплым с 1939 года. Наблюдались две мощные волны тепла в начале первой и третьей декады, 4 декабря зафиксирован новый абсолютный максимум этого дня. Среднесуточная температура воздуха единственный раз, 28 декабря, опустилась ниже климатической нормы.

Тенденции изменений температуры воздуха

Региональные оценки трендов, полученные по временным рядам пространственно осредненных аномалий температуры за 1976-2024 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 +0,50ºС/10 лет (вклад в общую изменчивость 60%). Наиболее быстрый рост

наблюдается для весенних температур (0,63°С/10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0,41°С/10 лет: описывает 71% суммарной дисперсии). Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: (0,73°С /10 лет для ЮФО). Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири и на востоке Якутии, где зимой все еще наблюдаются небольшие области убывания температуры (до – 0,1°С/10 лет на юге Сибири и до – 0,3°С/10 лет на востоке Якутии). Потепление зим за период 1994-2010 гг. наблюдалось в основном в арктической зоне России; на остальной территории зимние температуры убывали, слабо на ЕЧР (до -0,2ºС/10 лет) и значительно в АЧР, до -2ºС/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.

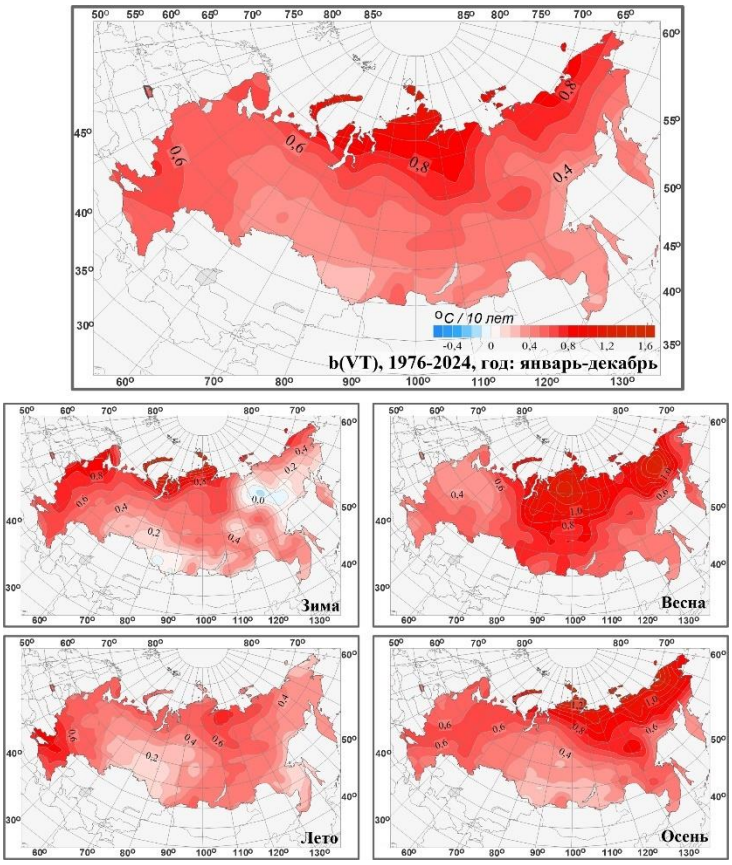

Рисунок 1.6 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2024 гг. (ºС/10 лет)

Наибольшая скорость роста среднегодовой температуры отмечается на побережье Северного Ледовитого океана, особенно в АЧР (+0,8ºС/10 лет - +1,1ºС/10 лет на Таймыре и на побережье Восточно-Сибирского моря, до +1,4ºС/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 55ºс. ш. и вдоль побережья моря Лаптевых.

Кроме того, необходимо отметить следующие особенности: весной интенсивное потепление наблюдается в Западной (+0,72ºС/10 лет) и Средней Сибири (+0,79ºС/10 лет); а также в Восточной Сибири весной (+0,75ºС/10 лет) и осенью (+0,75ºС/10 лет); летом в ЮФО, ЦФО и СКФО (+0,73ºС/10 лет, +0,60ºС/10 лет и +0,62ºС/10 лет).

Осенью незначимые тренды (на 1% уровне) отмечаются в Западной Сибири (в СФО).

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 +0,15ºС/10 лет и незначим даже на уровне 5%, а для 1976-2020 увеличился до +0,48ºС/10 лет и стал формально значим благодаря выдающейся зиме 2019/20 гг. – на 1,5°С выше предыдущего максимума температуры зимой 2014/15 гг. За период 1976-2024 оценки тренда зимней температуры несколько уменьшились (в основном из-за достаточно холодных условий зимы 2020/21 и зимы 2023/24 на значительной части страны), но тренд остается значимым на уровне 5%.

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

Таблица 1.2 – Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за год и по сезонам по территории России, её регионов и федеральных округов за 1976-2024 гг.: *b* – коэффициент линейного тренда (°С/10 лет), *D* – вклад тренда в дисперсию (%); жирным шрифтом выделены тренды, значимые на 1%-м уровне

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*
Россия										
Россия	**0,50**	60	0,40	11	**0,63**	48	**0,41**	71	**0,54**	41
Физико-географические регионы										
ЕЧР	**0,55**	57	**0,63**	16	**0,45**	28	**0,52**	43	**0,57**	37
АЧР	**0,49**	55	0,31	7	**0,70**	47	**0,37**	71	**0,53**	35
Западная Сибирь	**0,44**	33	0,33	3	**0,72**	31	**0,28**	19	0,39	12
Средняя Сибирь	**0,57**	44	0,40	5	**0,79**	40	**0,47**	55	**0,55**	20
Прибайкалье и Забайкалье	**0,41**	43	0,28	5	**0,61**	35	**0,45**	51	**0,31**	14
Приамурье и Приморье	**0,37**	53	0,33	10	**0,44**	30	**0,25**	26	**0,47**	36
Восточная Сибирь	**0,54**	61	0,22	6	**0,75**	45	**0,39**	53	**0,75**	51
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	**0,57**	47	**0,74**	14	**0,44**	19	**0,48**	38	**0,59**	30
Центральный	**0,59**	55	**0,72**	17	**0,44**	22	**0,60**	39	**0,59**	35
Приволжский	0,49	47	0,46	7	**0,48**	22	**0,43**	22	**0,56**	29
Южный	**0,60**	58	**0,62**	21	**0,48**	28	**0,73**	56	**0,54**	31
Северо-Кавказский	**0,51**	60	**0,54**	28	**0,40**	32	**0,62**	59	**0,47**	29
Уральский	0,51	35	0,46	5	**0,71**	25	**0,33**	18	**0,48**	15
Сибирский	0,45	34	0,30	3	**0,76**	40	**0,34**	43	0,34	10
Дальневосточный	0,50	66	0,28	12	**0,66**	46	**0,40**	65	**0,63**	52

Аномалии температуры и тенденции изменений температурного режима районов Северного Кавказа

Для районов Северного Кавказа был проведен анализ аномалий (относительно 1991-2020 гг.) средней сезонной (годовой) температуры, сезонного (годового) индекса максимальных и минимальных температур в 2024 году, а также тенденции их изменений с 1976 по 2023 гг. (таблица 1.3). В 2024 году на всех станциях наблюдались положительные аномалии сезонных и годовой средних температур, индексов максимальных и минимальных температур несмотря на то, что для всех климатических зон новые климатические нормы (1991-2020 гг.) превышали старые нормы (1961-1990 гг.).

В весенний и летний сезоны на всех метеостанциях наблюдались положительные аномалии средних температур с превышением межгодовой изменчивости от 1σ до 1,69σ (розовые ячейки), а на станции Прохладная (степная зона) имело превышение от 1,69σ до 3 σ (оранжевые ячейки). Положительные аномалии средних зимних температур наблюдались на станциях Теберда (горная), Нальчик (предгорная) и Прохладная с превышением межгодовой изменчивости от 1σ до 1,69σ.

В зимний сезон положительные аномалии максимальных температур наблюдались на станциях Нальчик и Прохладная с превышением межгодовой изменчивости от 1,69σ до 3σ. В весенний сезон превышение от 1σ до 1,69σ наблюдалось на станции Теберда, а в летний сезон и осенний сезоны на метеорологической станции Прохладная. Положительные аномалии минимальных температур, превышающие стандартное отклонение, не наблюдались ни на одной из станций. С 1976 по 2023 гг. устойчивым ростом характеризуются все среднесезонные и среднегодовые температуры во всех климатических зонах, за исключением высокогорной станции Терскол, где устойчивые положительные тренды средних температур имели место только в летний сезон и в году в целом (таблица 1.4). Статистически значимо растут как минимальные, так и максимальные годовые

температуры в горных, предгорных и степных районах. Для всех климатических зон характерен устойчивый рост минимальных весенних температур со скоростью от 0,9°С /10 лет (*D* =12%, Прохладная) до 1,2°С/10 лет (*D* =17%, Теберда). Для абсолютных максимумов летних температур наибольший и значимый рост имел место в предгорной (Нальчик) и степной (Прохладная) зонах со значениями 0,7°С/10 лет (*D*= 30%) и 0,92°С/10 лет (*D*= 38%). В осенний период наблюдался значимый рост максимальных температур на 0,7°С/10 лет (*D*= 20%) в Нальчике и на 0,85°С/10 лет (*D*= 23%) в Прохладной.

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 2024 г.: *νT* – отклонения от нормы (средние за 1991-2020 гг.); σ – стандартное отклонение за 1991-2023 гг., розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ, оранжевым – более 1,69 σ

Название станции и высота н.у.м. (м)	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	***VT*, °C**	**σ, °C**	***VT*, °C**	**σ, °C**	***VT*, °C**	**σ, °C**	***VT*, °C**	**σ, °C**	***VT*, °C**	**σ, °C**
	Средние температуры									
Ахты (1281)	**0,9**	**0,8**	1,4	1,7	1,1	1,2	**1,3**	**1,1**	0,6	1,2
Теберда (1335)	**1,0**	**0,8**	**2,9**	**1,9**	**1,5**	**1,0**	**1,1**	**0,9**	0,0	1,2
Терскол (2144)	**1,0**	**0,7**	1,6	1,7	**1,7**	**1,1**	**1,0**	**0,8**	0,0	1,1
Нальчик (500)	**1,5**	**0,8**	**2,7**	**1,7**	**1,5**	**1,1**	**2,0**	**1,0**	0,5	1,3
Прохладная (198)	**1,7**	**0,9**	**1,9**	**1,7**	**1,6**	**1,1**	**2,4**	**1,1**	1,3	1,3
	Абсолютный максимум температур									
Ахты	1,0	2,6	0,2	2,4	0,9	2,3	0,5	2,5	2,9	3,1
Теберда	1,2	2,1	2,4	2,6	**2,9**	**2,0**	1,2	2,1	0,5	2,6
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	1,3	1,9	**4,7**	**2,7**	1,7	2,1	1,7	1,9	-0,4	2,3
Прохладная	**2,5**	**2,0**	**5,5**	**2,9**	2,4	2,4	**3,0**	**2,1**	**2,6**	**2,5**
	Абсолютный минимум температур									
Ахты	0,9	2,6	2,2	2,7	1,1	2,6	2,0	2,4	-0,1	3,2
Теберда	1,4	3,3	1,5	3,2	2,1	3,6	1,0	1,7	1,0	3,8
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	2,3	3,0	4,4	4,5	1,2	8,8	3,1	7,6	2,0	4,6
Прохладная	1,7	5,1	1,7	5,2	1,7	3,1	1,8	2,9	1,0	3,6

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

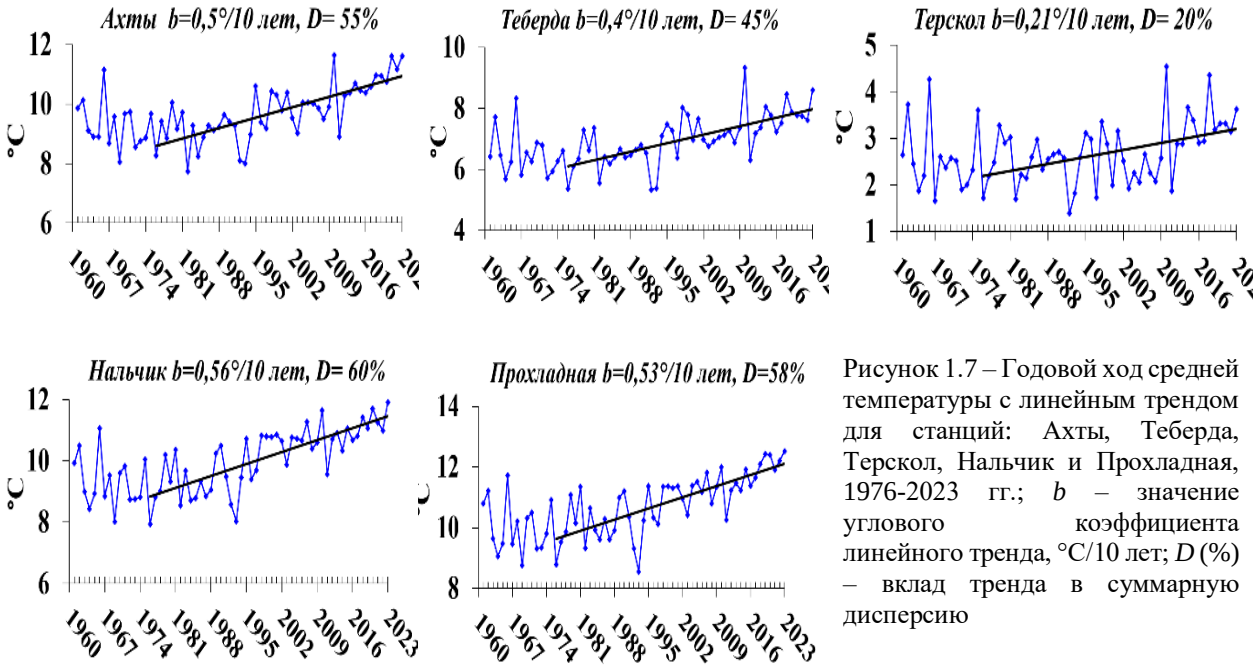

Рисунок 1.7 – Годовой ход средней температуры с линейным трендом для станций: Ахты, Теберда, Терскол, Нальчик и Прохладная, 1976-2023 гг.; *b* – значение углового коэффициента линейного тренда, °С/10 лет; *D* (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию

Таблица 1.4 – Характеристики линейного тренда ***b*** (***D***) за 1976-2023 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 (°С /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***	0,50	**55**	0,40	**45**	0,21	**20**	0,56	**60**	0,53	**58**
	Min	0,80	**16**	0,60	**8**	-	-	0,91	**8**	0,98	**8**
	Max	0,60	**11**	0,40	**7**	-	-	0,73	**30**	0,92	**39**
Зима	***T***	0,60	**25**	0,44	**13**	0,10	2	0,60	**25**	0,60	**21**
	Min	0,53	**7**	0,50	**7**	-	-	0,80	6	0,70	4
	Max	0,50	**9**	0,20	2	-	-	0,40	4	0,70	**9**
Весна	***T***	0,50	**22**	0,30	**15**	0,15	4	0,50	**30**	0,50	**31**
	Min	1,00	**16**	1,20	**17**	-	-	1,10	**16**	0,90	**12**
	Max	0,40	6	0,30	5	-	-	0,50	**8**	0,70	**16**
Лето	***T***	0,60	**53**	0,52	**60**	0,44	**48**	0,70	**60**	0,70	**62**
	Min	3,00	4	0,70	**31**	-	-	0,60	**17**	0,63	**10**
	Max	0,50	**7**	0,31	4	-	-	0,70	**30**	0,92	**38**
Осень	***T***	0,50	**21**	0,4	**30**	0,13	3	0,50	**24**	0,40	**21**
	Min	0,30	2	1,20	**18**	-	-	0,30	2	0,20	1
	Max	0,20	2	0,30	3	-	-	0,70	**20**	0,80	**23**

Примечание: жирным выделены статистически значимые тренды

С 1976 года рост среднегодовых температур для всех станций остается значительным с высоким вкладом в суммарную дисперсию: в Ахты на 0,5°С/10лет (*D*=55%), в Теберде на 0,4°С/10лет (*D*=45%)), в Терсколе скорость роста среднегодовой температуры увеличилась до 0,21°С/10лет и достигла значимого уровня *D*=20 % (рисунок 1.7).

Максимальные скорости роста среднегодовой температуры, также как в предыдущие годы, имели место в предгорной (0,56°С/10лет, *D*=60%) и степной (0,53°С/10лет, *D*=58%) зонах.

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

Особенности режима атмосферных осадков в 2024 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 1976-2024 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 ***2024 г.*** годовая сумма осадков по РФ составила 101% нормы (ранг 23-28), а по АЧР 106% нормы (ранг 4-6). Избыток осадков наблюдался на большей части АЧР, особенно в СФО: выпало 114% годовой нормы – максимальная величина в ряду. В ЕЧР преобладал дефицит осадков, особенно сильный в ЮФО: 74% нормы – второй самый «сухой» год (минимальное количество осадков наблюдалось в 2020 г. (70% нормы). Следует отметить «снежную» зиму в ЕЧР (124% - ранг 3).

Зимой 2023/24 гг. отмечен заметный избыток осадков: 111% нормы, ранг 7. В ЕЧР осадков было значительно выше нормы (124%, ранг 3), больше всего осадков выпало в ЦФО (146% - ранг 2). Меньше всего осадков зимой выпало в ДФО (86% нормы), особенно сильный дефицит на Чукотке, на Камчатке, в Приморье.

Декабрь 2023 г. Осредненные по РФ осадки 120% 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 северо-востоке ЕЧР, севере Западной Сибири, на Среднесибирском плоскогорье, на Чукотке.

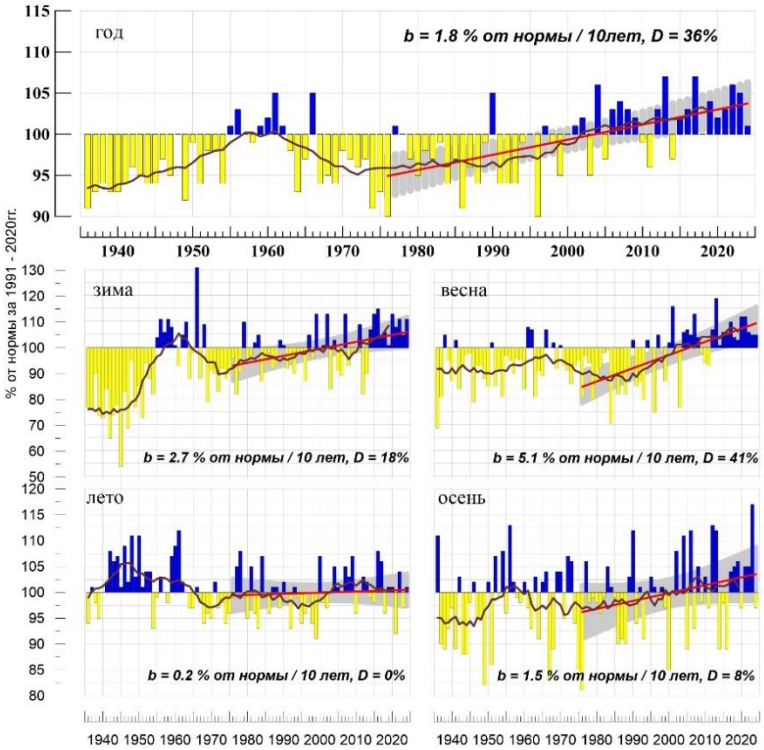

Рисунок 2.1 – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (% от нормы от нормы 1991-2020 гг.), осредненные по территории России, 1936-2024 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976-2024 гг.; *b –коэффициент тренда (% от нормы /10 лет), D – вклад тренда в суммарную дисперсию (%)*

Январь. Осредненные по РФ осадки: 107% нормы. Избыток осадков (более 120%) наблюдался на юге ЕЧР, на юге Западной и Средней Сибири (на Ишимской равнине и Барабинской низменности), на Алтае, в Чукотском АО.

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на Таймыре, на Северо-Сибирской низменности, в Хабаровском крае, в дельте Амура, на Камчатке и на Сахалине, а также в районе Байкала (на ряде станций отмечались 5%-е экстремумы осадков). Небольшой дефицит осадков наблюдался на севере ЕЧР.

Февраль. Осредненные по РФ осадки 103% нормы. Избыток осадков (более 120%) наблюдался на западе и в центре ЕЧР, на юге Западной Сибири, на Алтае, в среднем и нижнем течении Амура, а также на востоке Якутии.

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на северо-востоке ЕЧР, на севере Западной Сибири, в районе Байкала, на севере ДФО (исключая восток Якутии).

Весна 2024. В целом за сезон осредненные по территории РФ осадки составили 105% нормы, а по АЧР 116% нормы (ранг 3). Избыток осадков наблюдался севере ЕЧР и на большей части АЧР (кроме прибрежной полосы от Карского до Восточно-Сибирского моря и большей части Чукотки, а также небольших районов в СФО и ДФО, на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы, осредненные по СФО осадки 123% нормы (ранг 5).

Сильный дефицит осадков (менее 80% нормы) отмечался на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 38% нормы - минимальное значение в ряду). Небольшой дефицит осадков наблюдался в прибрежной полосе от Карского до Восточно-Сибирского моря и большей части Чукотки.

Март. Осредненные по РФ осадки 102% нормы. Избыток осадков наблюдался в широкой полосе от Ладожского озера (на западе) до Охотского моря (на востоке), на ряде станций севера ЕЧР, центра АЧР фиксировались 95%-е экстремумы осадков.

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 40% нормы – второй самый «сухой» март, на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы). Дефицит осадков наблюдался также на севере страны – от Новой Земли (на западе) до Анадырского залива (на востоке), а также в Саянах и в Забайкалье.

Апрель. Осредненные по РФ осадки 128% нормы – вторая величина в ряду, а по АЧР 132% (ранг 4). Избыток осадков (более 120% нормы, наблюдался в центре и на севере ЕЧР (кроме Новой Земли), на большей части АЧР (кроме некоторых районов СФО и ДФО). 95%- е экстремумы фиксировались на многих станциях СЗФО (194% - ранг 1), на ряде станций СФО (127% - ранг 4) и в Приамурье.

В Архангельске и Онеге месячная сумма осадков стала рекордной за более чем столетний период наблюдений на станциях (рисунок 2.3), без осадков было всего 6 и 5 дней соответственно.

Фиксировались новые рекорды суточных сумм осадков 4 апреля в Архангельске и 8 апреля в Онеге.

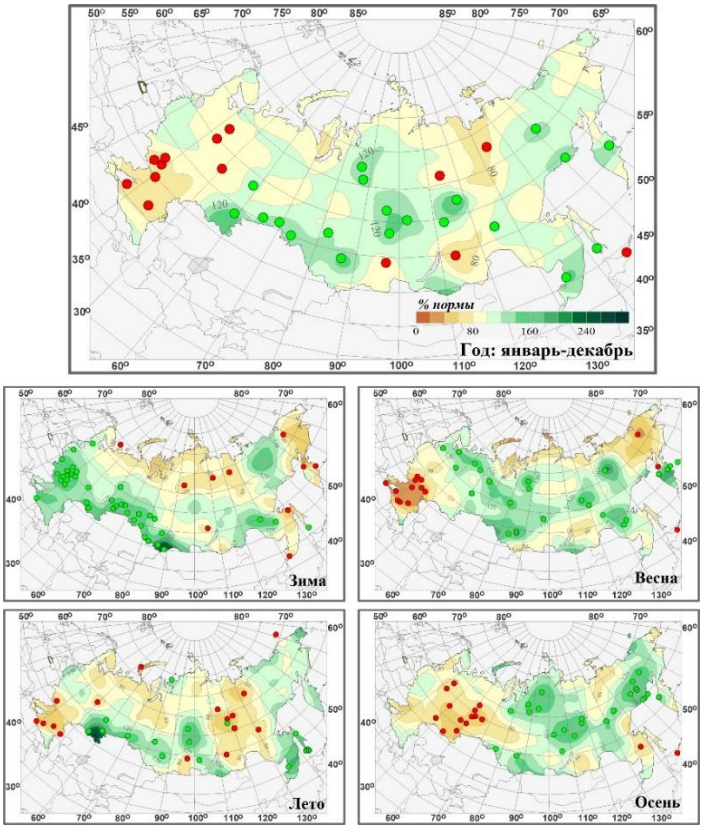

Рисунок 2.2 – Аномалии осадков на территории России в 2024 г., с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки)

На востоке Забайкальского края и в Амурской области (выпало 280-360% месячной нормы). Особенно дождливой выдалась вторая и начало третьей декады. На метеорологической станции Февральск 15 и 16 апреля фиксировались новые рекорды суточных сумм осадков, 6 и 19 апреля суточные суммы осадков были близки к рекордным.

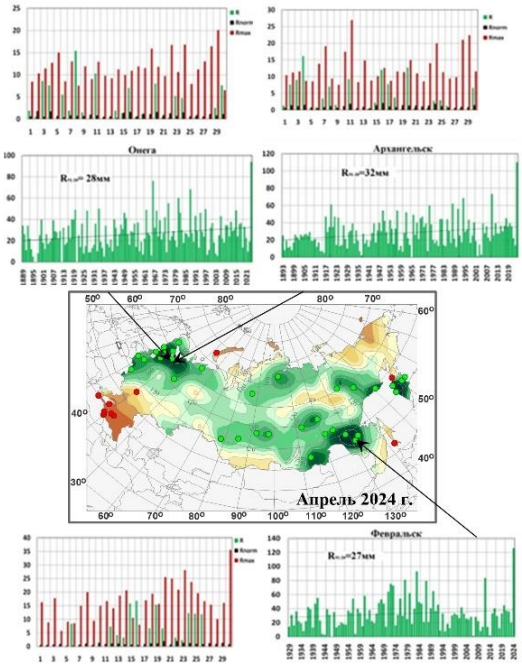

Рисунок 2.3 – Аномалии осадков в апреле 2024 г. На врезках ряды месячных и суточных сумм осадков на метеорологических станциях Архангельск, Онега, Февральск в зонах значительного переувлажнения

Сильный дефицит осадков наблюдался на юге ЕЧР: осредненные осадки по ЮФО (27% нормы) и СКФО (44%) – минимальные величины в рядах. Небольшой дефицит осадков наблюдался на побережье Карского моря, на северо-востоке страны восточнее течения р. Яна, на Приленском плато, в Западных Саянах, в Приморье и на Сахалине.

Май. Осредненные по РФ осадки: 91% нормы, а по ЕЧР 66% нормы (среди шести самых «сухих»). Сильный дефицит осадков (40-80% нормы) наблюдался в СЗФО (62% - среди семи самых «сухих», на многих станциях 5%-е экстремумы), в ЮФО (44% - среди восьми самых «сухих»). В АЧР дефицит осадков наблюдался вдоль побережья Северного Ледовитого океана, в Чукотском АО, в Забайкалье.

Избыток осадков наблюдался в Западной Сибири (131% нормы), в Якутии, на Камчатке.

Лето. В целом по РФ (таблица 2.1) выпало 101% нормы осадков. Избыток осадков наблюдался в Среднем Поволжье, на юге Уральского, в центре и на юге Сибирского ФО (кроме Саян), на востоке ДФО. Сильный дефицит осадков (на ряде станциях осуществились 95%-е экстремумы) наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО выпало лишь 61% сезонной нормы – среди шести самых «сухих» летних сезонов), на западе ДФО.

Таблица 2.1 – Годовые и сезонные суммы осадков (в % от нормы 1991-2020 гг.) для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2023 г. Зеленым цветом выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранги 1-3), светло-зеленым цветом – попавшие в число пяти наибольших (ранг 4 или 5), желтым – в число трех наименьших – в ранжированных по убыванию рядах с 1936 г. (ранги 87-89)

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	101	111	105	*101*	97
Физико-географические регионы					
Европейская часть России	93	**124**	86	95	82
Азиатская часть России	**106**	101	**116**	103	105
Западная Сибирь	108	122	**128**	108	91
Средняя Сибирь	**111**	98	**119**	98	**125**
Прибайкалье и Забайкалье	97	105	98	94	106
Приамурье и Приморье	105	88	106	113	94
Восточная Сибирь	101	76	116	100	106
Федеральные округа РФ					
Северо-Западный	97	100	114	90	88
Центральный	92	**146**	75	100	83
Приволжский	96	127	88	112	69
Южный	**74**	139	**38**	61	83
Северо-Кавказский	84	152	60	75	100
Уральский	103	113	119	103	84
Сибирский	**114**	111	**123**	113	**113**
Дальневосточный	101	86	110	99	105

Июнь. Осредненные осадки по РФ – 101% нормы. Избыток осадков наблюдался в центре и на востоке ЕЧР (в ЦФО выпало 149% нормы – ранг 3), на Таймыре, в районе Байкала, вдоль побережья Охотского и Японского морей (на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы).

Дефицит осадков (менее 80%) наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО (64%) и СКФО (71% нормы), в СФО и на западе ДФО (в регионе Средняя Сибирь выпало 72% нормы - четвертый самый «сухой» июнь в ряду), в Чукотском АО - на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы.

Июль. Осредненные осадки по РФ – 106% нормы. Значительный избыток осадков (с 95%-ми экстремумами на ряде станций) наблюдался на юге УФО и СФО (137% нормы – ранг 3), на востоке ДФО. Избыток осадков наблюдался также на западе ЕЧР, в районе Обской губы.

Дефицит осадков наблюдался на на большей части ЕЧР (в ЮФО выпало лишь 65% нормы).

Август. В августе осредненные осадки по РФ составили 97% нормы. Дефицит осадков наблюдался на большей части ЕЧР (79%), особенно в СЗФО: выпало 64% нормы и в ЮФО: 50% – в обоих регионах выпавшие осадки среди десяти самых «сухих». В АЧР дефицит осадков наблюдался в прибрежных территориях Карского моря, в Саянах, в бассейне реки Лена.

Избыток осадков наблюдался в ПФО (121%), – в Западной Сибири (122% – ранг 6), на Алтае, в центре СФО, в Приморье.

Осень. Осредненные по РФ осадки 97% нормы. Дефицит осадков наблюдался практически всюду в ЕЧР (82% нормы), особенно сильный в ПФО (69% нормы); в УФО (84% нормы); а также в Приамурье и в нижнем течении Лены. Значительный избыток осадков (более 120%, на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы) наблюдался СФО (113% нормы –ранг 5), в Магаданской области

Сентябрь. Осредненные по РФ осадки составили 85% нормы – среди шести самых «сухих», а для ЕЧР сентябрь 2024 года является самым «сухим». Дефицит осадков с 5%-ми экстремумами на станциях в ЕЧР наблюдался всюду; в СЗФО, ЦФО, ПФО количество

выпавших осадков было минимальным с 1936 г. Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался на большей части АЧР, особенно много в Средней Сибири (134% - ранг 4).

Октябрь. Осредненные по РФ осадки 95% нормы. Дефицит осадков (менее 80%, на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в центре, на востоке ЕЧР и в Западной Сибири (в УФО осредненные осадки составили лишь 65% нормы – 5-6 величина в ранжированном по возрастанию ряду), в дельте Лены, в Приамурье.

Значительный избыток осадков (на ряде станций 95%-е экстремумы) наблюдался в центре и на востоке АЧР (в Западных Саянах, в центре Средней Сибири, в Восточной Сибири (123% нормы)).

Ноябрь. Осредненные по РФ осадки оставили 115% нормы. Значительный избыток осадков наблюдался в верхнем и среднем течении Амура (более 160% нормы), на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 134% нормы – ранг 5), в центральных районах АЧР.

Дефицит осадков (менее 80%, на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в Восточной Сибири (66% нормы), а также на севере Западной и Средней Сибири.

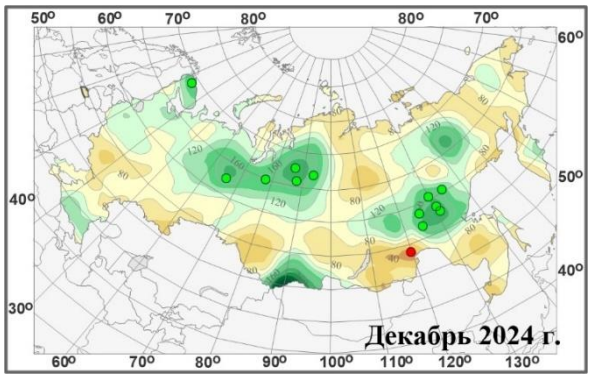

Рисунок 2.4 – Аномалии осадков в декабре 2024 г.

Декабрь 2024 г. (рисунок 2.4). В целом по России количество выпавших осадков составило 103% нормы. Значительный избыток осадков на территории России (более 160% нормы на станциях) наблюдался в нижних течениях рек: Обь, Таз и Енисей, на востоке Якутии, в верховьях Алдана, в Саянах.

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 1976-2024 гг. Численные оценки трендов для регионов приведены в таблице 2.2 (в % нормы за 10 лет: иногда сокращенно %/10 лет).

На территории России преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд составляет 1,8% нормы /10 лет, вклад в дисперсию 36% (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.

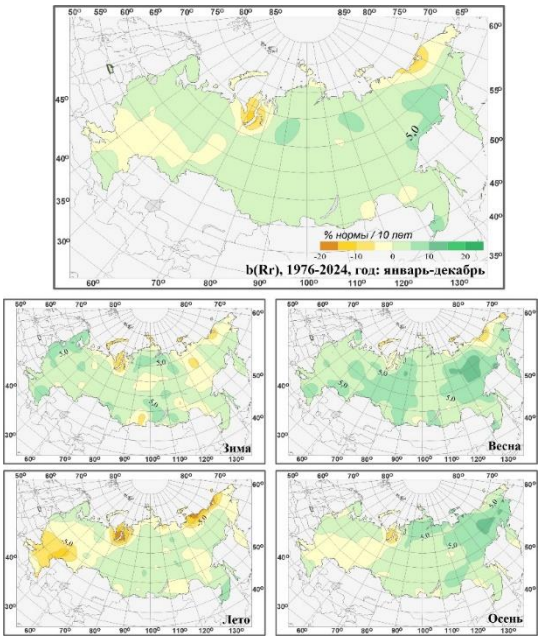

Рисунок 2.5 – Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2024 гг. на территории России (% /10 лет)

Наиболее значительные тренды (таблица 2.2) наблюдаются в регионах Средняя Сибирь (3,4%/10 лет, вклад в дисперсию 37%) и АЧР в целом (2,3%/10 лет; 48%), а из

федеральных округов в СЗФО (2,2%/10 лет, 15%), СФО (2,9%/10 лет, 36%) и ДФО (2,2%/10 лет, 22%).

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*** (5,1% 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), 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 Средней Сибири, Прибайкалье и Забайкалье. Уменьшаются осадки ***зимой*** на востоке Якутии.

Таблица 2.2 – Оценки линейного тренда осредненных за год (январь-декабрь) и по сезонам месячных сумм атмосферных осадков для регионов России за 1976-2024 гг. **b** %/10 лет – коэффициент линейного тренда, **D%** – вклад тренда в дисперсию. Выделены значения тренда, значимые на 1%-м уровне.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	*D%*	*b*	*D%*	*b*	*D%*	*b*	*D%*	*b*	*D%*
Россия	**1,8**	36	**2,7**	18	**5,1**	41	0,2	0	1,5	8
Физико-географические регионы России										
Европейская часть России	0,9	4	**3,6**	16	**4,2**	18	-2,4	7	0,2	0
Азиатская часть России	**2,3**	48	2,0	9	**5,7**	44	1,1	8	**2,2**	18
Западная Сибирь	2,0	13	2,7	5	**6,1**	26	1,0	1	0,4	0
Средняя Сибирь	3,4	37	2,9	8	**6,2**	45	2,7	9	**3,4**	17
Прибайкалье и Забайкалье	1,7	7	4,4	14	2,9	5	0,8	1	2,9	7
Приамурье и Приморье	2,0	10	2,5	2	5,0	13	2,3	4	-0,5	0
Восточная Сибирь	2,1	9	-1,0	1	**6,7**	29	-1,5	2	**4,8**	23
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	**2,2**	15	**4,6**	20	3,7	13	0,5	0	1,4	2
Центральный	0,4	0	4,5	10	4,3	9	-4,3	9	0,4	0
Приволжский	-0,7	1	1,9	2	4,3	9	-4,6	10	-2,2	2
Южный	0,3	0	1,8	2	3,8	5	-4,3	6	0,4	0
Северо-Кавказский	1,4	2	4,4	6	5,3	8	-2,7	2	1,6	1
Уральский	1,6	6	2,1	3	**6,2**	25	0,2	0	-0,6	0
Сибирский	**2,9**	36	3,2	11	**5,1**	22	**2,6**	14	2,3	10
Дальневосточный	**2,2**	22	0,9	1	**5,8**	39	0,7	1	**2,8**	21

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: -4,6% нормы за десятилетие). ***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 таблице 2.3 представлены данные аномалий режима осадков (сумм осадков (*R*), максимальных суточных (*Max*), число дней с осадками не менее 5мм (*NR5)*), из которых видно, что в 2024 году в основном имел место дефицит осадков на всех метеостанциях. Дефицит сумм осадков наблюдался в зимний сезон на метеорологической станции Нальчик от 1σ до 1,69σ (голубые ячейки), в весенний сезон на станциях Теберда и Терскол от 1σ до 1,69σ и в летний сезон на метеорологических станциях Нальчик и Терскол от 1σ до 1,69σ и от 1,69σ до 3σ соответственно. Отклонения от нормы в осенний сезон укладывалось в 1σ на всех метеорологических станциях.

Превышение климатической нормы сумм осадков в весенний от 1σ до 1,69σ (розовые ячейки) и летний от 1,69σ до 3σ (оранжевые ячейки) сезоны и в году в целом от 1σ до 1,69σ (розовые ячейки) имело место на горной станции Ахты.

Отклонений суточных максимумов осадков и числа дней с осадками не менее 5 мм более, чем на 1σ ни на одной из метеорологических станций не наблюдалось.

Таблица 2.3 – Годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии сумм осадков для метеорологических станций юга ЕЧР в 2024 г.: Δ, *мм* – отклонения от нормы (средних за 1991-2020 гг.); *σ* – стандартное отклонение за 1991-2020 гг. Розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ, оранжевым - более 1,69 σ, голубым – менее 1-σ, синим – менее -1,69σ

	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ, мм	*σ, мм*	*Δ, мм*	*σ, мм*	*Δ, мм*	*σ, мм*	*Δ, мм*	*σ, мм*	*Δ, мм*	*σ, мм*
	Суммы осадков									
Ахты	**88,7**	**69,8**	-1,3	18,8	**42,3**	**36,4**	**92,1**	**46,5**	-33,1	38,1
Теберда	**-149,4**	**128,9**	20,3	54,7	**-102,5**	**66,9**	-46,8	60,3	24,6	75,0
Терскол	**-319,7**	**164,2**	37,8	61,3	**-125,9**	**85,5**	**-116,4**	**62,1**	-39,7	91,2
Нальчик	**-137,8**	**120,3**	**-25,0**	**21,7**	-42,7	47,5	**-112,6**	**74,3**	46,7	61,8
Прохладная	**-158,9**	**99,4**	-3,4	20,7	-14,7	45,1	-33,1	56,0	-3,9	53,5
	Максимум суточных осадков									
Ахты	0,6	11,1	-1,7	7,7	6,9	7,6	3,9	12,9	-4,6	9,7
Теберда	-4,6	14,5	-0,7	14,3	-9,4	14,2	-4,6	12,4	0,1	13,9
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-1,7	11,6	-3,4	5,7	-2,7	10,4	-7,9	11,6	7,9	13,6
Прохладная	-3,9	18,8	-1,6	4,0	-0,4	16,9	-12,8	18,5	-0,6	14,5
	Число дней с осадками не менее 5 мм									
Ахты	0,8	4,4	-0,4	1,8	2,0	3,1	2,8	3,0	-1,3	2,2
Теберда	-1,1	7,7	-1,2	2,6	-2,0	4,5	-1,1	4,0	1,0	3,9
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	-0,5	7,1	-0,9	2,0	-0,2	3,4	-1,6	3,8	1,0	3,9
Прохладная	-0,7	5,4	-0,5	2,2	-1,1	2,7	-1,7	3,0	0,4	2,6

В таблице 2.4 и на рисунке 2.6 представлены характеристики линейного тренда *b (D)* за 1976-2023 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонных режимов осадков на станциях Кавказского региона. Из таблицы 2.4 видно, что во всех климатических зонах имела место отрицательная тенденция летних сумм осадков, в горной (Ахты, Теберда) и предгорной (Нальчик) зонах на фоне роста суточных максимумов осадков, а в степной зоне (Прохладная) – их статистически значимого роста на 4,2 мм/10 лет (*D*=13%), что характеризует увеличение длительности сухих периодов, усиление интенсивности ливневых осадков и негативно сказывается на условиях ведения сельского хозяйства в районе интенсивного растениеводства.

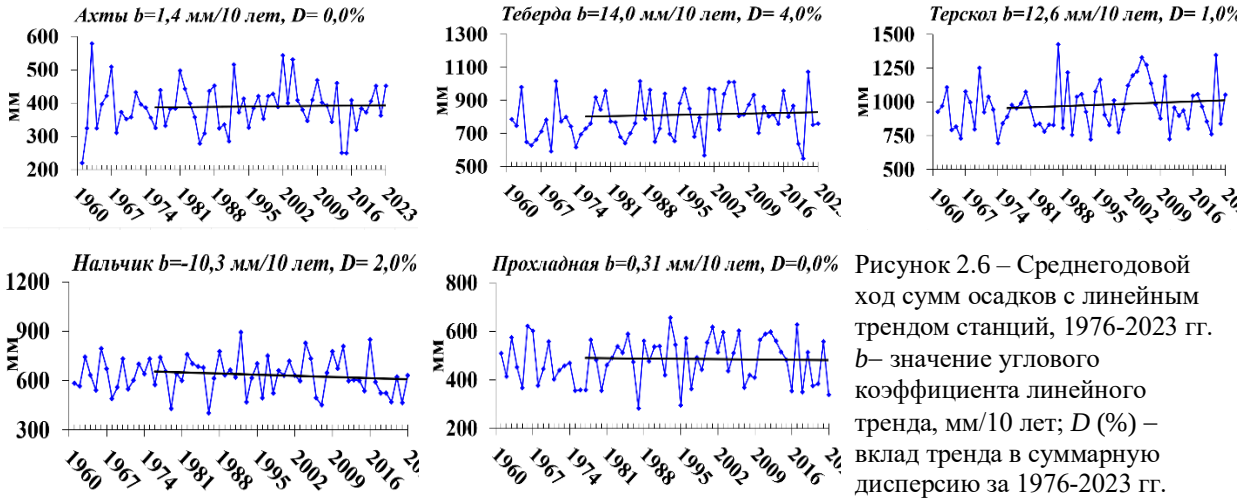

Рисунок 2.6 – Среднегодовой ход сумм осадков с линейным трендом станций, 1976-2023 гг. *b*– значение углового коэффициента линейного тренда, мм/10 лет; *D* (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию за 1976-2023 гг.

Из таблицы 2.4 и рисунка 2.6 видно, что в Ахты, Теберде, Терсколе и Прохладной с 1976 года тренды среднегодовых сумм осадков положительные, но незначимые, в Нальчике

- статистически незначимый отрицательный тренд среднегодовых сумм осадков. В году в целом максимальные суточные осадки также имели положительный тренд на значимом уровне (*b*=3,9 мм/10 лет, *D*=10%) на фоне практически неизменных сумм осадков (*b*=0,31 мм/10 лет, *D*=0,0%).

В весенний сезон в Теберде наблюдался положительный значимый тренд для сумм осадков и *NR5* (*b*=15,0 мм/ 10 лет, *D*=9% и *b*=1,1дн/10 лет, *D*=12% соответственно) За год в целом число дней с осадками более 5 мм также имели положительный тренд на значимом уровне (*b*=1,7дн/10 лет, *D*=10%) на фоне незначительного уменьшения максимальных суточных осадков (*b*= -1,0 мм/10 лет, *D*=0,9%).

Таблица 2.4 – Характеристики линейного тренда ***b (D)*** за 1976-2023 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режима осадков на станциях Кавказского региона. ***R*** – сумма осадков, ***Max*** – максимум суточных осадков, ***NR5*** – число дней с осадками не менее 5 мм, ***b*** – значение углового коэффициента линейного тренда (мм /10 лет или число дней/10 лет), ***D (%)***– вклад тренда в суммарную дисперсию

		Ахты		**Теберда**		**Терскол**		**Нальчик**		**Прохладная**	
		b	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*
Год	*R*	1,4	0,0	14,0	4,0	12,6	1,0	-10,3	2,0	0,31	0,0
	Max	0,9	2,0	-1,0	0,9	-	-	1,1	2,0	3,9	**10,0**
	NR5	0,3	1,0	1,7	**10,0**	-	-	0,2	0,1	0,32	0,7
Зима	*R*	1,0	1,0	-1,3	0,0	-0,33	0,4	-0,6	0,0	1,7	1,0
	Max	0,9	3,0	0,2	2,0	-	-	-0,4	1,0	0,5	2,0
	NR5	0,1	1,0	0,5	5,0	-	-	0,21	3,0	0,21	2,0
Весна	*R*	0,8	0,0	15,0	**9,0**	16,9	7,0	-0,02	0,0	2,1	0,5
	Max	0,5	1,0	0,34	5,0	-	-	-1,25	2,0	-1,8	0,0
	NR5	-0,2	1,2	1,1	**12,0**	-	-	0,24	0,9	0,2	1,0
Лето	*R*	-4,9	2,2	-6,3	2,0	-8,1	3,0	-10,6	4,0	-7,2	3,0
	Max	0,8	1,1	-2,2	6,0	-	-	1,8	4,0	4,2	**13,0**
	NR5	0,1	0,1	0,32	1,0	-	-	-0,9	**9,0**	-0,43	4,0
Осень	*R*	1,5	0,6	-2,1	0,2	6,0	0,9	1,2	0,1	4,1	2,0
	Max	-1,0	2,0	-0,1	0,0	-	-	-1,5	3,0	2,3	6,0
	NR5	0,3	4,0	-0,04	0,0	-	-	0,6	6,0	0,4	5,0

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

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2023/2024 гг.

Анализ изменений характеристик снежного покрова проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квази-однородных климатических регионов характеристик (рисунок 3 Введения). Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях 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 во Введении, 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. Использованы нормы (среднемноголетние значения) характеристик снежного покрова за период 1991-2020 гг.

В таблице 3.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий характеристик снежного покрова зимой 2023-2024 гг. для регионов России и их ранги по

данным за 1967-2024 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 2023/2024 гг.

Первый снег зимой 2023-2024 гг. на большей части Европейской части России (ЕЧР) выпал раньше среднеклиматических сроков на 5-10 дней, за исключением Южного Урала, Республики Коми, отдельных районов Архангельской области и Северо-Кавказского ФО (рисунок 3.1 б).

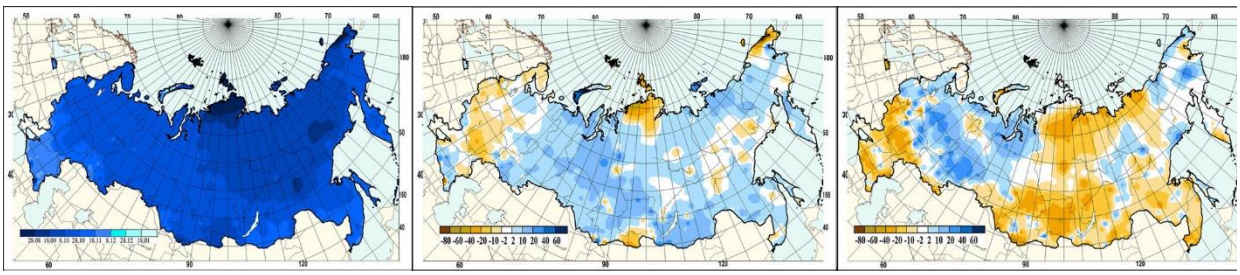

Рисунок 3.1 – а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2023-2024 гг. б) Аномалии в датах появления первого снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2023-2024 гг. (от норм 1991-2020 гг.); в) Аномалии в датах схода снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2023-2024 гг. (от норм 1991-2020 гг.)

В междуречье рек Волга и Дон установление снежного покрова случилось на 10-20 дней раньше климатических сроков. На большей части Сибири и Дальневосточного ФО снежный покров установился позже обычного, что обусловлено очень теплой погодой на всей Азиатской территории в октябре 2023 года. На Таймыре, в Республике Тыва, отдельных районах Якутии и на арктическом побережье Чукотки снег лег раньше обычного. Наибольший сдвиг сроков появления снежного покрова (более 40 дней) оказался на севере Таймыра. В горных районах Тывы установление снежного покрова наблюдалось на 10-30 дней раньше средне климатических сроков.

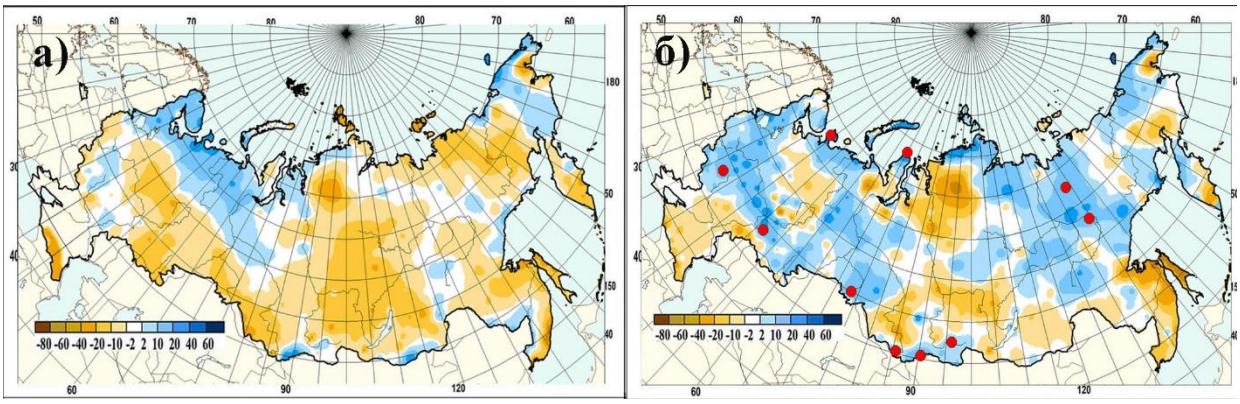

Рисунок 3.2 – а) Аномалии числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции зимой 2023-2024гг. (от среднемноголетних значений за период 1991-2020 гг.); б) Аномалии максимальной высоты снежного покрова зимой 2023-2024 гг. (от средних многолетних значений за период 1991-2020 гг.). Кружками красного цвета показаны станции, на которых зарегистрирован абсолютный максимум высоты снежного покрова

Аномально теплая погода в феврале на ЕЧР и в Сибири обусловила сход снежного покрова на 15-25 дней раньше климатических сроков в южных районах ЕЧР, Сибири, на арктическом побережье Якутии и дальневосточном юге. Не смотря на теплую погоду, снежный покров задержался дольше обычного в северо-западных и северных областях ЕЧР, на Верхней Волге, Урале и в автономных округах Тюменской области. В некоторых

районах Вологодской области и на Среднем Урале снег пролежал на 10-20 дней дольше среднеклиматических сроков.

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России, как и прошлой зимой, оказалась значительно меньше климатической нормы (таблица 3.1), 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 в начале и конце холодного периода. Максимальные по абсолютной величине отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова отмечены на Верхней Волге, Южном Урале, юге Таймыра, в южных районах Западной Сибири, на большей части Красноярского края и в Прибайкалье, а также в бассейне Колымы, на побережье Анадырского залива, юге Камчатки, Сахалине, в устье Амура и прибрежных районах Приморского края (рисунок 3.2а). На большей части Южного и Северо-Кавказского ФО из-за теплой погоды, которая преобладала в течение всего сезона, устойчивый снежный покров не устанавливался. В горных районах Северного Кавказа продолжительность залегания снежного покрова оказалась на 20-40 дней меньше климатической нормы. Дольше обычного снег сохранялся на севере ЕЧР, в западных районах автономных округов Западной Сибири, в горных районах Алтая, южных районах Забайкальского края, на арктическом побережье Чукотки и севере Камчатского края. Во всех квази-однородных районах снег лежал меньше климатических сроков, за исключением III (Чукотка и север Камчатки). Отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова в VI, VII и IX квази-однородных районах вошли в десятку наименьших значений в ранжированном ряду с 1967 года.

Таблица 3.1 – Средние за зимний период (2023/2024 гг.) аномалии характеристик снежного покрова, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России: *Δ – отклонения от средних за 1991-2020 гг.; R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик зимнего периода за 1967-2024 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение.*

Регион	Максимальная высота			Число дней со снегом		
	Δ	R	σ	Δ	R	σ
Россия	0,18	19	3,42	-6,63	**51**	5,06
Север ЕЧР и Западной Сибири	4,61	8,03	**9**	11,06	13	9,57
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	6,18	4,51	**3**	-5,66	46	6,92
Чукотка и север Камчатки	1,04	11,24	30	2,58	30	10,48
Центр ЕЧР	4,92	7,05	12	-7,75	47	10,86
Центр и юг Западной Сибири	3,20	7,37	11	-6,18	48	7,99
Центр и юг Восточной Сибири	0,24	3,76	22	-11,77	**55**	6,38
Дальний Восток	-9,45	6,35	**53**	-9,33	**49**	6,71
Алтай и Саяны	0,67	5,90	21	-4,11	38	8,28
Юг ЕЧР	-6,16	4,09	**56**	-28,43	**56**	14,59

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за зимы 1967-2024 гг.

В зимний период 2023-2024 гг. ***максимальная высота снежного покрова*** в среднем по России оказалась немного выше климатической нормы. Необычно много снега выпало в северных, западных и центральных областях ЕЧР, на Средней Волге, большей части Западной Сибири и Якутии, а также в горных районах Алтая и Саян, где на отдельных метеорологических станциях превышены абсолютные максимумы высоты снежного покрова (рисунок 3.2б). Наибольшие по абсолютной величине отрицательные аномалии отмечены на юге Таймыра, в северных районах Красноярского края, в нижнем течении Амура и на Сахалине. Аномалии максимальной высоты снежного покрова в I и II квази-однородных районах попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий в ранжированном ряду. Отрицательные аномалии максимальной высоты снежного покрова получены в VII и IX районах, причем обе они вошли в десятку наименьших значений.

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

Таблица 3.2 – Аномалии максимального за зимний период (2023/2024 гг.) запаса воды в снеге, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России.
Δ – отклонения от средних за 1991-2020 гг., R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1967-2024 гг.; σ – среднеквадратическое отклонение.

Р е г и о н	Запас воды в снеге (поле)			Запас воды в снеге (лес)		
	Δ	**ранг**	**σ**	**Δ**	**ранг**	**σ**
Россия	3,96	13	9,68	-2,74	32	8,03
Север ЕЧР и Западной Сибири	32,05	**2**	18,73	23,09	**10**	25,65
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	-24,18	44	25,51	1,50	24	12,25
Чукотка и север Камчатки	-27,22	**49**	29,95	1,60	18	30,45
Центр ЕЧР	14,78	12	19,33	0,79	30	19,28
Центр и юг Западной Сибири	4,86	15	17,68	-0,73	29	22,47
Центр и юг Восточной Сибири	-10,19	**50**	6,81	3,04	18	7,97
Дальний Восток	-10,40	28	20,14	-40,65	**54**	25,14
Алтай и Саяны	-11,99	36	14,85	-11,25	33	29,03
Юг ЕЧР	-17,84	**54**	10,43	-10,00	47	11,48

** жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1967-2024 гг.*

Положительные аномалии запаса воды в снеге на лесном маршруте отмечены в северных, западных и центральных областях Европейской территории, Поволжье, Омской, Курганской и Тюменской областях, включая большую часть автономных округов, а также на большей части Якутии (рисунок 3.3а). Положительная аномалия во II квази-однородном районе (север ЕЧР и Западной Сибири) попала в десятку наибольших значений в ранжированном ряду с 1967 года.

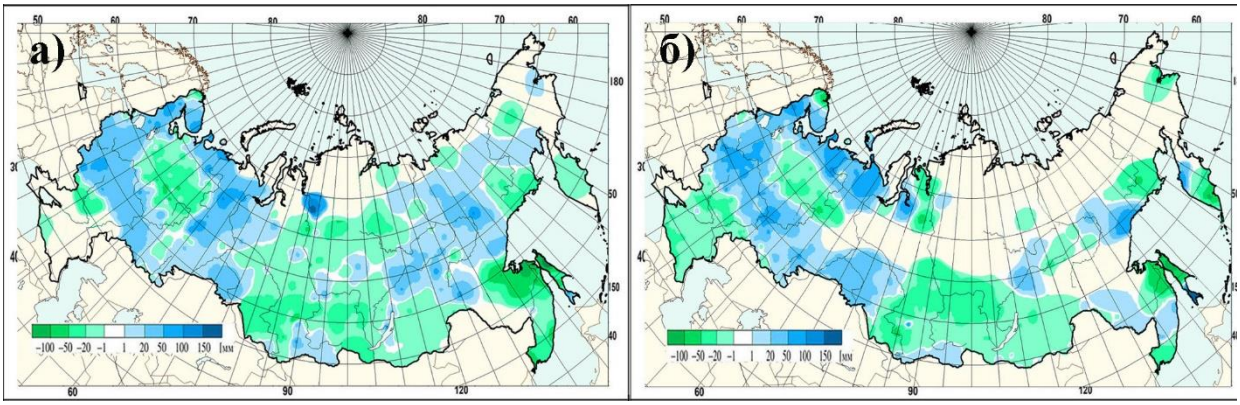

Рисунок 3.3 – Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2020-2024 гг. (от среднемноголетних значений за период 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б)

Аномально низкими запасы воды в снеге на лесном маршруте оказались в нижнем течении Амура и на севере Сахалина. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены в V, VII, VIII и IX квази-однородных регионах, при этом отрицательная аномалия на дальневосточном юге (район VII) попала в десятку наименьших. В поле значительные положительные аномалии запаса воды в снеге получены в северных, западных и центральных областях ЕТР, в Поволжье, на Южном Урале и юге Тюменской (рисунок 3.3б). В I квази-однородном районе аномалия нынешнего сезона стала второй в ранжированном ряду с 1967 года. Положительные аномалии на полевом маршруте получены также в IV и V районах. В остальных квази-однородных районах запас воды в снеге в поле оказался ниже климатической нормы, причем в III, VI и IX районах он попал в десятку наименьших значений.

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

Таблица 3.3 – Сведения о максимальных запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ Российской Федерации весной 2024 г. (в сравнении с нормой и запасами воды в снеге в аналогичные сроки 2023 г.): ***w2023, w2024*** – запасы воды в снеге в 2023 и 2024 гг.

№ п/п	Бассейны рек		Запасы воды в снеге				
			норма	*w2023*	*w2024*		
			мм	мм	мм	% от нормы	% от *w2023*
1	**ВОЛГА, в том числе:**		**113**	**118**	**140**	**124**	**119**
2	до Рыбинского водохранилища		92	126	130	141	103
3	р. Кострома и р. Унжа		126	141	136	108	96
4	р. Москва		76	99	128	168	129
5	р. Ока, включая бассейн р. Москвы		74	98	132	178	135
6	р. Сура		86	99	130	151	131
7	р. Ветлуга		133	149	160	120	107
8	Чебоксарское водохранилище		85	105	136	160	130
9	р. Вятка		144	162	174	121	107
10	Куйбышевское водохранилище		129	144	168	130	117
11	Саратовское водохранилище		92	74	116	126	157
12	Волгоградское водохранилище		66	16	56	85	350
13	р. Кама до г. Пермь		165	150	166	101	111
14	Воткинское водохранилище		130	145	167	128	115
15	р. Белая		135	117	136	101	116
16	**ДОН, в том числе:**		**48**	**10**	**38**	**79**	**380**
17	Хопер		55	12	48	87	400
18	Медведица		53	7	0	0	0
Реки северо-запада							
19	Нарва		51	72	0	0	0
20	Волхов		62	103	54	87	52
Реки севера ЕЧР							
21	Северная Двина		116	117	137	118	117
22	Сухона		121	136	165	136	121
23	Вага		118	107	115	97	107
24	Юг		111	141	126	114	89
25	Пинега		97	107	117	121	109
26	Вычегда		131	123	149	114	121
27	Мезень		134	128	150	112	117
Реки и водохранилища Сибири							
28	Верхняя Обь		81	72	78	96	108
29	Тобол		62	68	103	166	151
30	Енисей	(Саяно-Шушенское водохранилище)	116	127	141	122	111
31	Енисей	(Красноярское водохранилище)	120	126	123	103	98
32	Ангара	(оз. Байкал)	76	82	76	100	93
33	Ангара	(Братское водохранилище)	67	74	58	87	78
34	Ангара	(Усть-Илимское водохранилище)	113	115	83	73	72

Зима 2023-2024 гг. на большей части территории Российской Федерации выдалась в среднем холоднее обычной с обильными снегопадами на Европейской территории России и умеренным количеством снега в Сибири и на Дальнем Востоке. Максимальные запасы воды в снежном покрове наблюдались почти одновременно и на ЕЧР, и в Сибири около 10 марта.

По состоянию на 10 марта 2024 года запасы воды в снежном покрове в бассейнах рек ЕЧР оказались в основном выше среднемноголетних значений. Запасы воды в снежном покрове в бассейнах рек Кострома, Унжа, Ветлуга, Вятка, Кама, Белая и Волгоградского водохранилища составили 85-121% нормы, на остальных территориях бассейна реки Волга – 126-168% нормы (рисунок 3.4).

В бассейне реки Волга снегозапасы были больше на 4-42 мм (лишь в бассейнах рек Кострома и Унжа меньше на 5 мм) аналогичных значений 2023 года. В целом на территории бассейна реки Волга запасы воды в снеге составили 124% нормы, по отношению к прошлогодним значениям были на 22 мм больше их.

Рисунок 3.4 – Запас воды в снежном покрове (отношение к норме, %) на ЕЧР по состоянию на 10 марта 2024 года

На территории бассейнов рек Дон (выше Цимлянского водохранилища) и Хопер запас воды в снеге составил 79-87% нормы и был больше аналогичных значений 2023 года на 28-36 мм. К 10 марта 2024 года в бассейне реки Медведица снег сошел. С начала марта произошло активное таяние снега – снегозапасы в бассейне рек Дон (выше Цимлянского водохранилища), Хопер и Медведица уменьшились на 10-38 мм за декаду. Снегозапасы в бассейнах рек Северная Двина, Вага, Юг, Вычегда и Мезень составили 97-118% нормы, а в бассейнах рек Сухона и Пинега – 121-136% нормы. По отношению к значениям 2023 года снегозапасы преимущественно увеличились на 8-29 мм, лишь в бассейне реки Юг уменьшились на 15 мм. В бассейнах рек Карелии запас воды в снеге составил 70-140% нормы. На северо-западе ЕЧР, в бассейнах рек Нарва и Волхов, запасы воды в снеге в целом оказались меньше нормы. При этом на территории бассейна реки Нарва снег практически сошел. На территории бассейнов рек Новгородской, Псковской и запада Ленинградской областей запасы воды в снеге по состоянию на середину марта составили: на западе Ленинградской области – 35-48% нормы, на востоке Ленинградской области и на территории Новгородской области – 60-159% нормы. Наименьший запас воды в снеге отмечался в бассейне реки Волхов (35% нормы), наибольший – в бассейнах реки Тихвинка (159% от среднемноголетнего значения).

Снегозапасы в бассейнах реки Тобол и Саяно-Шушенского водохранилища составили 166 и 122% нормы соответственно, на остальных территориях Сибири 73-103% нормы. По отношению к значениям 2023 года снегозапасы в бассейнах Верхней Оби, Тобола и Саяно-Шушенского водохранилища увеличились на 6-35 мм; в бассейнах Красноярского, Братского, Усть-Илимского водохранилищ и озера Байкал уменьшились на 3-32 мм.

Многолетние изменения характеристик снежного покрова

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений характеристик снежного покрова за зимний период на интервале 1976 - 2024 гг., рассчитанных по данным станционных наблюдений на территории России, показано на рисунке 3.5. Тренд выражен в см/10 лет. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50

% территории вокруг метеостанции приведено на рисунке 3.5, а (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. Увеличение продолжительности залегания снежного покрова наблюдается на востоке автономных округов Тюменской области, Кольском полуострове, в горных районах Алтая и Саян и отдельных районах центральной части Якутии. В среднем для России число дней со снегом уменьшается на 1,76 дня за 10 лет (таблица 3.4), то есть прошедшая теплая зима ускорила сокращение продолжительности залегания снежного покрова.

В нынешнем сезоне сохранялась тенденция увеличения максимальной за зиму высоты снежного покрова в центральных и восточных районах ЕЧР, на Урале, 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 3.5б). Максимальные положительные коэффициенты линейного тренда получены в районе Обской Губы. 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). 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, отдельных станциях Республики Саха-Якутия, а также на севере и юге Камчатского края.

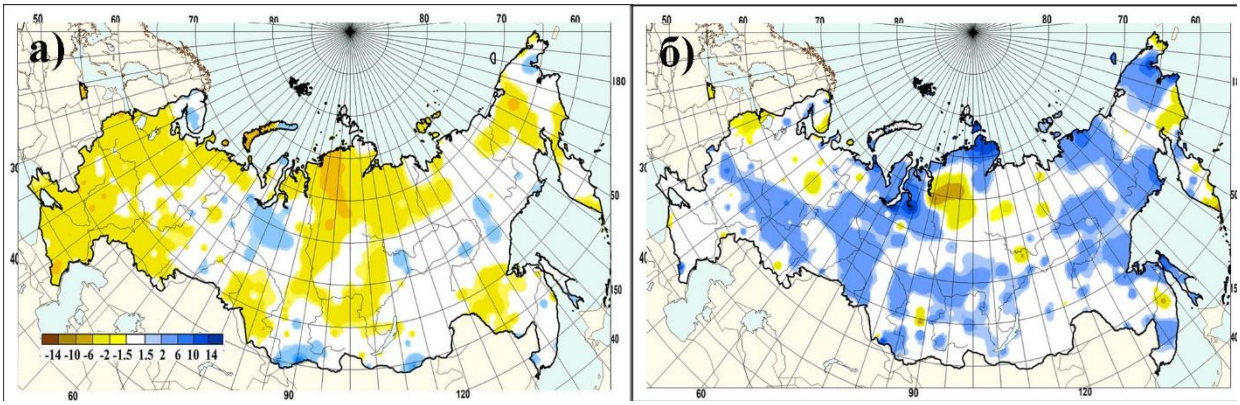

Рисунок 3.5 – а) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2024гг.; б) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова

Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге за период 1976- 2024 гг. по данным маршрутных наблюдений не претерпели больших изменений по сравнению с предыдущим периодом ни в поле, ни в лесу. По данным на полевых маршрутах наблюдается увеличение запаса воды в снеге в центральных и восточных районах ЕТР, Карелии, северных и южных районах Западной Сибири, в юго-западных районах Якутии. Максимальные положительные коэффициенты линейного тренда получены в районе Обской Губы. Сохраняется тенденция увеличения запаса воды в поле на Камчатке, Сахалине, в нижнем течении Амура и Приморье (рисунок 3.6а). Уменьшение запаса воды в снеге в поле отмечается на северо-западе и севере ЕТР, Полярном Урале, юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края, побережье заливов Анадырского и Шелехова. Средний для страны в целом запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в поле увеличивается на 2,54 мм за 10 лет, что немного меньше, чем за предыдущий период. Значимые положительные тренды получены также для V, VII и VIII квази-однородных районов.

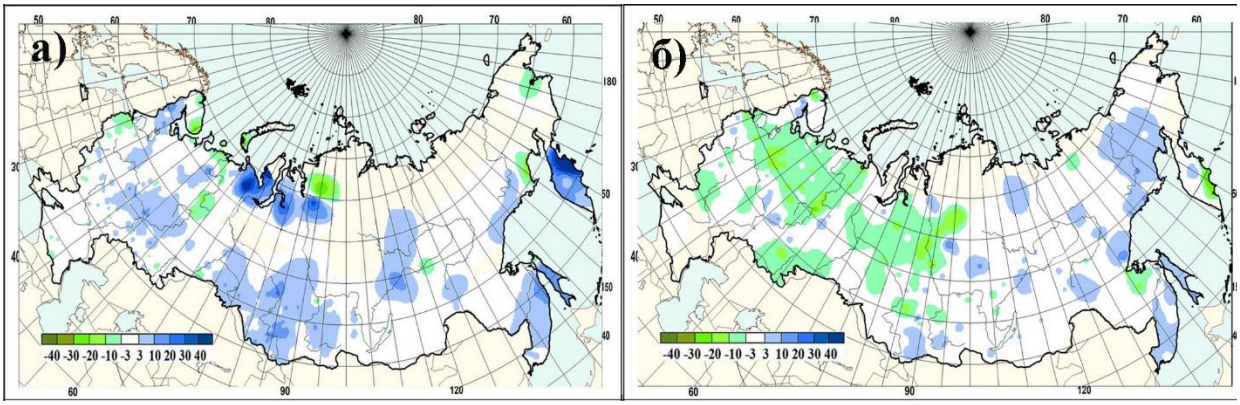

Рисунок 3.6 – Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б). 1976-2024 гг.

По данным маршрутных наблюдений в лесу (рисунок 3.6б) на территории России по-прежнему преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге. Скорость уменьшения сохраняется и по-прежнему составляет 1,15 мм за 10 лет. Наибольшие по абсолютной величине отрицательные коэффициенты линейного тренда отмечены в Вологодской области, в междуречье Печоры и Камы, северных районах Красноярского края. Наиболее обширная зона положительных коэффициентов линейного тренда охватывает северное и западное побережье Охотского моря, восток Якутии, южные районы Хабаровского края, Приморье и Сахалин. При оценке региональных изменений значимые отрицательные тренды запаса воды в снеге по данным снегосъемок на лесных маршрутах получены только в центре ЕЧР (IV район).

Таблица 3.4 – Оценки линейного тренда (значимые на 5%-м уровне) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2024 гг.:
Hmax, см/10 лет – максимальная высота снежного покрова; ***Nd, дни/10лет*** – число дней со снежным покровом; ***SWEп, мм/10лет*** – запас воды в снеге (в поле); ***SWEл, мм/10лет*** – запас воды в снеге (в лесу).

Регион	*Hmax*	*Nd*	*SWEп*	*SWEл*
Россия	1,23	-1,76	2,54	-1,15
Север ЕЧР и Западной Сибири	1,62	-2,92		
Сев. Восточной Сибири и Якутии		-2,16		
Чукотка и север Камчатки			-7,35	
Центр ЕЧР		-3,89		-5,22
Центр и юг Западной Сибири	1,82	-2,06	4,42	
Центр и юг Восточной Сибири	1,30			
Дальний Восток	1,58		7,28	
Алтай и Саяны	1,22		4,74	
Юг ЕЧР				

4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК

Сроки начала появления плавучего льда на реках и установления ледостава на водохранилищах в 2023 году

Появление льда осенью 2023 года началось на реках Яна, Индигирка и Колыма в первой декаде октября. На реке Колыма – около нормы, на реках Яна и Индигирка на 5 дней позже нормы.

Во второй декаде октября на 5-6 дней позже нормы ледообразование началось на реке Лена от пгт. Сангар до с. Кюсюр.

В третьей декаде октября на 3-13 дней позже нормы ледообразование началось на реках Лена (от г. Усть-Кут до г. Якутск), Енисей (от с. Ворогово до г. Дудинка), Обь (на участке с. Мужи – г. Салехард), Амур (на участке с. Покровка – с. Кумара), Печора, Вычегда, Северная Двина (ниже д. Абрамково) и на 4 дня раньше нормы на Кама (выше г. Соликамск).

Также в конце октября и в первой декаде ноября (7-12 дней раньше нормы) началось образование ледостава на Камском водохранилище выше с. Усть-Гаревая и на Беломорско-Балтийском канале.

В первой декаде ноября (около нормы) началось ледообразование на реках Обь (от г. Новосибирск до пгт. Октябрьское), Иртыш (ниже г. Тобольск), Амур (от г. Хабаровск до с. Мариинское). От 3 до 10 дней позже нормы ледообразование началось на реке Обь (на участке пгт. Октябрьское – с. Мужи), Амур (от с. Кумары до с. Ленинское), Енисей (у г. Кызыл), Зея (ниже с. Мазаново). На 3-5 дней раньше нормы лед появился на реках Тобол (ниже г. Ялуторовск), Тура (ниже г. Туринск) и Тавда (ниже г. Тавда).

Во второй декаде ноября (на 10-20 дней позже нормы) началось появление льда на реках Северная Двина (выше Абрамково), Сухона, Кострома и Унжа, Вятка, Иртыш (на участке г. Омск – г. Тобольск). Около нормы ледообразование началось на реке Москва (выше г. Москва), на Камском водохранилище (ниже с. Усть-Гаревая) и на Шекснинском водохранилище.

В третьей декаде ноября (на 10-19 дней позже нормы) ледообразование началось на реках Ветлуга (ниже г. Шарья), Обь (выше г. Камень-на-Оби), Иртыш (на участке рп. Черлак – г. Омск), Сура (ниже г. Алатырь), Белая (ниже г. Уфа).

Около нормы началось появление льда на реке Волга (выше г. Тверь и на участке г. Нижний Новгород – с. Просек), Ока (выше г. Кашира и ниже устья р. Мокша). Также около нормы началось образование ледостава на Рыбинском, Горьковском, Куйбышевском, Воткинском и Нижнекамском водохранилищах.

На 3-5 дней раньше нормы ледообразование началось на реках Днепр, Десна, Западная Двина, Ока (на участке г. Рязань - устье р. Мокша), на Чебоксарском водохранилище.

В первой декаде декабря (на 5-6 дней позже нормы) ледообразование началось на реке Дон (выше устья р. Воронеж и на участке ст-ца Вешенская – ст-ца Трехостровская).

Около нормы ледообразование началось на реке Дон (на участке устье р. Воронеж – ст-ца Вёшенская), а также на Саратовском и Волгоградском водохранилищах.

Во второй декаде декабря на 3 дня раньше нормы появился лед на Нижней Волге.

Сроки вскрытия и очищение рек и водохранилищ ото льда, весной 2024 года

Весну в 2024 г. можно охарактеризовать как раннюю. Вскрытие ото льда большинства рек европейской и азиатской части России преимущественно произошло около нормы и на 5-24 дня раньше средних многолетних сроков, на отдельных реках до 17 дней позже.

Во второй декаде марта (около нормы и до 10 дней раньше нормы) вскрылись Нижняя Волга, верхнее течение реки Дон и участок г. Павловск – ст-ца Вёшенская.

В конце второй и в третьей декаде марта (около нормы и до 15 дней раньше нормы) вскрылись реки Волга (верхнее течение), Ока (верхнее и среднее течения), Дон (на участке ст-ца Вёшенская – г. Калач-на-Дону), Хопёр (ниже устья р. Ворона), Днепр (верхнее течение) и Москва-река.

В конце третьей декады марта и в первой декаде апреля (около нормы и до 10 дней раньше нормы) вскрылись реки Ока (нижнее течение), Сура (ниже г. Алатырь), Хопёр (выше устья Ворона), Кострома и Унжа, Ветлуга, Белая, Вятка (ниже г. Котельнич), Обь (выше г. Камень-на-Оби). На 5-6 дней раньше нормы очистились ото льда Саратовское и Волгоградское водохранилища.

В конце первой и во второй декаде апреля (на 2-20 дней раньше нормы) вскрылись реки Вятка (выше г. Котельнич), Северная Двина (выше д. Абрамково), Вычегда (среднее и нижнее течение), Мезень, Кама (выше г. Соликамск), Обь (ниже г. Новосибирск до устья р. Чулым), Иртыш (от рп. Черлак до г. Тобольск), Тобол (ниже Ялуторовска), Тура (ниже г. Туринск), Тавда (ниже г. Тавда), Енисей (у г. Кызыл), Кан (исключая верховья), Амур (на

участке с. Ленинское – г. Хабаровск). На 2-18 дней раньше нормы очистились ото льда Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища.

С середины второй до середины третьей декады апреля на 5-7 дней раньше нормы вскрывались реки Северная Двина (ниже д. Абрамково) и Амур (от с. Иннокентьевка до с. Ленинское).

В конце второй и в третьей декаде апреля (около нормы и до 20 дней раньше нормы) вскрылись реки Печора (выше д. Усть-Щугор), Обь (на участке устье Чулыма – г. Колпашево), Иртыш (ниже г. Тобольск), Лена (от рп. Качуг до г. Киренск), Амур (от с. Покровка до с. Иннокентьевка и от г. Хабаровск до с. Мариинское), Шилка, Аргунь, Зея (ниже с. Мазаново), Амгунь (ниже устья р. Дуки). На 11-20 дней раньше нормы очистились ото льда Шекснинское, Камское и Воткинское водохранилища.

В конце третьей декады апреля (около нормы) началось вскрытие реки Пинега (исключая верховья) и продолжалось до середины мая.

В конце третьей декады апреля – в первой декаде мая (около нормы и до 5 дней раньше нормы) вскрылись реки Обь на участке г. Колпашево – г. Сургут, Енисей на участке д. Назимово – с. Ярцево, Лена (на участке г. Киренск – пгт. Витим), Киренга (на участке с. Казачинское – г. Киренск), Витим (ниже г. Бодайбо).

На реке Обь (на участке г. Сургут – с. Октябрьское) вскрытие началось в начале первой декады мая и продолжалось до середины второй декады.

В середине первой декады мая началось вскрытие реки Лена (на участке пгт. Витим – г. Олёкминск) и продолжалось до середины второй декады.

Во второй декаде мая (на 4-8 дней позже нормы вскрылись Енисей от с. Ворогово до г. Туруханск) и очистился ото льда водораздельный бьеф Беломорско-Балтийского канала.

На реки Обь (на участке пгт. Октябрьское – с. Мужи) вскрытие началось в начале второй декады мая и продолжалось до середины третьей декады.

Около нормы и до 6 дней раньше нормы вскрылись реки Лена (от г. Олёкминск до пгт. Сангар), Алдан, Вилюй (ниже с. Сунтар), Колыма (от Усть-Среднекана до г. Среднеколымск).

В третьей декаде мая (около нормы и до 6 дней раньше нормы) вскрылись реки Енисей (от с. Туруханск до г. Игарка), Лена (от пгт. Сангар до с. Кюсюр), Яна (от г. Верхоянск до п. ст. Юбилейный), Индигирка и Колыма (на участке г. Среднеколымск – пгт. Черский).

В конце третьей декады мая и в первой декаде июня (на 3-4 дня позже нормы) вскрылась река Енисей (от г. Игарка до п. Усть-Порт).

5. ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Рассматриваются характеристики следующих видов гололедно-изморозевых отложений (ГИО): гололеда, кристаллической изморози и отложения мокрого снега. Такой выбор сделан в связи с тем, что отложения гололеда и мокрого снега наносят значительный ущерб экономике, а кристаллическая изморозь — это наиболее распространенный вид отложения (по сравнению с зернистой изморозью) на территории России. Анализ основных характеристик ГИО осуществляется с октября прошедшего года по апрель текущего года. Октябрь и апрель включены в холодный период, поскольку в эти месяцы температура воздуха колеблется между положительной и отрицательной, создаются благоприятные температурно-влажностные условия, при которых ГИО могут достигать опасных значений.

Исследование характеристик ГИО проведено по данным за период с 1984 г., так как инструментальные наблюдения за отложениями доступны на технических носителях с этого года. Нормы (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 ГИО проводился по данным на метеостанциях и по рядам средних для 18 квази-однородных климатических регионов характеристик. Осреднение по регионам производилось поэтапно: сначала аномалии, рассчитанные на станциях, арифметически осреднялись по ячейкам регулярной сетки 1°N × 2°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 2023/24 г.

Пространственное распределение аномалий суммарного за холодный период числа случаев с гололедом, кристаллической изморозью и отложением мокрого снега представлено на рисунке 5.1. Суммарные за холодный период аномалии числа случаев с **гололедом** (рисунок 5.1а) были положительными в ЦФО, Карелии, Мурманской области, ЯНАО, на юге Коми, юго-востоке ПФО, востоке Чукотки, юге Красноярского края и юге Сахалина. Реже, чем обычно, отложения гололеда отмечались на юге ЕЧР, юго-западе СЗФО, юге УФО. Обширные области отрицательных аномалий числа случаев с **кристаллической изморозью** (рисунок 5.1б) сформировались на большей территории ЕЧР, юге Хабаровского края (от 1 до 5 случаев), на севере Урала и Сибири, северо-востоке Якутии и Чукотки, в Забайкалье и Камчатском крае (от 5 до 10 случаев), что обусловлено аномально теплой погодой в начале и конце холодного периода. Небольшие очаги положительных аномалий отмечены на севере ПФО, в центре УФО, Магаданской, на юго-западе Иркутской областях, севере Камчатского края. Положительные аномалии числа случаев с отложением **мокрого снега** отмечаются на западе ЕЧР (рисунок 5.1 в).

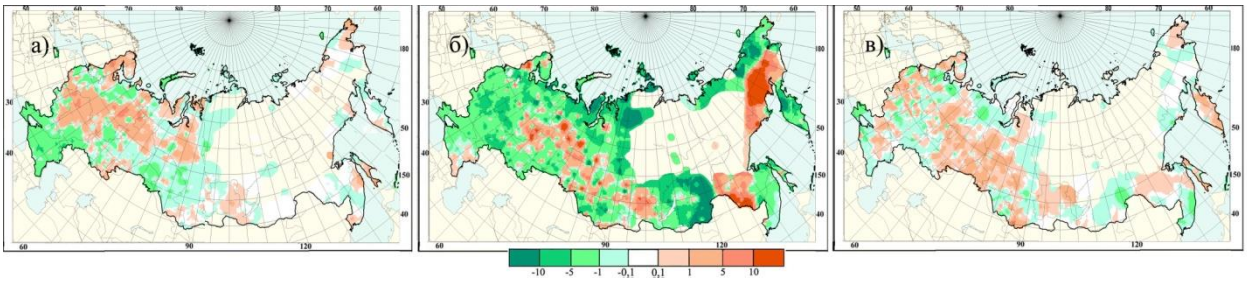

Рисунок 5.1 – Аномалии суммарного за холодный период числа случаев (дни): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

На рисунке 5.2 представлено пространственное распределение суммарной за холодный период продолжительности рассматриваемых отложений. Продолжительность **гололеда** (рисунок 5.2а) увеличивается преимущественно в ЦФО, ПФО, Крыму, Херсонской области, западе ХМАО и юго-востоке ЯНАО (от 1 до 48 часов). Отрицательные аномалии продолжительности гололеда отмечаются в ЮФО и на большей части территории СЗФО. В большей степени влияние аномально теплой погоды, которая преобладала в этом сезоне на большей части страны, сказалось на характеристиках кристаллической изморози, образующейся при низких температурах. Продолжительность **кристаллической изморози** (рисунок 5.2б) уменьшается на юго-западе и северо-востоке ЕЧР, юге Западной Сибири, севере Камчатского края, в Забайкалье и Чукотском АО. В Уральском ФО, на юге Республики Алтай, юго-западе Забайкальского края кристаллическая изморозь сохранялась дольше на 12-48 часов. Положительные аномалии продолжительности **отложения мокрого снега** наблюдаются на юго-западе СЗФО, севере ЮФО, юге УФО, юге Камчатского края и в Республике Алтай (рисунок 5.2в).

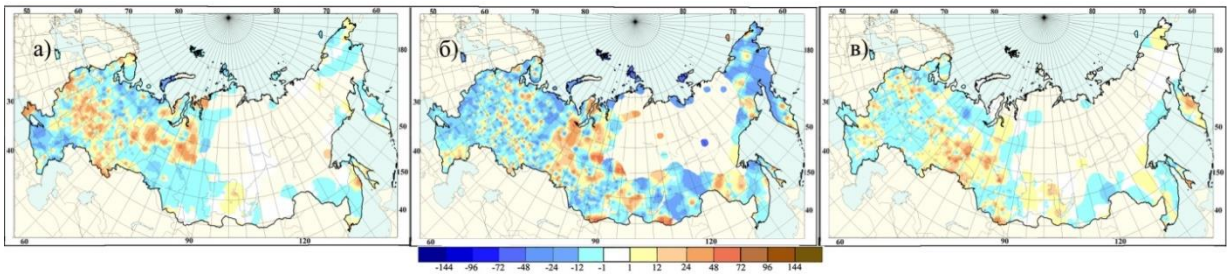

Рисунок 5.2 – Аномалии суммарной за холодный период продолжительности (часы): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

Анализ пространственного распределения аномалий веса **гололеда** (рисунок 5.3а) показал, что рост веса наблюдается в Ленинградской области, ЦФО, Крыму, на юго-западе ПФО и востоке Чукотки (1,2-1,6 г/см и более). В ЮФО и на северо-востоке ЕЧР вес гололеда уменьшается на 0,4-1,6 г/см. Значительные отрицательные аномалии веса **кристаллической изморози** (рисунок 5.3б) получены на севере ЕЧР и в Западной Сибири, на северо-востоке Чукотки, в центральных районах Камчатки и Омской области (1,2-1,6 г/см и более). Рост веса отложения **мокрого снега** небольшими очагами отмечается на западе ЕЧР, юге УФО, юге Республики Алтай, севере Приморского края и в Омской области (1,2-1,6 г/см).

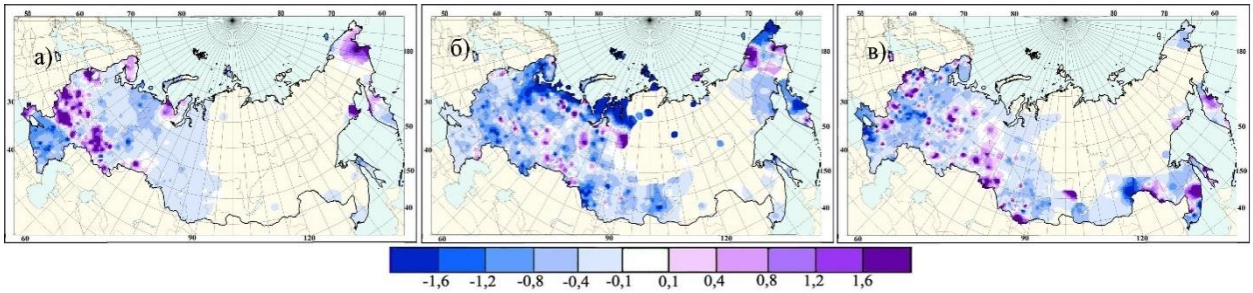

Рисунок 5.3 – Аномалии среднего за холодный период веса (г/см): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

Тенденции современных изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России

На рисунке 5.4 представлено пространственное распределение оценок тренда суммарного за холодный период числа случаев с ГИО, которое мало чем отличается от полученного в предыдущем году. По-прежнему преобладают положительные тенденции числа случаев с **гололедом** (рисунок 5.4а) на ЕЧР, наибольшие коэффициенты линейного тренда получены на северо-востоке ПФО, юге Коми, юге ЯНАО 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), в целом для страны и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд.

По данным на метеорологических станциях получены ярко выраженные значимые как отрицательные, так и положительные значения коэффициентов линейного тренда числа случаев с **кристаллической изморозью** (рисунок 5.4б). При региональном осреднении значимые положительные тенденции получены в четырех регионах (14, 15, 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 двенадцати регионах (таблица 5.1). По территории России в целом и для ЕЧР тоже получен статистически значимый тренд, который составляет соответственно 0,5 и 0,7 случаев за 10 лет.

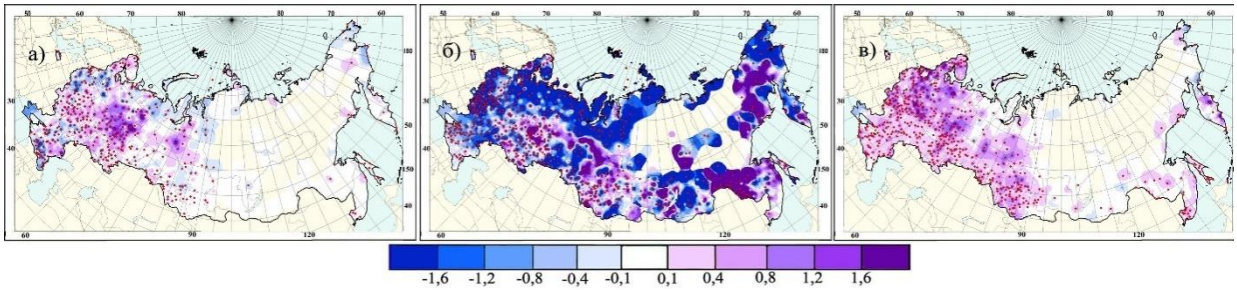

Рисунок 5.4 – Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) суммарного за холодный период числа дней: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. *Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне*

Таблица 5.1 – Оценки линейного тренда аномалий числа случаев ГИО; 1984-2024 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	7	**-1,2**	23	**0,6**	66
Сибирская Арктика	2	-0,0	5	0,7	4	0,0	0
Тихоокеанская Арктика	3	0,0	0	-0,4	1	0,0	0
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,2	2	**-1,3**	19	**1,3**	78
СВ Восточно-Европейской равнины	5	**1,1**	33	0,4	2	**0,7**	60
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0,2	3	**-1,5**	34	**0,7**	54
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	**0,4**	13	0,1	0	**0,5**	60
Степная часть Вост.-Европ. равнины	8	0,0	0	**-1,0**	16	**0,2**	22
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,1	1	-0,4	9	**0,3**	30
Север лесной зоны Западной Сибири	10	**0,4**	25	-0,9	8	**0,1**	14
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,1	7	0,4	2	**0,2**	25
степная зона Западной Сибири	12	0,1	3	0,0	0	**0,4**	50
Алтай и Саяны	13	0,0	0	0,1	0	**0,4**	34
Центральная часть Восточной Сибири	14	0,0	0	**4,6**	56	0,1	5
Бассейн Ангары	15	0,0	0	**0,9**	11	0,0	0
Забайкалье	16	0,0	0	-0,6	2	0,0	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,0	0	**2,6**	46	0,2	10
Дальний Восток южнее 50°N	18	**0,1**	18	**1,6**	49	**0,4**	19
РФ		**0,2**	17	-0,1	0	**0,5**	70
ЕЧР		**0,4**	18	-0,6	9	**0,7**	74

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

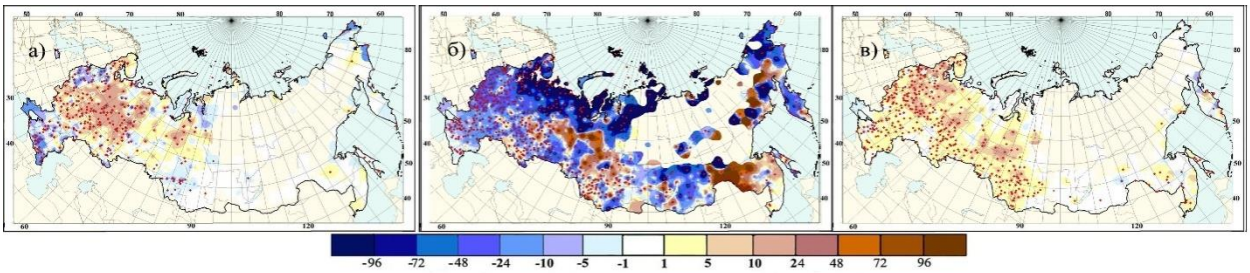

Рисунок 5.5 – Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. *Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне*

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах суммарной за холодный период продолжительности ГИО представлено на рисунке 5.5. Тенденция роста продолжительности **гололеда** выявлена в центральных областях ЕЧР и на востоке ЯНАО (рисунок 5.5а). Статистически значимые тенденции фиксируются на северо-востоке, юго-востоке Восточно-Европейской равнины и на севере лесной зоны Западной Сибири (таблица 5.2). Наибольший тренд продолжительности гололеда равен 3,6 ч/10 лет, где вклад тренда в дисперсию ряда составляет 33%. Для ЕЧР статистически значимый тренд составил 1,3 ч/10лет.

Значительные отрицательные тенденции продолжительности **кристаллической изморози** (рисунок 5.5б) сформировались на арктическом побережье ЕЧР, Урала, северо-западе Красноярского края (более 96 час/10 лет). Тенденция роста продолжительности кристаллической изморози выявлена в ХМАО, на юге ЯНАО и в Амурской области. В отдельных квазиоднородных регионах были получены значимые на 5% уровне тенденции (таблица 5.2), наибольший положительный тренд фиксируется в бассейне Ангары (b=4.2 ч/10лет, d=26 %), наибольший отрицательный – на юго-западе Восточно-Европейской равнины (b= -4.0 ч/10лет, d=33 %).

Рост 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=7,2 ч /10 лет, d=75 %). В целом для территории России и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд продолжительности отложения мокрого снега (b= 3,2 и 4,1 ч/ 10 лет соответственно).

Таблица 5.2 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности ГИО; 1984-2024 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	0,0	0	**-2,0**	21	**2,9**	63
Сибирская Арктика	2	-0,7	3	1,4	3	0,0	0
Тихоокеанская Арктика	3	1,1	3	-0,3	0	0,1	1
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,1	0	-1,1	5	**7,2**	75
СВ Восточно-Европейской равнины	5	**2,6**	15	**1,7**	9	**4,7**	55
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	1,8	9	**-4,0**	33	**3,9**	47
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	**3,1**	20	**1,7**	10	**2,8**	48
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	1,0	3	**-3,4**	28	**2,1**	46
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-1,2	4	**-2,7**	12	**2,1**	35
Север лесной зоны Западной Сибири	10	**3,6**	33	1,9	5	**2,7**	25
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,4	1	**2,9**	17	**3,5**	69
Степная зона Западной Сибири	12	-0,3	0	1,1	2,9	**2,4**	36
Алтай и Саяны	13	-0,1	0	1,3	4	**2,8**	53
Центральная часть Восточной Сибири	14	0,2	4	2,2	2	0,3	2
Бассейн Ангары	15	0,1	0	**4,2**	26	**0,9**	15
Забайкалье	16	-0,1	0	-0,8	1	-0,3	1
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,1	0	**3,6**	25	**1,8**	21
Дальний Восток южнее 50°N	18	0,8	7	**3,4**	31	**3,0**	29
РФ		0,7	8	0,2	0	**3,2**	82
ЕЧР		**1,3**	11	-0,4	1	**4,1**	78

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

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

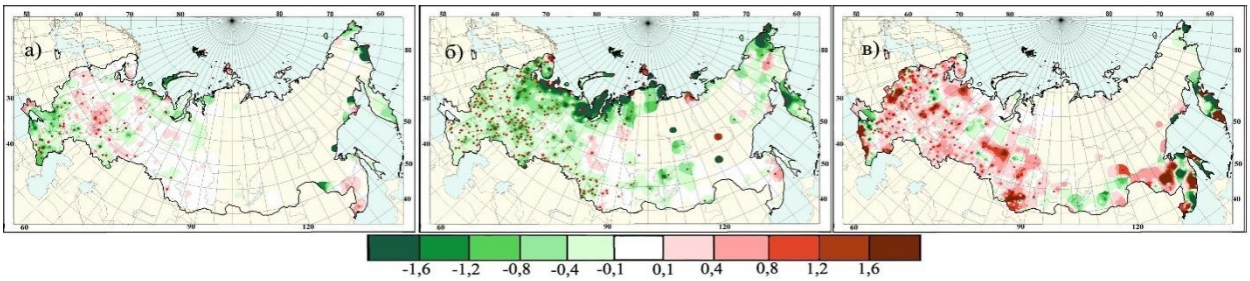

Рисунок 5.6 – Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. *Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне*

Таблица 5.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий веса ГИО; 1984-2024 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	**-0,2**	20	**0,1**	13
Сибирская Арктика	2	-0,1	5	**-0,3**	15	0,0	4
Тихоокеанская Арктика	3	0,0	3	-0,2	6	0,1	2
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0,0	2	**-0,3**	31	0,2	9
СВ Восточно-Европейской равнины	5	0,0	1	-0,2	8	**0,3**	32
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0,1	3	**-0,1**	13	**0,3**	42
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	0,1	4	**-0,2**	16	**0,1**	11
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	0,0	0	**-0,2**	17	**0,1**	10
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0,1	5	**-0,1**	17	0,1	6
Север лесной зоны Западной Сибири	10	-0,0	1	-0,1	3	0,0	2
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0,0	0	-0,1	2	**0,1**	16
степная зона Западной Сибири	12	-0,0	1	-0,1	6	**0,1**	12
Алтай и Саяны	13	-0,0	1	-0,0	0	**0,2**	26
Центральная часть Восточной Сибири	14	-0,0	0	0,3	7	0,0	0
Бассейн Ангары	15	0,0	0	-0,1	4	**0,3**	11
Забайкалье	16	0,0	0	**-0,1**	15	-0,0	1
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0,0	0	**-0,2**	20	**0,2**	15
Дальний Восток южнее 50°N	18	0,0	1	-0,0	1	**0,2**	14
РФ		0,0	0	-0,1	5	**0,1**	14
ЕЧР		0,1	7	**-0,1**	16	**0,1**	16

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

На большей ЕЧР, Урала, Западной Сибири, Чукотки и Камчатки 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 девяти районах (1, 2, 4, 6-9, 16, 17) и в целом для ЕЧР (b= -0,1 г/см /10 лет, d=16 %).

Заметное увеличение веса **отложения мокрого снега** (рисунок 5.6в) отмечается на ЕЧР, в Западной Сибири, Амурской области, на юге Хабаровского и Приморского краях

(1,2-1,6 г/см/10 лет). В одиннадцати квазиоднородных климатических регионах, для территории ЕЧР и страны в целом получены значимые положительные коэффициенты линейного тренда веса отложения мокрого снега (таблица 5.3).

6. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Приповерхностная температура воздуха

В Северной полярной области и в Арктике 2024 год не отличился заметным повышением средней температуры, хотя глобальная средняя приповерхностная температура воздуха (ПТВ) в 2024 году, оказалась наибольшей за период инструментальных наблюдений, превысив рекорд 2023 года на 0,12°С [Copernicus Climate Change Service]. Рекордными стали аномалии ПТВ в низких и средних широтах и на Северном полушарии в целом, но в Арктике подобная аномалия отсутствовала (рисунок 6.1).

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 в Северной полярной области и в арктических областях (рисунок 6.2).

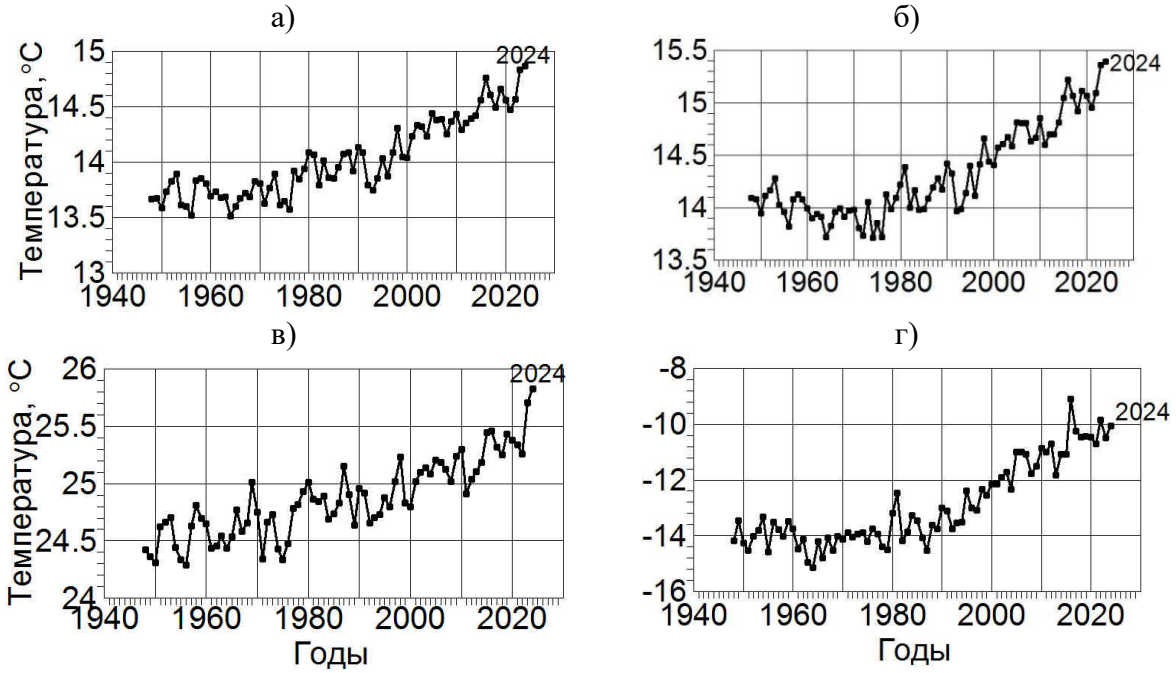

Рисунок 6.1 - Среднегодовая температура воздуха глобальная (а), на Северном полушарии (б), в низких широтах (0-30°с.ш.(в)), в Арктике (70-90°с.ш. (г)) [Расчёты по данным реанализа NCEP -NCAR Reanalysis 1, https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis]

Сравнение рисунков 6.1 и 6.2 подтверждает отсутствие в 2023-2024 годах значительной положительной аномалии температуры воздуха в Северной полярной области и в Арктике, что можно объяснить задержкой распространения аномалий из низких широт. В изменениях температуры в 1901 – 2024 гг. в Северной полярной области видно 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. Квазиперодическое колебание вместе с трендом образуют низкочастотное изменение, которое вносит основной вклад в изменчивость ПТВ в 1901 – 2024 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.

В области морской Арктики температура с 1990-х годов повысилась к 2018-2020 гг. зимой более чем на 4°С, а летом — на 2°С. 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 показывают здесь повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2018 год на 6°С, а летней к 2020 году почти на 3°С. В 2021-2023 гг. температура понизилась почти на 3°С, а летом на 1°С, но 2024 году начался рост.

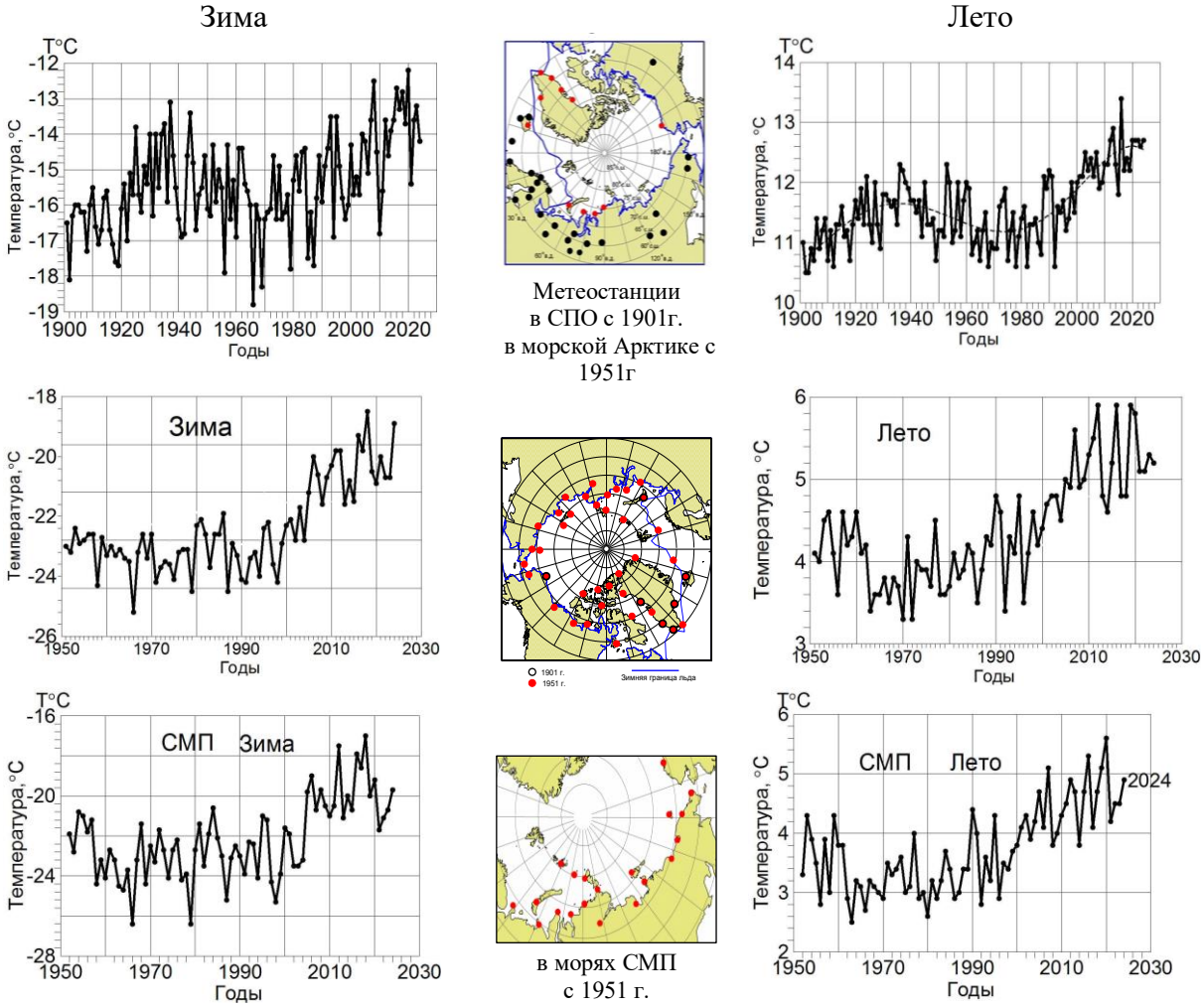

Рисунок 6.2 – Средняя температура воздуха зимой и летом по данным метеорологических станций в Северной полярной области и Арктике в разные периоды с 1901 по 2024 год. На врезках положение метеостанций, по которым рассчитывалась средняя температура.

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

Сокращение морского ледяного покрова является наиболее обсуждаемым проявлением глобального потепления в Арктике. Современный период сокращения площади арктического морского льда 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).

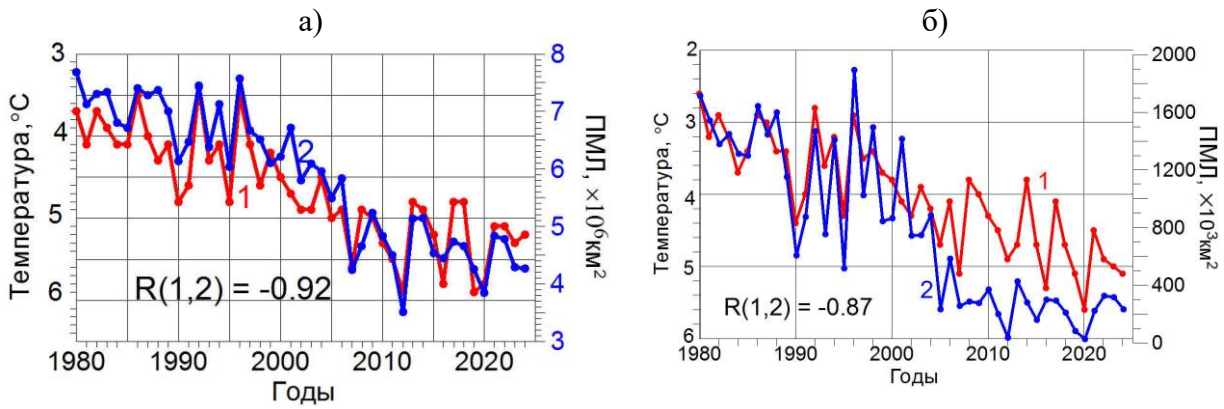

Рисунок 6.3 – Площадь, занятая морским льдом в сентябре (2), и летняя температура воздуха (1) на акватории Северного Ледовитого океана (а) и морей Северного морского пути (б) в 1980–2024 гг. (Данные о ледовитости с сайта ААНИИ http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/north/extent/).

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^2 до 234 тыс. км^2. В последующие годы площадь колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. км^2 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.

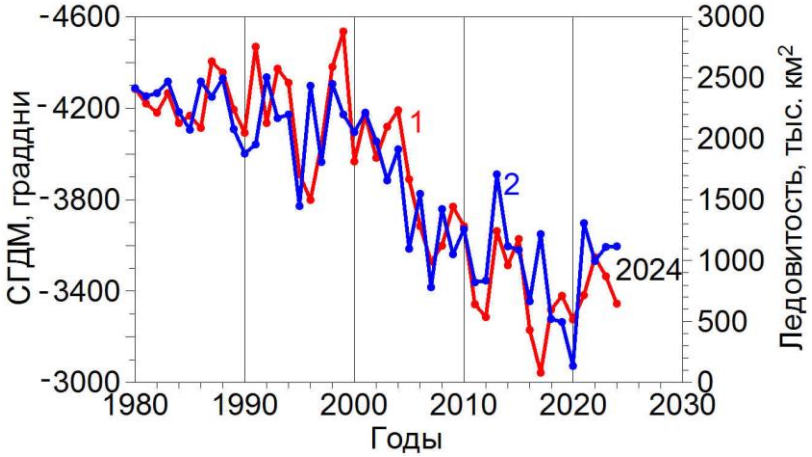

Рисунок 6.4 - Сумма градусодней мороза за октябрь-апрель (СГДМ (1)) и ледовитость (2) в октябре в морях СМП. R – коэффициент корреляции между (1) и (2)

Индикатором влияния температуры воздуха на состояние ледяного покрова в морской Арктике, помимо температуры воздуха в летние месяцы (рисунок 6.3), служит температура воздуха в холодную половину года с октября по апрель, представляемая суммой градусо-дней мороза (СГДМ) за эти месяцы. СГДМ характеризует условия нарастания льда, влияние которых сказывается в период летнего сокращения ледовитости морей с июля по сентябрь и на состоянии льда перед началом замерзания в октябре (рисунок 6.4).

О причине глобальной аномалии в 2023-24 гг. и ее проявлении в Арктике

Признано, что глобальная аномалия началась в низких широтах вместе с аномалиями температуры поверхности океана (рисунок 6.5).

Аномалии ТПО и температуры воздуха в низких широтах развивались в 2023-2024 гг. согласии между собой и с аномальной светимостью Солнца (TSI) (рисунок 6.6).

Аномалии всех рассматриваемых параметров в 2023-2024 годах превышали среднее значение на два и более среднеквадратичных отклонения.

Аномалии температуры воздуха в Арктике более всего связаны с аномалиями ТПО в тропической Атлантике, влияние которых проявляется через три года (рисунок 6.7).

При изменении температуры верхнего слоя изменяется уровень океана, поэтому можно ожидать связь аномалий температуры воздуха в высоких широтах и с аномалиями уровня океана в низких широтах. В таблице 6.1 приведены коэффициенты корреляции и запаздывания аномалий температуры воздуха в Арктике относительно аномалий ТПО и уровня (в годах).

10S-20N,20-70W)

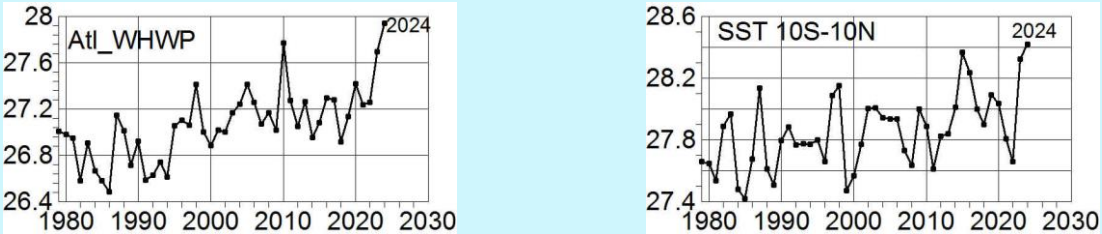

Рисунок 6.5 - Температура поверхности океана в тропической Атлантике и в экваториальной области

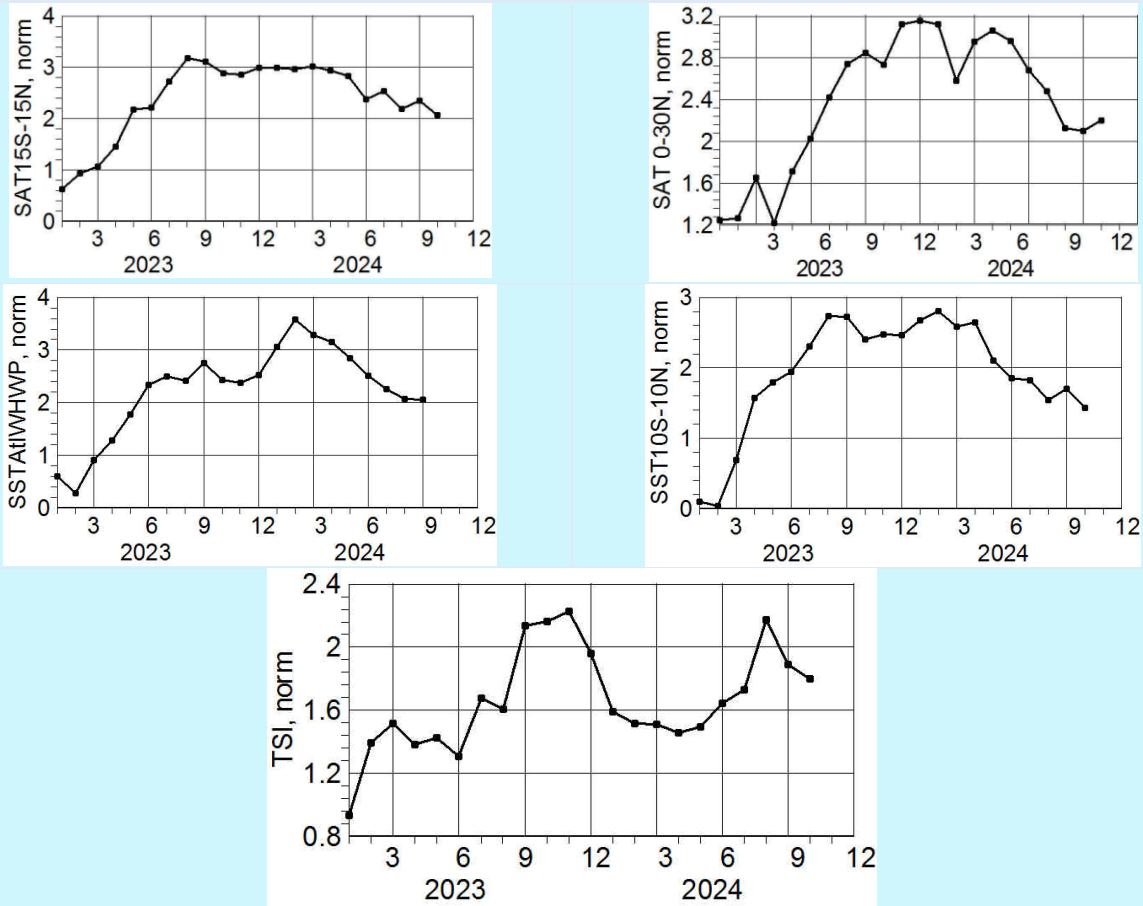

Рисунок 6.6 - Развитие в 2023-2024 гг. аномалий ТПО, температуры воздуха в низких широтах и светимости Солнца

Высокие коэффициенты корреляции в таблице 6.1 и запаздывания аномалий ПТВ относительно аномалий в океане позволяют рассмотреть аномалии температуры поверхности и уровня океана как предикторы в прогнозном уравнении регрессии. Заметим, что коэффициенты корреляции между аномалиями ТПО и уровня ниже, чем между ними и аномалиями ПТВ, что позволяет использовать оба предиктора в одном уравнении. Опытное уравнение построено как уравнение регрессии с предикторами ТПО в тропической Северной Атлантике (5,5-23,5°N, 15-57,5°W) и уровнем океана в п. Манила (Филиппины) для температуры воздуха осенью в морях СМП. Уравнение и оценки опытного расчёта по данным за 1950-2022 гг. представлены в таблице 6.2, а на рисунке 6.8 показаны расчётные и фактические значения температуры воздуха.

Таблица 6.1 - Корреляция аномалий температуры поверхности и уровня океана в тропиках с приповерхностной температурой воздуха в Арктике с учётом запаздывания аномалий температуры воздуха. В скобках – запаздывание (в годах)

Аномалия в океане	Средняя за сезон температура воздуха				Период. годы Источник данных
	70-90°сш Арктика	20-120°вд Зап. Арктика	120-180°вд Вост. Арктика	Моря СМП	
ТПО тропики СА. осень	К-т корреляции 0,74(+4) осень	К-т корреляции 0,70 (+3) лето	К-т корреляции 0,66 (+3) осень	К-т корреляции 0,66 (+4) осень	1979–2022 HadISST, NCEP
Уровень, Ки-Уэст, осень	К-т корреляции 0,77(+4) осень	К-т корреляции 0,68 (+2) осень	К-т корреляции 0,77 (+3) осень	К-т корреляции 0,74 (+4) осень	1948–2022, PMSL, NCEP
Уровень, Манила, осень	К-т корреляции 0,84(+6) осень	К-т корреляции 0,76 (+5) осень	К-т корреляции 0,81 (+5) осень	К-т корреляции 0,75 (+5) осень	1979–2022 PMSL, NCEP

Таблица 6.2 - Уравнение регрессии и оценки опытного расчёта по данным за 1950-2022 гг.

№	Уравнение регрессии	За период	Характеристики уравнения		
			R	A, %	E, %
1	$Тсмп(g_{iv}) = 2,2844tna(g_{iv}–4) + 0,0042Нм(g_{1v}–5) – 38,0865$	1950–2022	0,81	74	20

Тсмп — средняя температура воздуха в морях СМП (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) по данным 20 метеостанций на побережье и островах;

Tna — аномалия средней температуры поверхности океана в области тропической Северной Атлантики (5,5°–23,5° с.ш., 15°–57,5° с.ш.;

Нм — средний за сентябрь–ноябрь уровень океана в п. Манила (14,5° с.ш., 121° в.д.);

g, iv — год, сезон (iv ─ осень);

R – коэффициент множественной регрессии;

A – оправдываемость;

E – эффективность прогнозного уравнения на обучающей выборке 1950-2022 гг.

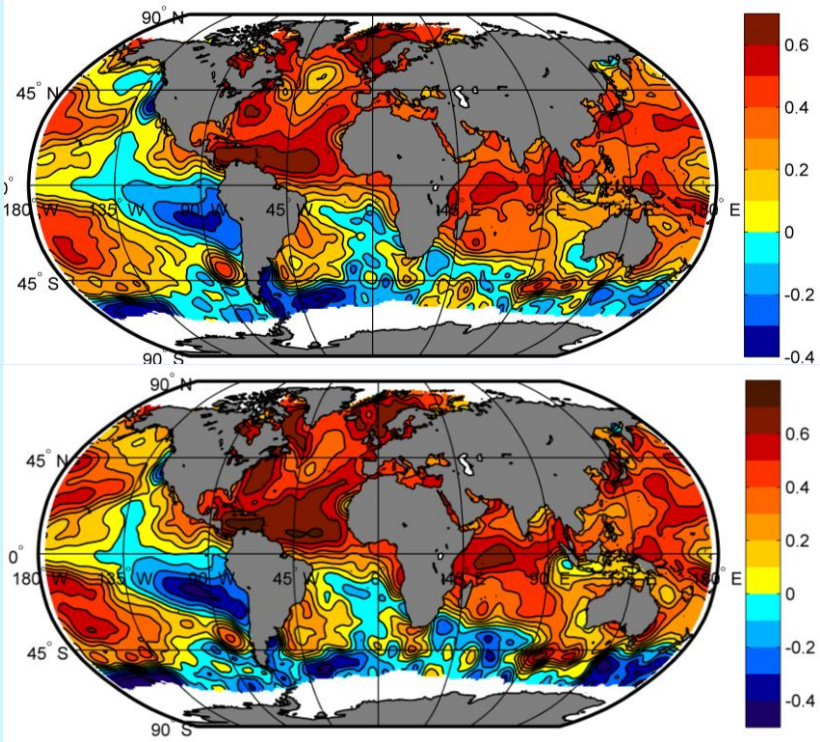

Рисунок 6.7 - Коэффициенты корреляции аномалий температуры воздуха в Арктике (70 – 87,5°с.ш.) летом (а) и осенью (б) с температурой поверхности океана в октябре с трёхлетним запаздыванием аномалий в Арктике.

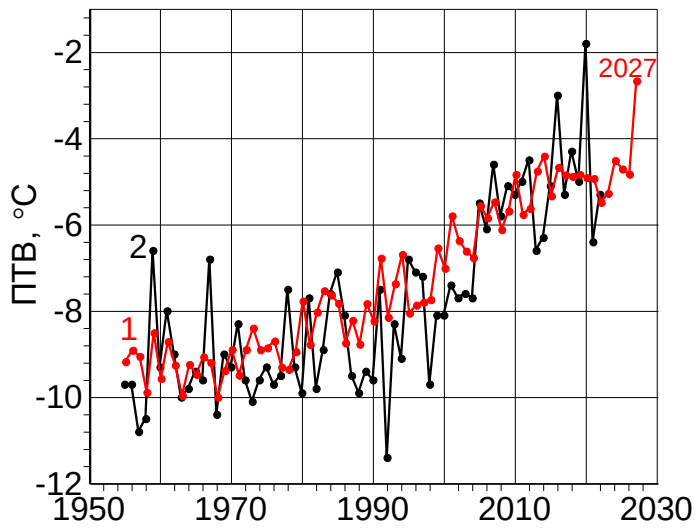

Рисунок 6.8 — Расчёт (красная линия) и фактические значения средней температуры воздуха (чёрная линия) осенью в морях СМП

Из рисунка следует, что аномальное значение ТПО и уровня океана в тропиках может проявиться в осенней температуре воздуха на трассе СМП к 2027 году.

7. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Мощность сезонно-талого слоя (СТС) отражает состояние многолетнемерзлых грунтов (ММГ) и испытывает колебания от года к году в зависимости от климатических условий. Ежегодно публикуемые в Докладах Росгидромета сведения о ее длительных изменениях и особенностях последних лет основаны на данных измерений этой величины, получаемых по стандартизованной методике в рамках Международной программы мониторинга CALM (Circum Polar Active-Layer Monitoring). На территории криолитозоны РФ в различное время было создано более 60 площадок CALM, однако лишь малая часть из них обладает длительными рядами наблюдений.

Важно отметить, что эти измерения носят негосударственный характер и осуществляются в рамках отдельных научных проектов, выполняемых в инициативном порядке, главным образом, силами специалистов института Криосферы Земли РАН, института Мерзлотоведения СО РАН при участии исследователей из иных научных учреждений. Одним из важных условий участия в проекте CALM является обеспечение свободного доступа всех заинтересованных потребителей к получаемым данным. До недавнего времени данные по всем странам депонировались и ежегодно обновлялись на информационном портале проекта, размещенном на сервере университета Дж. Вашингтона в США (https://www2.gwu.edu/~calm/). Изменившиеся геополитические реалии нарушили эту хорошо работающую систему. Усугубило ситуацию и то, что в мае 2024 г. международная ассоциация мерзлотоведения приняла политически мотивированное решение о приостановке членства России. Закономерным ответом стало прекращение обмена данными о динамике СТС с зарубежными коллегами. В какой-то мере это затронуло и доступ к данным российских пользователей.

Среди российских участников, продолжающих в настоящее время измерения на площадках CALM, передача данных в общее пользование не регламентирована какими-либо условиями и осуществляется в порядке личной инициативы и неофициальных договоренностей. Правовой статус этих данных и вопросы правообладания никогда не обсуждались. В 2007 году был создан русскоязычный информационный портал о вечной мерзлоте permafrost.su. По настоящее время он является единственным порталом, на котором собраны данные всех когда-либо проводившихся в России измерений на

площадках CALM. В ежегодных Докладах Росгидромета проводится анализ поступивших данных, оцениваются длительные тренды и обсуждаются особенности отдельных лет. С учетом отмеченных обстоятельств, все потенциальные пользователи этих данных должны принимать во внимание, что Росгидромет не может нести ответственность за полноту, качество, и соответствие единым инструментальным и методическим принципам проведенных измерений мощности СТС на различных наблюдательных площадках CALM в пределах криолитозоны России.

Альтернативным источником данных, который лишен указанных недостатков, могут стать измерения, проводимые Росгидрометом на собственной мониторинговой сети. Создание такой сети началось в 2024 г. после того, как в декабре 2023 года Правительством РФ было принято постановление "О создании подсистемы государственного фонового мониторинга состояния многолетней (вечной) мерзлоты". Оператором, осуществляющим ее построение, (ААНИИ Росгидромета), был разработан Руководящий документ, в котором сформулированы требования к пунктам наблюдений и дано их исчерпывающее техническое описание. В частности, в нем указано, что пункты наблюдений должны располагаться вблизи действующих метеостанций Росгидромета на удалении от них не более чем на 10 км и на них не должно быть таликов и криопэгов. До конца 2025 г. будет создана сеть из 140 термометрических скважин глубиной 25,2 метров. Расположение станций создаваемой сети показано на рисунке 7.1.

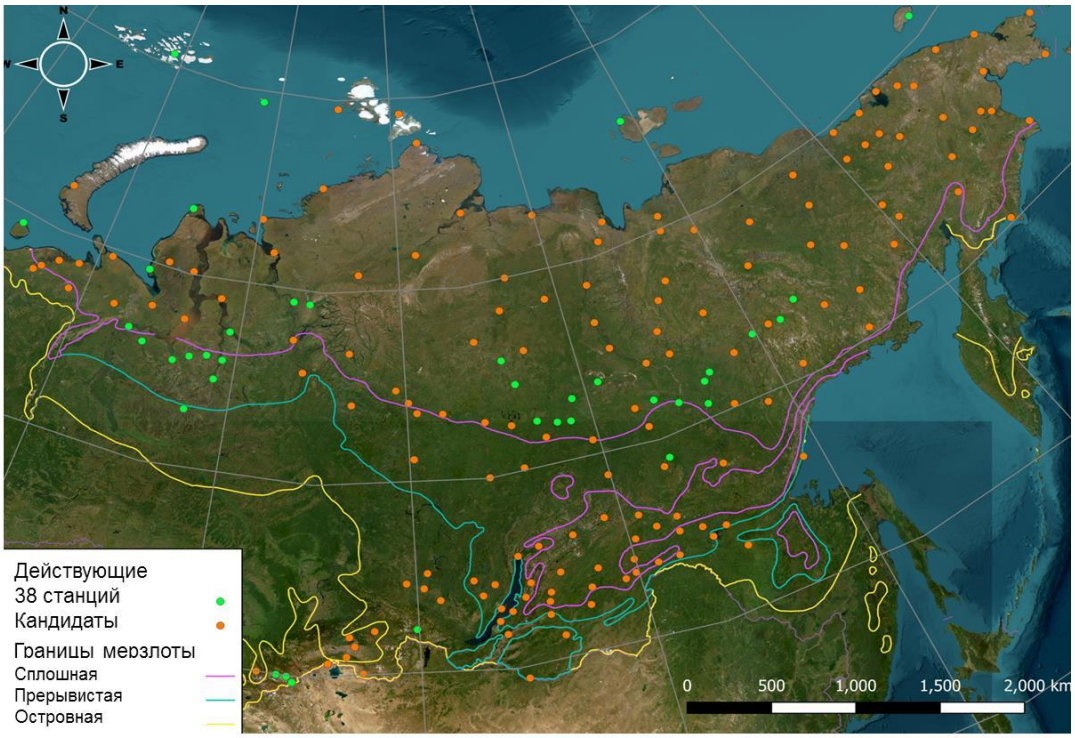

Рисунок 7.1 – Расположение станций создаваемой подсистемы государственного фонового мониторинга состояния многолетней (вечной) мерзлоты

Притом, что создаваемая государственная сеть мониторинга ММГ быстро расширяется и дает в режиме реального времени оперативные данные о текущей температуре грунта, ее пока что нельзя использовать для изучения долгопериодных трендов. Для их расчета требуются временные ряды продолжительностью в несколько десятилетий. Это обуславливает необходимость продолжения наблюдений на созданных ранее площадках и сопоставительного анализа этих данных с наблюдениями на новой сети.

В 2024 году удалось получить данные наблюдений мощности СТС с 16 площадок. На Европейской части криолитозоны доступны данные трех площадок (Воркута, остров Кашин и Сейда), на севере Западной Сибири - 4 площадки (Надым, R1и R1B; Уренгой, R50A и R50B), в Центральной Сибири – 4 площадки (Игарка, две площадки в Якутии и Самойлов). В Восточной Сибири измерения не проводились или в настоящее время

недоступны, для северо-востока РФ (Чукотка и Камчатка) – данные поступили с 6 площадок (Мыс Рогожный, гора Дионисий, залив Св. Лаврентия, Лорино, Анадырь, Плоский Толбачик).

В таблице 7.1 представлены данные за последние три года: 2022, 2023 и 2024, средние значения мощности СТС в см за период 2005-2023 гг. и для 16 площадок с 2005-2024гг, средние тренды СТС (см/10 лет), начиная с 2005 года до 2023 год и разности значений СТС (см) между 2024 и 2023 гг. для 16 площадок.

Таблица 7.1 – Мощность СТС (см) за 2022-2024 гг., средние значения (Ср, см) за 2005-2024 гг., тренды (см/10 лет) за период с 2005 г. по 2023 г. (Тр1) и 2024 г. (Тр2) и разности 2024-2023 гг. на площадках CALM

Код	Широта	Долгота	Название	*2022*	*2023*	*2024*	*СР*	*ТР1*	*ТР2*	Δ
			Север Европейской части							
R2	67,58	64,18	Аяч-Яха, Воркута	90	94	91	88	3	3	-3
R23	67,33	63,73	Тальник	178			152			
R24	68,30	54,50	Болванский	118			114			
R24a	68,23	53,85	Остров Кашин	115	139	100	91	45	39	-39
R52	67,07	62,93	Сейда	58	68	65	57	12	12	-3
			Западная Сибирь							
R1A	65,31	72,86	Надым	199	199	196	161	45	44	-3
R1B	65,23	72,52	Надым	147	158	160	118	58	62	2
R3	69,72	66,75	Марре Сале, п-ов Ямал	118	127		117	8		
R5	70,28	68,90	Васькины Дачи, п-ов Ямал	102			98			
R5A	70,28	68,89	Васькины Дачи, п-ов Ямал	77			74			
R5B	70,30	68,88	Васькины Дачи, п-ов Ямал	84			76			
R5C	70,30	68,84	Васькины Дачи, п-ов Ямал	125			121			
R5D	70,27	68,89	Васькины Дачи, п-ов Ямал	49			47			
R50A	66,31	76,90	Уренгой, ГП5	120	125	125	95	36	36	0
R50B	67,48	76,70	Уренгой, ГП15	112	125	114	97	25	24	-11
R53	66,72	66,08	Харп, Полярный Урал	90	125		108			
R54A	70,89	78,42	Гыда, Гыданский п-ов	102			101			
R54B	70,89	78,43	Гыда, Гыданский п-ов	63			65			
R54C	70,87	78,55	Гыда, Гыданский п-ов	70			70			
R55A	73,33	70,09	Остров Белый (ил)	54	58		56	4		
R55B	73,33	70,09	Остров Белый (песок)	123	125		112	21		
R56	66,71	66,57	Октябрьский				84			
R57	66,70	66,36	Лабытнанги				49			
R59	66,54	66,73	Салехард	65	72					
R60	66,57	66,88	Горнокнязевск	85	74					
R61	66,05	76,64	Новый Уренгой	172	163					
			Центральная Сибирь							
R29B	71,79	71,42	Быковский, дельта Лены (алас)	35	32		32	0		
R29C	71,79	129,42	Быковский, дельта Лены (едома нов.)	38	34		35	7		
R32	69,43	88,47	Талнах, Норильск	113	102		98	13		
R40	67,48	86,43	Игарка	105	103	108	84	30	30	5
R42	62,01	129,66	Туймада, Якутия	208	206	206	203	5	5	0
R43	62,32	129,50	Нелегер, Якутия	133	121	120	124	2	1	-1
R51	72,37	126,48	Самойлов	52	57	56	52	4	4	-1
			Восточная Сибирь							
R13A	70,08	159,58	Мыс Чукочий, Колыма (едома)	40	41		45	-4		
R13B	70,08	159,92	Мыс Чукочий, Колыма (алас)	33	33		40	-2		
R14	69,48	156,98	Река Чукочья, Колыма				46			
R15A	69,38	158,47	Река Конковая, Колыма	23	35		33	-2		
R15B	69,38	158,47	Река Конковая, Колыма	27	38		43	-8		
R16	69,08	158,90	Холм Сегодня, Колыма	36	35		53	-6		
R17	68,82	161,00	Канал Ахмело, Колыма	63	51		58	5		
R18	68,93	161,50	Гора Родинка, Колыма	70			81			
R18A	68,74	161,50	Гора Родинка, Колыма (10 м)	103			102			
R19	68,80	160,95	Озеро Глухое, Колыма	101	98		95	2		
R20	68,52	161,43	Канал Малчиловская, Колыма	60	54		58	4		
R21	68,83	161,03	Озеро Ахмело, Колыма	99	95		102	-5		
R22	69,32	154,98	Река Алазея	58	54		54	2		
R25	69,85	159,50	Озеро Якутское	44	44		48	-5		
R31	70,55	147,43	Аллаиха (Индигирка басин)				47			
R35	68,73	158,90	Омолон	39	37		41	0		
R36	69,17	154,43	Андрюшкино	46	43		41	4		
R38A	68,70	161,55	Гора Родинка (контрольная)				137			
R38B	68,72	161,53	Гора Родинка, (пал)				153			
R38C	68,74	161,39	Гора Родинка (станция)	53			73			
			Дальний Восток							
R9	64,78	176,97	Мыс Рогожный, Чукотка	52	53	46	54	-1	-2	-7
R11	64,57	177,20	Гора Дионисий, Чукотка	57	57	49	59	-2	-3	-8
R27	65,60	-171,05	Лаврентия, Чукотский п-ов	72	62	60	69	4	2	-2
R41	65,54	-171,63	Лорино, Чукотский п-ов	60	56	54	55	11	9	-2
R45	64,63	176,97	Круглая, Анадырь	46	46	40	46	3	0	-6
R30C	55,89	160,54	Плоский Толбачик, Камчатка	52	51		49	2		

Данные трех площадок Европейской части (Аяч-Яха, Воркута, остров Кашин и Сейда) свидетельствуют о сохранении устойчивой положительной тенденции мощности СТС как в течение последних трех лет, так и на протяжении всего периода наблюдений с 2005 года. Наибольший положительный тренд СТС характерен для площадки, расположенной на острове Кашин, однако по сравнению с 2023 годом мощность СТС в 2024 году уменьшилась в этом районе на 39 см. Можно полагать, что климатические условия 2023 года были более благоприятны для таяния вечной мерзлоты по сравнению с 2024 годом.

По данным четырех площадок Западной Сибири (двух из района Надыма и двух из Уренгоя (GP5 и GP15), в этих районах сохраняется высокий положительный тренд мощности СТС, как в течение всего периода измерений с 2005 года, так и в последние три года. Наибольший положительный тренд СТС характерен для района Надыма, где его значения составляют 58 и 45 см/10 лет для двух площадок. В 2023 году мощность СТС была максимальной на всех площадках, также как и на Европейской части криолитозоны РФ.

Для Центральной Сибири в настоящее время доступны данные только 4 площадок, на самой северной из них – Игарка, сохраняются высокие значения мощности СТС в течение трёх последних лет, положительный тренд СТС за последние 20 лет составляет 30 см/10 лет. Для двух станций из центральных районов Якутии (Туйманда, R42, и Нелегер, R43) характерны высокие СТС для последних трех лет, хотя абсолютные значения положительных трендов этих величин значительно меньше тренда на площадке Игарка. Для площадки Самойлов (остров Самойловский в дельте р. Лена, в 650 км к северу от Полярного круга) характерна устойчивая положительная тенденция значений СТС как для всего периода наблюдений, так и для последних трёх лет, хотя значения СТС для последних лет более чем втрое меньше по сравнении с данными СТС для центральных районов Якутии (Туйманда и Нелегер).

Северо-восток криолитозы РФ представлен данными 6 площадок, одна из которых (Плоский Толбачик) характеризует условия Камчатки. Все пять площадок из разных районов Чукотки (Мыс Рогожий, гора Дионисий, залив Св. Лаврентия, Лорино Анадырь) свидетельствует об устойчивом положительном тренде мощности СТС в течение всего периода наблюдений (2005-2024 гг.), причем колебания мощности СТС для всего периода сравнительно небольшие, в пределах нескольких см, что говорит об устойчивом характере таяния вечной мерзлоты в этом районе криолитозоны.

На рисунке 7.2а представлены тренды мощности СТС (см/10 лет) за весь период исследований (2005-2024 гг.) и для сравнения на рисунке 7.2б приводится карта трендов мощности СТС за предыдущий 2023-й год.

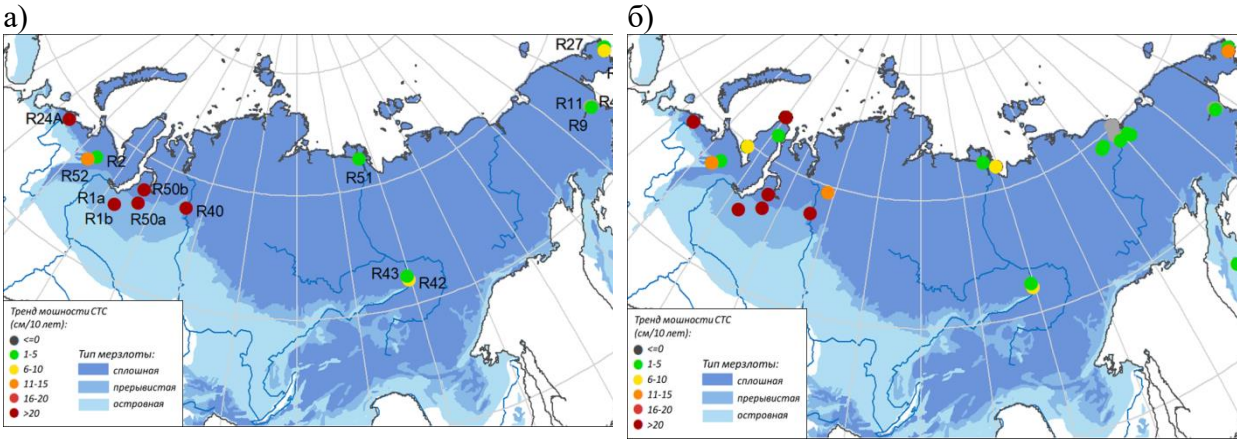

Рисунок 7.2 – а) Тренды мощности СТС (см за 10 лет) за2005-2024 год (16 точек для 2024 года); б) Тренды мощности СТС (см за 10 лет) за2005-2023 год (36 точек для 2023 года)

Сравнение этих двух рисунков показывает, что наиболее значительное увеличение мощности СТС за последние 20 лет отмечается на Европейской части криолитозоны (район

Воркуты) и в западной части Западной Сибири (северная часть полуострова Ямал, район Надыма, Уренгоя и Нового Уренгоя), где расположены основные нефтегазовые районы Западной Сибири.

На рисунках 7.3а и 7.3б представлены карты изменения мощности СТС (см) в 2023 и 2024 годах по отношению к предыдущему году. Как видно из рисунка 7.3а, в 2024 году на севере Европейской территории и на Дальнем Востоке отмечается некоторое уменьшение мощности СТС на площадках, где имеются данные, наиболее значительное на острове Кашин. В Западной и Центральной Сибири – небольшие разнонаправленные изменения.

Все данные, использованные для анализа, доступны на интернет-портале: www.permafrost.su.

а) б)

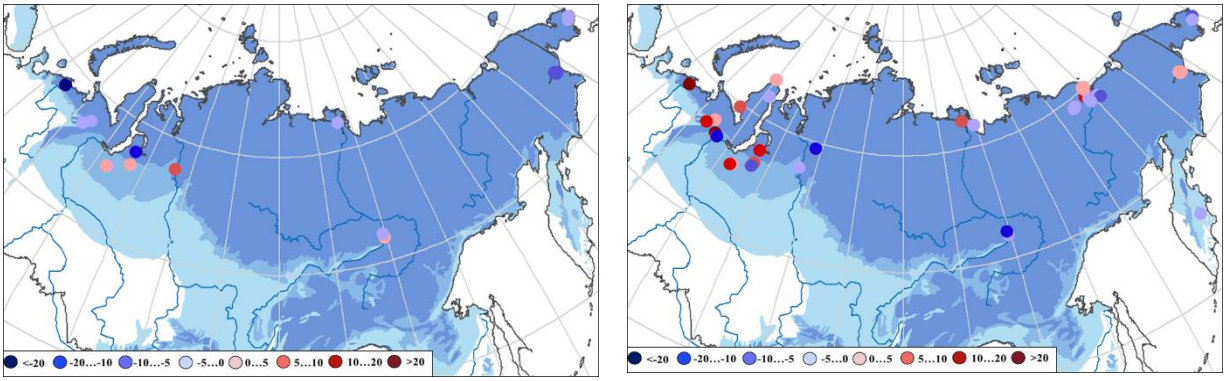

Рисунок 7.3 – Изменение мощности СТС по отношению к предыдущему году (см): а) 2024 год; б) 2023 год

8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Мониторинг агрометеорологической составляющей климата за 2024 год осуществляется по данным наблюдений за температурой воздуха и суммами осадков месячного разрешения с 1951 по 2024 годы для 455 станций на территории России и стран СНГ из базы данных «Климат», поддерживаемой ФГБУ «ИГКЭ».

Оценка аномалий показателей агроклиматических условий и показателей продуктивности за период вегетации основных сельскохозяйственных культур в 2024 году выполняется относительно средних значений за период 1991-2020 гг. с помощью имитационной системы «Климат-Почва-Урожай» (ФГБУ «ВНИИСХМ»).

Анализ текущих значений агроклиматических показателей

Расчёт агроклиматических показателей в 2024 году выполняется по станционным данным сети наблюдений на территории земледельческой зоны России. Аномалии агроклиматических показателей определяются по отношению к средним значениям за 1991-2020 гг. В таблицах 8.1 и 8.2 представлены аномалии показателей термического и влажностного режима вегетационного периода основных сельскохозяйственных культур. Осреднение выполнено 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.

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур

Средняя аномалия температуры зимы по земледельческой зоне России в 2024 году составила −0,2°С, то есть. зима была умеренно холодной. Холоднее на 0,7-1,4°С по сравнению с климатической нормой было на территории СЗФО, УФО и ДФО. В южных

областях ЕЧР наблюдались значительные положительные аномалии температуры воздуха, которые составили на территории СКФО и ЮФО +2,3 и +2,8°С соответственно. В центральных областях ЕЧР и на территории земледельческой зоны Сибири температура была около нормы (аномалия −0,2°С).

Таблица 8.1 – Аномалии показателей термического режима в 2024 г. относительно средних значений за 1991–2020 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), °С						$T_{T>5}$, °С	$T_{зерн.}$, °С	Дата перехода весной, сут., через		Продолжительность периода, сут., с Т (°С)		Сумма температур, °С	
	зима	весна	лето	осень	январь	июль			5°С	10°С	>5	>10	>5	>10
Северо-Западный	−1,4	1,2	1,7	2,9	−3,5	1,4	1,1	0,6	3	−1	9	17	370	446
Центральный	−0,2	1,6	1,9	2,9	−3,2	2,1	1,3	−0,1	−11	−15	15	29	507	603
Приволжский	−0,6	0,7	1,1	2,1	−2,2	1,0	0,5	−0,8	−8	−10	12	20	270	328
Южный	2,8	2,0	2,4	1,4	1,2	3,1	0,8	−0,9	−21	−15	29	14	692	584
Северо-Кавказский	2,3	1,7	1,7	1,0	0,8	1,6	1,5	0,9	−10	−16	16	18	458	484
Уральский	−0,8	0,2	0,5	1,3	−1,1	0,3	−0,3	−0,4	−8	16	8	−10	32	−97
Сибирский	−0,2	0,9	1,5	1,3	1,5	1,9	0,7	1,4	−2	0	1	−1	131	121
Дальневосточный	−0,7	1,1	0,5	1,2	−0,4	1,3	0,3	0,4	−8	0	10	6	137	114
Россия	**−0,2**	**0,9**	**1,3**	**1,9**	**−0,8**	**1,5**	**0,6**	**0,1**	**−6**	**−3**	**10**	**10**	**258**	**265**

Весной средняя температура воздуха превысила норму на 0,7-2,0°С на ЕЧР и на 0,2-1,1°С в Сибири, на Урале и Дальнем Востоке. В среднем по земледельческой зоне России аномалия температуры воздуха весной была положительной (+0,9°С) и достигала максимальных значений в ЮФО (+2,0°С) и СКФО (+1,7°С).

Летном осреднённая по земледельческой зоне аномалия температуры составила +1,3°С. Аномалии на ЕЧР колебались в диапазоне +1,1...+2,4°С, а на АЧР – в более узком диапазоне +0,5...+1,5°С. Максимальная аномалия июля как самого тёплого месяца составила +3,1°С в ЮФО, +2,1°С в ЦФО и +1,9°С в СФО.

На территории возделывания озимых зерновых культур даты возобновления вегетации (переход через 5°С весной) наблюдались значительно раньше среднемноголетней даты, и аномалии составляли от −21 до −2 суток. В основных сельскохозяйственных регионах возделывания озимых на ЕЧР, в ЦФО, ПФО и ЮФО, начало вегетации отмечалось ранее среднемноголетней даты на 1-3 недели. В земледельческой зоне Сибири также наблюдалось раннее возобновление вегетации, но менее выраженное (аномалии от −8 до −2 суток).

Продолжительность периода вегетации (Т>5°С) и периода активной вегетации (Т>10°С) превышала среднемноголетние значения на всей исследуемой территории, и в среднем аномалия составила +10 суток. Вегетационный период в южных регионах длился на месяц дольше (аномалия +29 суток), а период активной вегетации – на две недели (+14 суток).

Самый напряжённый термический режим сложился на территории ЮФО, где положительные аномалии суммы температур воздуха за период вегетации (Т>5°С) достигли экстремальных значений – до +690°С. Высокие значения этого показателя зафиксированы также на территории СКФО и ЦФО, где аномалии составили от +460 до +510°С. Менее напряжённый температурный режим наблюдался на территории АЧР, где за периоды вегетации и активной вегетации сумма температур отклонилась от среднего значения за базовый период на ~30-140°С. Исключение составляет территория УФО, где наблюдались отрицательные аномалии сумм активных температур воздуха (−97°С) (таблица 8.1, рисунок 8.1).

На ЕЧР наблюдались отрицательные аномалии средней температуры воздуха за вегетационный период яровых зерновых культур от даты всходов до уборки от −0,1°С в ЦФО

до −0,9°С в ЮФО (таблица 8.1, $T_{зерн.}$) вследствие значительного сдвига фенологических фаз на более ранние сроки. На АЧР, напротив, зафиксированы положительные аномалии – от +0,4°С на Дальнем Востоке до +1,4°С в Сибири.

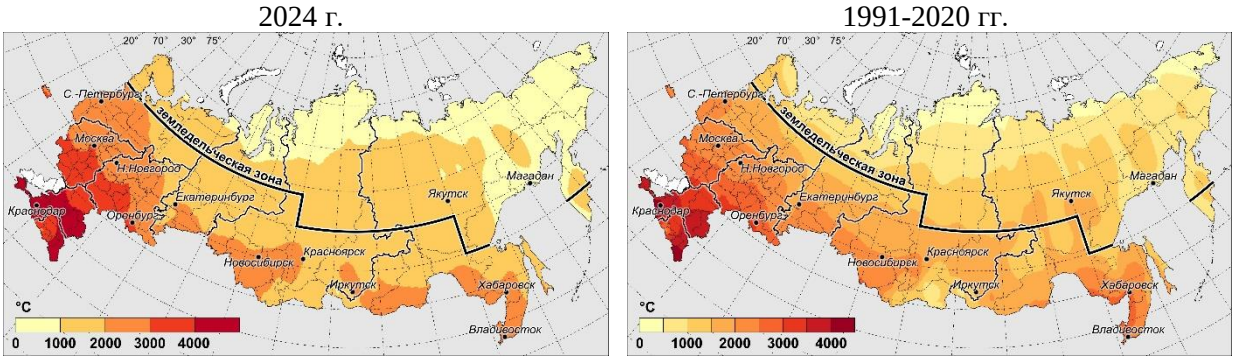

Рисунок 8.1 – Сумма температур выше 10°С (°С) за 2023 г. и средние значения за 1991–2020 гг.

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур

Оценка увлажнённости территории осуществлялась на основе следующих показателей: сумма осадков по сезонам года, гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК), индекс сухости М. И. Будыко (ИС), сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ($R_{зерн.}$) и сумма осадков за тёплый период года ($R_{T>5}$).

Количество выпавших осадков за период вегетации яровых зерновых культур в 2024 году в среднем по территории земледельческой зоны России было близко к среднему за период 1991-2020 гг., но значительно разнилось по регионам (таблица 8.2, $R_{зерн.}$). Благоприятные агроклиматические условия по увлажнённости наблюдались в вегетационный период зерновых культур на АЧР, в УФО и СФО, где осадков выпало на 33 и 20% выше нормы соответственно. В ДФО зафиксированы близкие к норме осадки (аномалия −3%). На всей территории ЕЧР осадков выпало меньше среднемноголетних значений, аномалии составили от −11% в ЦФО до −36% в ЮФО. В СЗФО наблюдались незначительные для этой достаточно хорошо увлажнённой территории отрицательные аномалии атмосферных осадков (−14%). В целом, сезонное распределение осадков неравномерное – с максимумом зимой и минимумом в осенний период.

Таблица 8.2 – Аномалии показателей влажностного режима в 2024 г. относительно средних значений за 1991-2020 гг.

Федеральный округ	Сумма осадков, %					$R_{T>5}$, %	$R_{зерн.}$, %	$ГТК_{май–авг.}$, ед.	ИС, ед.
	зима	весна	лето	осень	год				
Северо-Западный	11	4	−2	−19	−3	−2	−14	−0,30	0,14
Центральный	50	−33	−5	−14	−2	−13	−11	−0,18	0,22
Приволжский	27	−14	7	−27	−2	−8	−17	0,01	0,15
Южный	36	−53	−30	−6	−13	−18	−36	−0,29	0,48
Северо-Кавказский	31	0	−4	−8	2	−26	−30	−0,11	0,11
Уральский	47	16	32	−38	14	19	33	0,43	−0,16
Сибирский	20	28	25	8	20	25	20	0,19	−0,11
Дальневосточный	−7	−4	23	−11	2	−2	−3	0,25	0,01
Россия	**21**	**−2**	**9**	**−13**	**3**	**1**	**−2**	**0,05**	**0,07**

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2024 году весной на дату возобновления вегетации и до фазы колошения зерновых культур были достаточными во всех сельскохозяйственных районах и колебались в диапазоне от 94 мм (СКФО) до 216 мм (СЗФО). Следует отметить высокий уровень увлажнённости почвы за период с мая по

сентябрь в основных зернопроизводящих регионах на ЕЧР – в ЦФО и ПФО, а на АЧР – в СФО и ДФО. Локальная почвенная засуха могла наблюдаться в ЮФО и СКФО в период с июня по август, то есть практически весь вегетационный период зерновых культур (таблица 8.3).

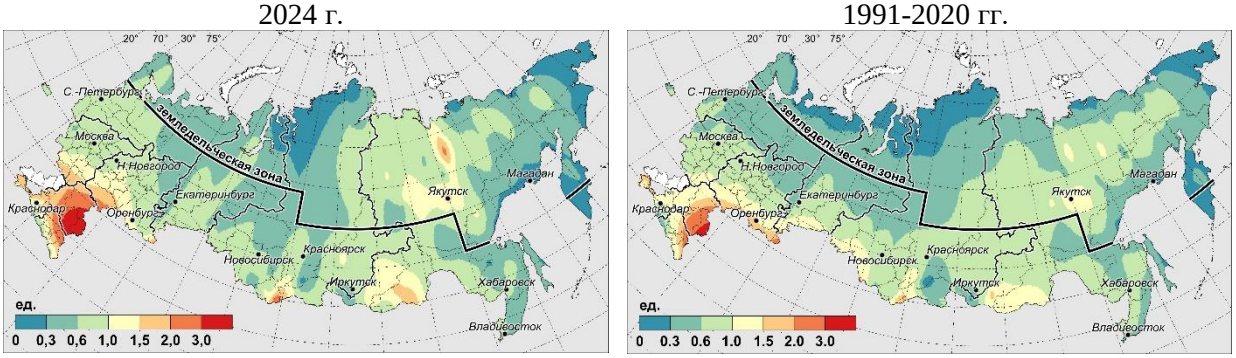

Рисунок 8.2 – Индекс сухости М.И. Будыко за 2023 г. и средние значения за 1991–2020 гг.

Таблица 8.3 – Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2024 г. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай.

Федеральный округ	Запасы продуктивной влаги, мм					
	0-100 см				**0-20 см**	
	возобновление вегетации	май	июнь	июль	август	сентябрь
Северо-Западный	216	168	110	100	20	28
Центральный	199	122	94	76	11	13
Приволжский	159	73	69	52	14	14
Южный	137	57	34	31	6	11
Северо-Кавказский	94	46	26	21	5	11
Уральский	120	102	67	55	18	15
Сибирский	165	145	93	86	20	26
Дальневосточный	135	113	91	89	30	32
Россия	**159**	**110**	**79**	**69**	**17**	**19**

** 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

Оценки линейных трендов агроклиматических показателей за период 1976-2024 гг. приведены в таблице 8.4.

Продолжается рост теплообеспеченности тёплого периода года (T>5°C) и периода активной вегетации (T>10°C) сельскохозяйственных культур повсеместно в земледельческой зоне. Оценки коэффициента линейного тренда для суммы активных температур воздуха и суммы температур выше 5°C показывают, что скорость роста этих показателей на ЕЧР выше, чем на АЧР (рисунок 8.3). Средняя скорость роста по земледельческой зоне составляет ~90°C/10 лет. Процесс потепления наиболее интенсивно продолжается в южных регионах ЕЧР, в ЮФО и СКФО, где скорость роста показателей теплообеспеченности составляет от ~140 до 190°C/10 лет. На АЧР скорость роста этих показателей остаётся значительно ниже – от ~50 до 70°C/10 лет.

Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода (T>5°C) и периода активной вегетации (T>10°C). Максимальная скорость роста продолжительности вегетационного периода наблюдается в ЮФО и СКФО и составляет 6-7 суток/10 лет. В центральных и северо-западных областях ЕЧР скорость роста несколько ниже – 4-5 суток/10 лет.

Благоприятным фактором остаётся положительная тенденция к росту весенних осадков в земледельческой зоне, средняя оценка составляет 4,5 мм/10 лет. При этом максимальная скорость роста характерна для ДФО (~6 мм/10 лет), а минимальная – для

ЮФО (до ~3 мм/10 лет). Тенденция к снижению летних осадков по оценке за 1976-2024 гг. сохраняется в основных сельскохозяйственных регионах на ЕЧР, за исключением СЗФО (0 мм/10 лет). Напротив, сохраняется тенденция к росту осадков летнего периода в Сибири и на Дальнем Востоке со скоростью от ~5 и ~9 мм/10 лет соответственно.

Таблица 8.4 – Оценки линейных трендов показателей термического и влажностного режимов за период 1976–2024 гг.

Федеральный округ	Средняя температура воздуха (Т), °С/10 лет		Дата перехода через 5°С весной, сут./10 лет	Продолжительность периода Т>5°С, сут./10 лет	Сумма температур, °С/10 лет		Сумма осадков, мм/10 лет		$ГТК_{май–авг.}$, ед./10 лет	ИС, ед./10 лет
	весна	лето			>5	>10	весна	лето		
Северо-Западный	0,4	0,5	−1,5	3,9	99	107	3,1	0,0	−0,04	0,02
Центральный	0,4	0,6	−1,8	5,0	126	121	3,9	−9,8	−0,08	0,04
Приволжский	0,5	0,5	−1,6	4,2	100	95	4,9	−9,6	−0,07	0,05
Южный	0,4	0,8	−4,2	6,8	183	165	2,6	−6,4	−0,04	0,07
Северо-Кавказский	0,4	0,6	−3,7	6,2	153	139	3,4	−3,8	−0,02	0,03
Уральский	0,5	0,2	−1,5	2,9	61	61	4,2	−0,1	−0,02	0,02
Сибирский	0,7	0,3	−2,0	3,1	59	53	4,0	4,7	0,01	0,00
Дальневосточный	0,4	0,3	−1,6	2,9	63	67	5,6	9,3	0,03	0,01
Россия	**0,5**	**0,4**	**−2,0**	**3,9**	**90**	**88**	**4,5**	**−0,4**	**−0,03**	**0,03**

В среднем по земледельческой зоне по оценкам за период 1976-2024 гг. степень засушливости растёт: оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и ИС за весь тёплый период года (Т>5°С) составляют −0,03/10 лет и 0,03/10 лет соответственно. Тенденции изменений ГТК и ИС (рисунок 8.3) отрицательные на всей территории, за исключением отдельных областей Сибири и Дальнего Востока.

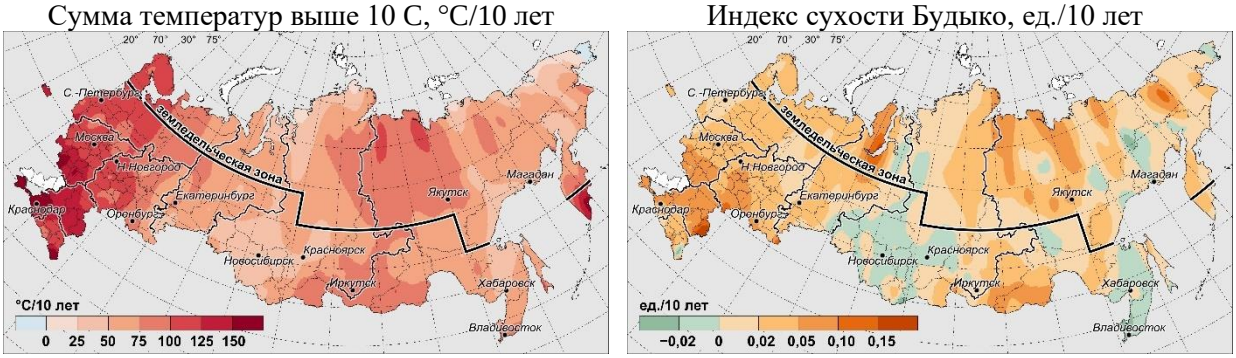

Рисунок 8.3 – Скорость изменения (линейный тренд) суммы температур выше 10°С (°С/10 лет) и индекса сухости М.И. Будыко (ед./10 лет) за период 1976–2024 гг.

Продуктивность сельскохозяйственных культур

Агроклиматическая оценка условий формирования урожайности основывается на комплексных показателях продуктивности сельскохозяйственных культур – климатически обусловленной урожайности и биоклиматическом потенциале (БКП). Аномалии показателей продуктивности в 2024 году определяются относительно средних значений за предшествующие пять лет, с 2019 по 2023 годы (рисунок 8.4).

В основных зернопроизводящих областях ЦФО и ПФО климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы в среднем ниже уровня предшествующего пятилетия на 10%. Исключение составляют Оренбургская область и Республика Башкортостан, где аномалии климатически обусловленной урожайности положительные, +50 и +20% соответственно.

На территории СЗФО значения климатически обусловленной урожайности близки к средним за предшествующее пятилетие (средняя аномалия −2%).

На территории СФО и ДФО климатически обусловленная урожайность в среднем ниже уровня предшествующего пятилетия на 10%. В СФО по полученным оценкам величина климатически обусловленной урожайности выше среднего на 19% в Омской области, на уровне среднего – в Кемеровской области. На остальной части территории оценки отрицательные, от −10 до −15% (в Алтайском крае – −14%).

В ЮФО и СКФО в 2024 году аномалии климатически обусловленной урожайности в среднем отрицательные и составляют от −15 до −25%. В то же время, по отдельным областям наблюдались положительные аномалии. Так, в Краснодарском крае климатически обусловленная урожайность составила +8% по отношению к периоду 2019-2023 гг.

На территории УФО наблюдались достаточно благоприятные агроклиматические условия, и в 2024 году положительные аномалии климатически обусловленной урожайности в среднем составили +30% относительно 2019-2023 гг.

БКП в 2024 году оценивается в целом по земледельческой зоне на уровне среднего за 2019-2023 гг. (−1%), но при значительном различии по регионам. Максимальные положительные аномалии зафиксированы в УФО (+27%), а максимальные отрицательные зафиксированы в ЮФО и СКФО – −22 и −26% соответственно. В СЗФО, ПФО и СФО оценки БКП близки к среднему за предшествующие пять лет.

БКП | Яровая пшеница

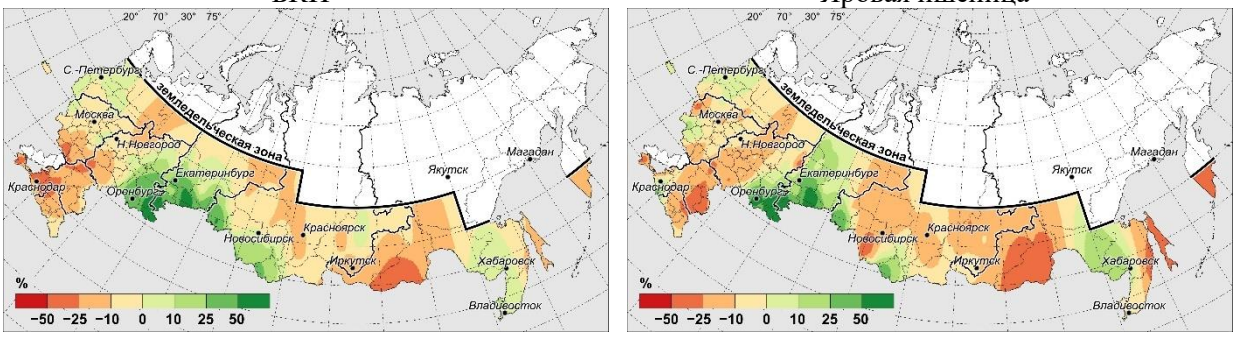

Рисунок 8.4 – Отклонения (%) значений биоклиматического потенциала и климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы за 2024 г. относительно средних за 2019–2023 гг. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай

Условия увлажнённости посевов озимых культур урожая 2025 года осенью 2024 года оцениваются как достаточно благоприятные в центрально-чернозёмных областях и в ПФО в третьей декаде августа и первой декаде сентября (рисунок 8.5). По данным наблюдений в чернозёмной зоне ЦФО запасы продуктивной влаги в среднем были несколько ниже, чем в аналогичный период предшествующих лет, в 2022 и 2023 годы, – на уровне 11-20 мм, и превышали критический уровень, равный 10 мм.

3 декада августа | 1 декада сентября | 2 декада сентября

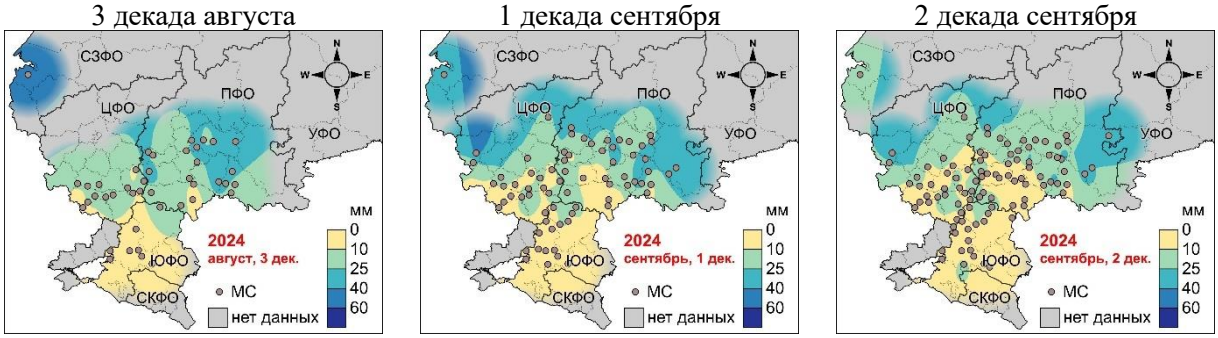

Рисунок 8.5 – Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы под озимой пшеницей на третью декаду августа, первую и вторую декады сентября 2024 года (по данным наблюдений)

На большей части ЮФО влагообеспеченность в пахотном слое была недостаточной, начиная с третьей декады августа. Недостаточные запасы влаги в пахотном слое почвы ниже критических значений (≤10 мм) наблюдались практически на всей территории округа. В первой декаде сентября запасы влаги пахотного слоя почвы на севере округа поддерживались на уровне 11-15 мм, но уже во второй декаде сентября запасы влаги опустились ниже 10 мм.

В целом, продуктивные запасы влаги в осенний посевной период в 2024 году оцениваются как достаточные для ЦФО и северных областей ПФО и как недостаточные для территории ЮФО и южных областей ПФО.

9. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

2024 год был аномальным по количеству опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Впервые за довольно большой ряд наблюдений количество ОЯ превысило все предыдущие значения и составило 1234 в целом по территории России и 493 нанесших значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. Предупрежденность ОЯ составила соответственно 96,1 и 96,3%.

Динамика общего числа ОЯ за 17 лет показана в таблице 9.1 и на рисунке 9.1.

Таблица 9.1. Распределение опасных гидрометеорологических явлений за период с 2008 по 2024 год.

Таблица 9.1 – Распределение опасных гидрометеорологических явлений за период с 2008 по 2024 год.

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Кол-во ОЯ	1090	923	972	760	987	963	898	973	988	907	1040	903	1000	1205	976	1191	1234

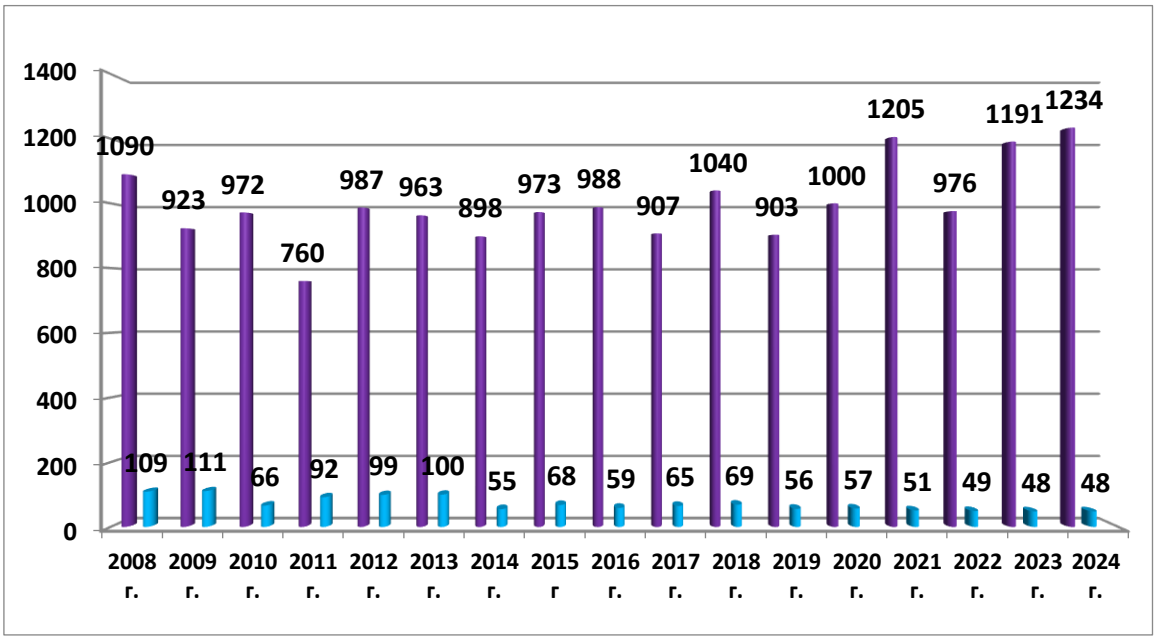

Рисунок 9.1 – Распределение зарегистрированных гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (фиолетовый) и количество непредусмотренных ОЯ (голубой)

В целом за год учреждениями Росгидромета было выпущено 2634 штормовых предупреждения (в 2023 году – 2224), оправдываемость которых составила 96,5%, что практически на уровне прошлого года (96,2%).

Выпущено 237 штормовых предупреждений о лавинной опасности в горных районах Российской Федерации.

На рисунке 9.2 приведены данные Росгидромета за 1996–2024 гг. о динамике количества опасных гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

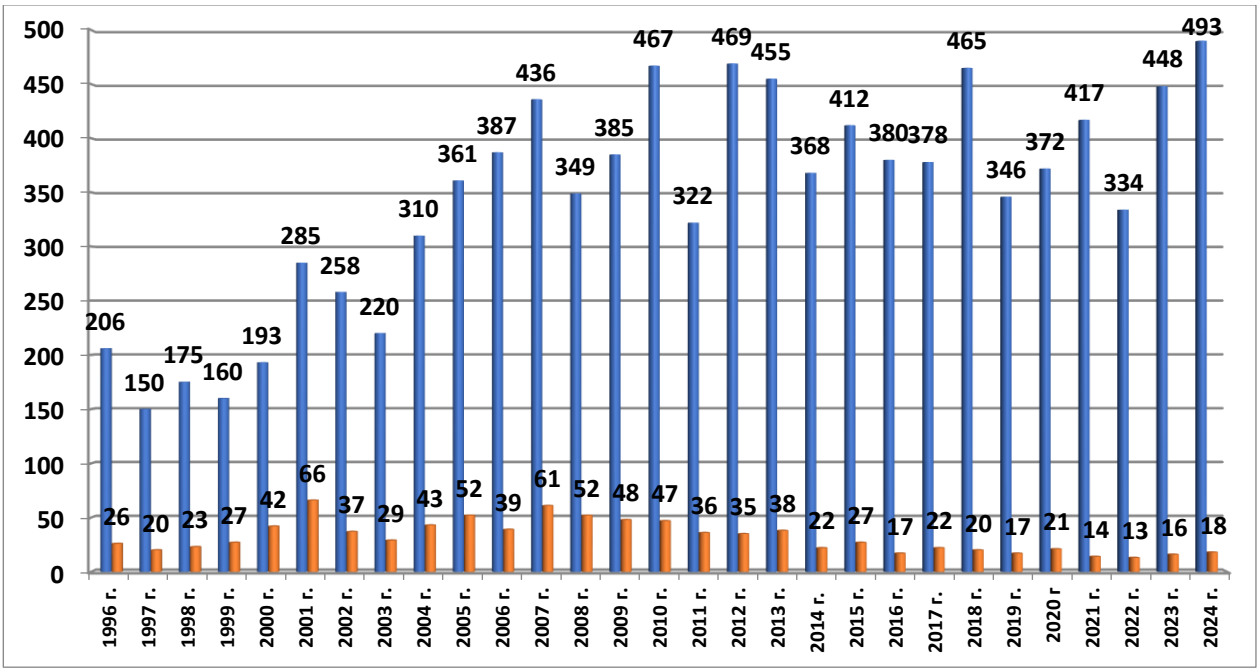

Рисунок 9.2 – Распределение гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (синий) и количество непредусмотренных ОЯ (красный)

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

Из наиболее резонансных метеорологических явлений можно отметить следующие.

30-31 мая в Краснодарском, Ставропольском краях. Карачаево-Черкесии прошли дожди, выпал крупный град, усиливался ветер. В Краснодарском крае поврежден плодоносящий яблоневый сад на площади 23 га, сельхозкультуры на общей площади 3367 га, автомобили. В Ставропольском крае градом повреждены плодовые деревья (яблони) на площади 620 га, сельхозкультуры на общей площади 3154 га, автомобили; из-за ливня и ветра произошло аварийное отключение электроэнергии в 9 населенных пунктах, были повалены деревья. В Карачаево-Черкесской Республике повреждено 40 социально-значимых объектов, 142 здания и сооружения, 3000 частных домовладений, 13 многоквартирных домов, повреждены автомобили, повалено более 160 деревьев; пострадали 80 человек, 1 человек погиб.

20 июня в Москве и Московской области наблюдался очень сильный ветер порывами 25-26 м/с. В Москве повалено 660 деревьев, повреждено 124 автомобиля, пострадали 5 человек; в Московской области повалено 903 дерева, повреждено 443 автомобиля, пострадали 7 человек, в том числе 2 погибли.

4-5 июля в Калужской, Тверской, Рязанской, Московской областях и Москве прошли сильные и очень сильные дожди, сильные ливни, в Тверской области ветер усиливался до 26 м/с. В результате повалено более 130 деревьев, повреждены 20 автомобилей, отмечались многочисленные отключения электроэнергии, в Дмитровском городском округе Московской области местами размыто дорожное полотно, пострадали 3 человека.

В ФГБУ «Гидрометцентр России» ведется статистика только опасных метеорологических явлений (ОЯ). В 2024 году на территории России было

зарегистрировано рекордное количество: 679 случая возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений (КМЯ), сочетание которых образует ОЯ. (рисунок 9.3). В предшествующем 2023 г. было 642 случая ОЯ и КМЯ, то есть в 2024 г. их количество увеличилось на 6%.

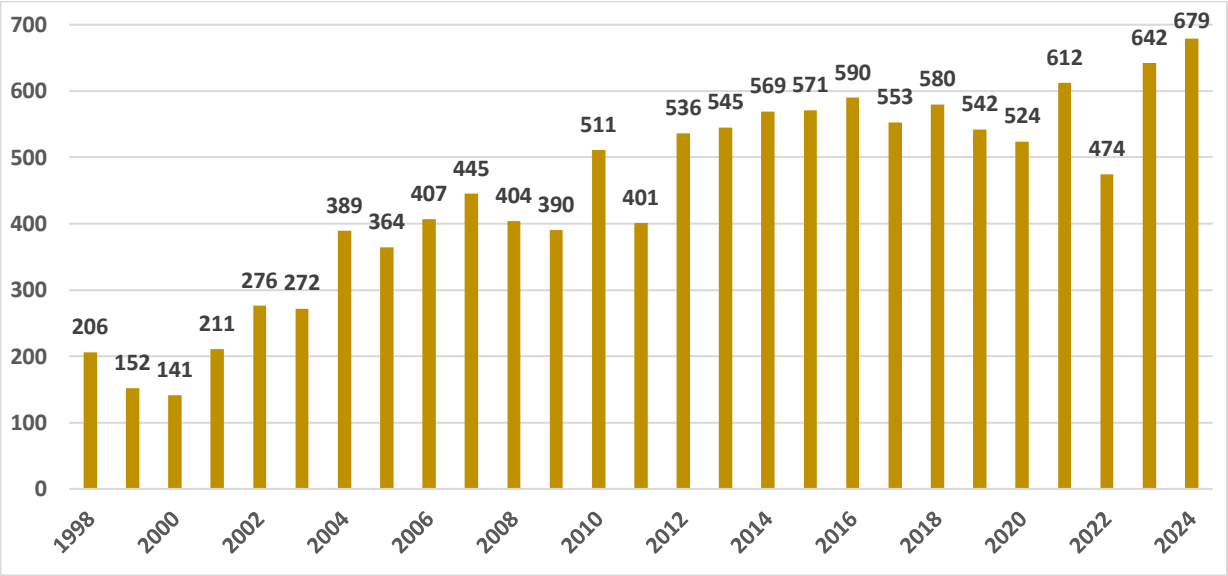

Рисунок 9.3 – Распределение метеорологических ОЯ по годам

По сравнению с 2023 г в 2024 г. увеличилось: количество очень сильных осадков на 19%; очень сильного ветра на 4%; сильной жары и аномально жаркой погоды на 24%; сильного гололеда на 48%. Уменьшилось только количество случаев града на 17%, заморозков на 5%, метелей и аномально холодной погоды на 42%.

Самой высокой была повторяемость очень сильных осадков, очень сильного ветра, КМЯ и заморозков. Суммарное количество этих четырех явлений составляет 79% от всех опасных метеорологических явлений в 2024 г. 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.

По-прежнему наибольший ущерб хозяйству страны нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер, град, заморозки и чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в период с апреля по октябрь. Заморозки на Европейской части России были столь частыми и сильными, что вновь, как и 2023 г., погибли завязи плодово-ягодных деревьев.

В таблице 9.2 представлено распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2024 год, а в таблице 9.3 – по федеральным округам РФ. Из таблицы 9.3 следует, что на территории Сибирского, Дальневосточного и Южного федеральных округов зарегистрировано 373 случаев (55%) всех ОЯ и КМЯ. Это связано с тем, что территория этих округов обладает наибольшими размерами и характеризуется очень активными атмосферными процессами.

По сравнению с 2023 г. в 2024 г. количество ОЯ и КМЯ увеличилось: в Центральном и Поволжском федеральных округах на 40 %, в Уральском и Сибирском федеральных округах на 12%. В остальных федеральных округах количество ОЯ и КМЯ уменьшилось от 2 до 13%.

Наибольшую повторяемость метеорологические ОЯ и КМЯ имели в теплый период года (с мая по август) – 389 случаев (57%). Это связано с тем, что в этот период по всей территории России возрастает число ОЯ, обусловленных активной конвекцией.

Таблица 9.2 – Распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2024 год

Явления	Месяцы												ГОД 2024	ГОД 2023
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*		
Сильный ветер	12	14	9	9	14	23	12	5	4	4	19	15	**140**	**135**
Очень сильные осадки	13	4	2	3	6	44	60	50	14	8	6	7	**217**	**183**
Сильная метель	1	3	1								1	1	**7**	**12**
Смерч						1							**1**	**4**
Сильный мороз	5	7										2	**14**	**10**
Аномально холодная погода	6	5											**11**	**19**
Сильная жара					1	10	14	7	2				**34**	**28**
Аномально жаркая погода				2	1	4	5	2	3				**17**	**13**
Крупный град				1	3	11	4	4	1				**24**	**29**
Сильный гололед, налипание мокрого снега	6	7		1	2					1	3	11	**31**	**21**
Заморозки				7	36	7		1	20	4			**75**	**79**
Туман				1							1		**2**	**3**
КМЯ	8	5	6	6	11	28	13	10	5	3	8	3	**106**	**106**
Итого за 2024 г.	**51**	**45**	**18**	**30**	**74**	**128**	**108**	**79**	**49**	**20**	**38**	**39**	**679**	
Итого за 2023 г.	**39**	**31**	**39**	**33**	**47**	**76**	**109**	**73**	**51**	**38**	**55**	**51**		**642**

Таблица 9.3 – Распределение метеорологических ОЯ в 2024 г. по территории федеральных округов.

№	Явления	Федеральные округа								Всего	Всего
		СЗФО	ЦФО	ПФО	ЮФО	СКФО	УФО	СФО	ДВФО	2024	2023
1	Сильный ветер	14	4	14	8	12	12	53	23	**140**	**135**
2	Очень сильные осадки	6	17	24	47	23	18	38	44	**217**	**183**
3	Сильная метель			1					6	**7**	**12**
4	Смерч						1			**1**	**4**
5	Сильный мороз	6	2	2			3	1		**14**	**10**
6	Аномально холодная погода	2	1	3			2	1	2	**11**	**19**
7	Сильная жара	3	11	1	5	5	1	7	1	**34**	**28**
8	Аномально жаркая погода	4	2	4	2		2	3		**17**	**13**
9	Крупный град		1	3	10	6	1	3		**24**	**29**
10	Сильный гололед, налипание мокрого снега		6	4	10	4	2	3	2	**31**	**21**
11	Заморозки	5	16	15	12		11	9	7	**75**	**79**
12	Туман			2						**2**	**3**
13	КМЯ	2	1	9	18	15	3	32	26	**106**	**106**
Итого за 2024 г.		**42**	**61**	**82**	**112**	**65**	**56**	**150**	**111**	**679**	
Итого за 2023 г.		**44**	**44**	**57**	**120**	**66**	**50**	**133**	**128**		**642**
отклонение от 2023 г. в %		**-5**	**+39**	**+44**	**-7**	**-2**	**+12**	**+13**	**-13**		

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 (так называемых «срочных» актинометрических наблюдений). Преимущественное внимание уделяется анализу таких видов радиации как прямая солнечная радиация на горизонтальной поверхности, рассеянная и суммарная радиация. Для оценки условий 2024 г. использованы данные

станций со срочными наблюдениями (всего 74 станции), для которых своевременно поступила качественная оперативная информация. Расчет аномалий (в процентах от норм) и анализ сезонных особенностей радиационного режима в 2024 г. осуществлялся при использовании базового периода 1991 – 2020 гг. Оценка вероятностей непревышения текущих аномалий выполнялась по данным полного ряда наблюдений, начиная с 1961 г.

Основной особенностью глобальных ***многолетних*** изменений приходящей радиации, обнаруживаемых на территории России, является пониженное поступление радиации (возможно, обусловленное воздействием крупных вулканических извержений) в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века и связанный с этим отрицательный тренд прямой и суммарной радиации на интервале 1961-90 гг. В последнее десятилетие 20-го столетия во всех крупных регионах России произошел возврат к значениям приходящей радиации, близким к норме. Изменения, происходящие в начале XXIв., 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 2023 г. (последнего года со всеми доступными месячными аномалиями) не изменяет полученные ранее основные выводы.

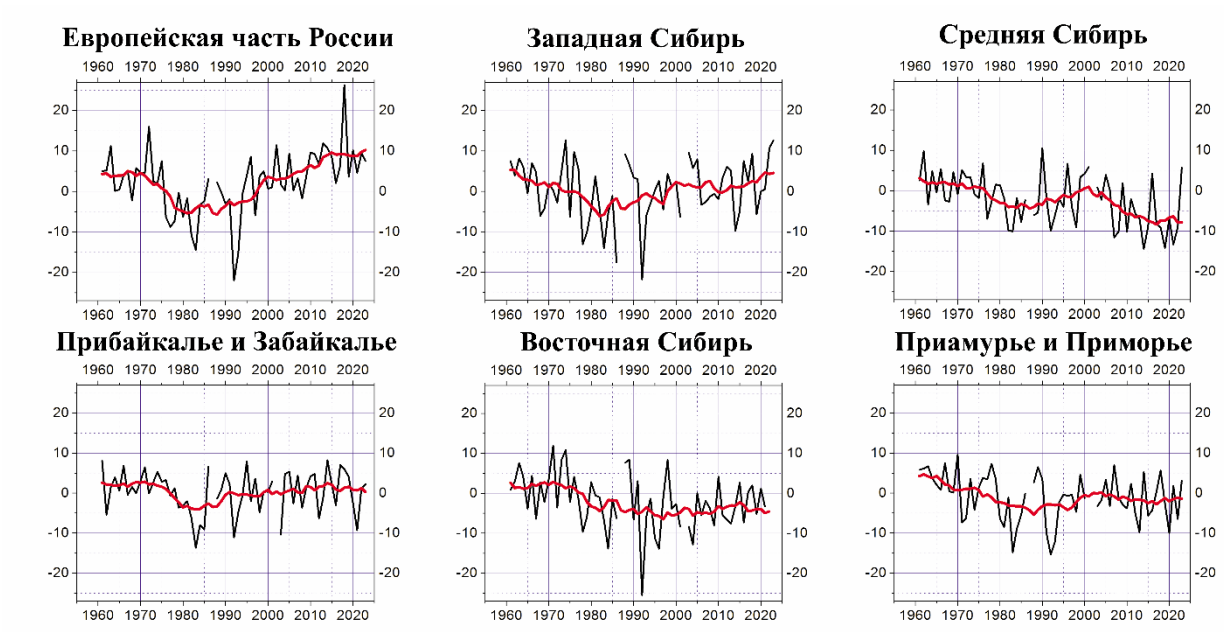

Рисунок 10.1 – Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. *Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние)*

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 2023г. 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.

В **зимний сезон** 2023/24гг. практически на всей азиатской территории РФ, а также в юго-восточной части ЕЧР, отмечался повышенный приход прямой радиации. В то же время в западных районах европейской территории, под действием атлантических циклонов, приносящих низкую облачность и частые обильные осадки, наблюдалась отрицательная аномалия прямой радиации.

На формирование положительной сезонной аномалии наибольшее влияние оказали атмосферные процессы февраля, когда сибирский антициклон, благоприятствовал преобладанию в АЧР морозной ясной погоды. Месячный приход прямой радиации в феврале на ряде метеостанций Магаданской области и Якутии, а также на юго-востоке ЕЧР, достиг рекордно-высоких значений (рисунок 10.2). Вклад февраля (когда с ростом высоты солнца заметно увеличивается приход солнечной радиации) привел к тому, что практически на всей территории РФ сезонные суммы прямой радиации были выше медианных значений. При этом в отдельных районах - на востоке АЧР и на юго-востоке европейской территории – достигнутые значения прямой радиации были выше 90-го процентиля (рисунок 10.3).

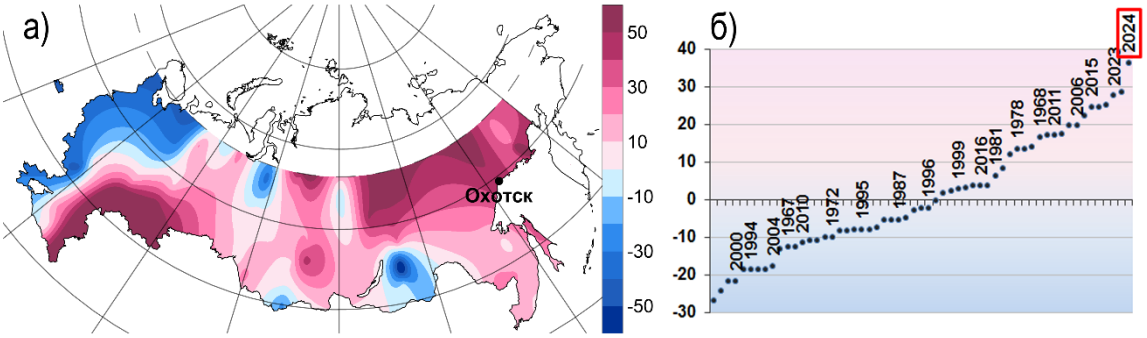

Рисунок 10.2 – Аномалии месячных сумм прямой солнечной радиации (а) и ранжированный ряд аномалий на станции Охотск (б). Февраль 2024г.

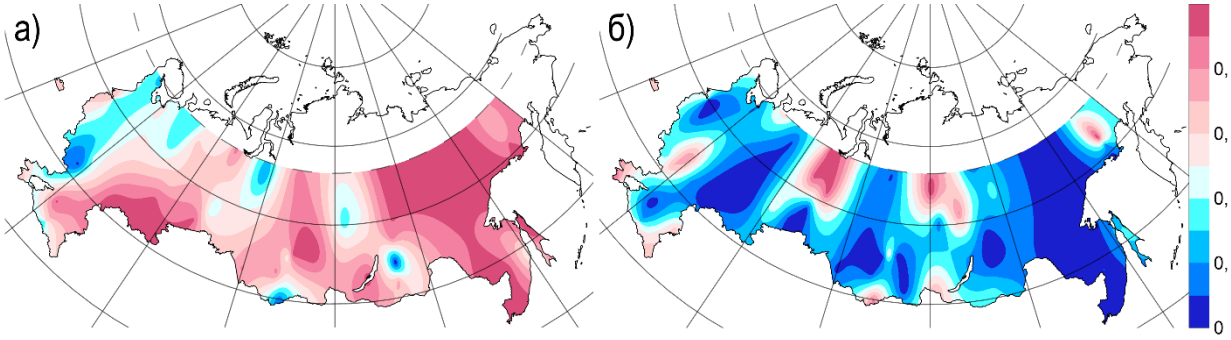

Рисунок 10.3 — Вероятности непревышения сезонных сумм прямой солнечной (а) и рассеянной (б) радиации. Зима 2023/24 гг.

Особенности поля суммарной радиации в зимний сезон в значительной мере обусловлены пониженными значениями рассеянной радиации, вероятность непревышения которых на большей части территории РФ не превосходит 0,3 (рисунок 10.3). Вследствие этого крупные аномалии в поле прямой радиации в АЧР проявились в поле суммарной радиации в сильно ослабленном виде (рисунок 10.4), а на территории ЕЧР практически везде регистрировались значения суммарной радиации, не превосходящие медианных значений.

Весной на европейской территории область положительных аномалий прямой радиации охватила Новгородскую, Курскую, Рязанскую и Саратовскую области, где сезонные суммы были выше средних многолетних значений на 25-30%, а в мае были зарегистрированы рекордно-высокие значения месячных сумм прямой радиации (Валдай, рисунок 10.5). В Восточной Сибири и на севере Дальнего Востока под влиянием гребней сибирского антициклона сформировалась обширная область с положительными аномалиями небольшой интенсивности. В области отрицательных аномалий,

распространившейся на Кольский полуостров, северо-восток ЕЧР, Западную и Среднюю Сибирь, отмечались значения сезонных сумм прямой радиации, не превышающие 20-го процентиля (рисунок 10.6).

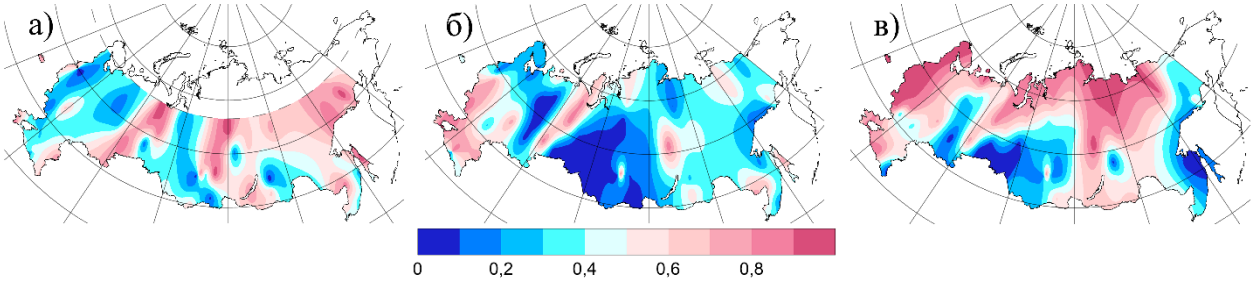

Рисунок 10.4 – Вероятности непревышения сезонных сумм суммарной солнечной радиации зимой 2023-2024 гг. (а), весной 2024 г. (б) и летом 2024 г. (в)

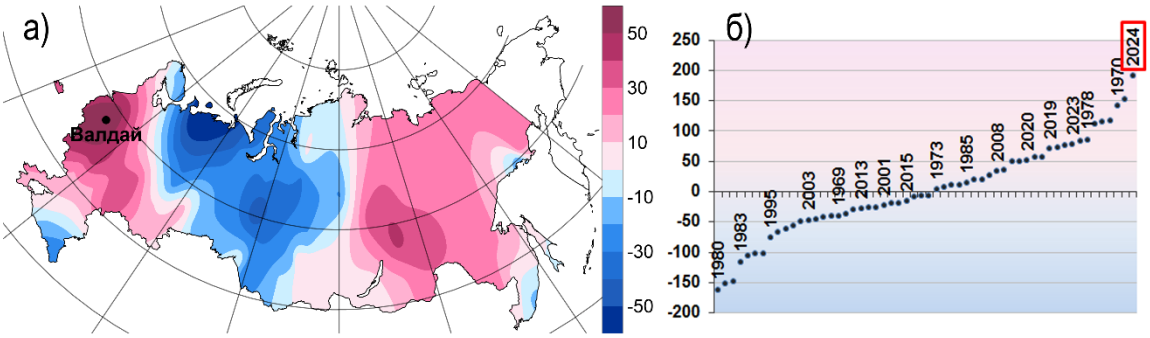

Рисунок 10.5 – Аномалии месячных сумм прямой солнечной радиации (а) и ранжированный ряд аномалий на станции Валдай (б). Май 2024 г.

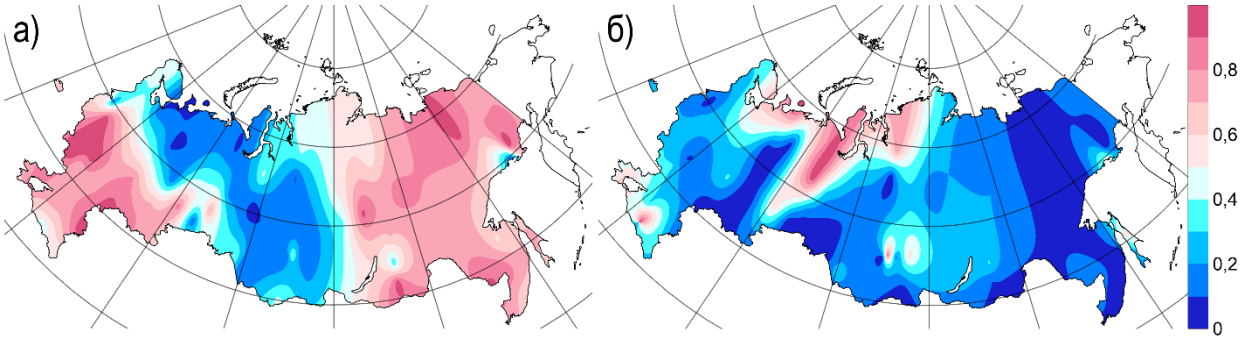

Рисунок 10.6 – Вероятности непревышения сезонных сумм прямой солнечной (а) и рассеянной (б) радиации. Весна 2024 г.

В поле суммарной радиации весной хорошо проявилось влияние положительных аномалий прямой радиации на юге ЕЧР и интенсивных отрицательных аномалий прямой радиации в Западной и Средней Сибири. В восточной части азиатской территории доминировал пониженный фон рассеянной радиации (рисунок 10.3).

В **летний сезон** европейская территория России, за исключением юго-восточных районов, в результате влияния малоподвижных антициклонов, обеспечивающих преобладание сухой малооблачной погоды, в течение всех летних месяцев находилась в области обширной положительной аномалии. В августе над российским сектором Арктики, особенно над Баренцевым и Карским морями, отмечалась необычайно интенсивная антициклональная деятельность. Это привело к рекордно-высоким значениям прямой радиации на Кольском полуострове (Апатиты), в Республике Коми, в Норильске (рисунок 10.7).

В поле сезонных аномалий прямой радиации доминировали положительные аномалии, при этом на обширной территории – в ЕЧР, в Якутии – значения сезонных сумм

превышали 90-й процентиль (рисунок 10.8). Особенностью поля рассеянной радиации в летний сезон является весьма протяженная область значений, превышающих медианные величины, на территории Хабаровского края и в Приморье. (рисунок 10.8б). Это, однако, не привело к существенным изменениям в поле суммарной радиации (рисунок 10.4), региональные особенности которого в летний сезон практически полностью воспроизводят закономерности изменения прямой радиации.

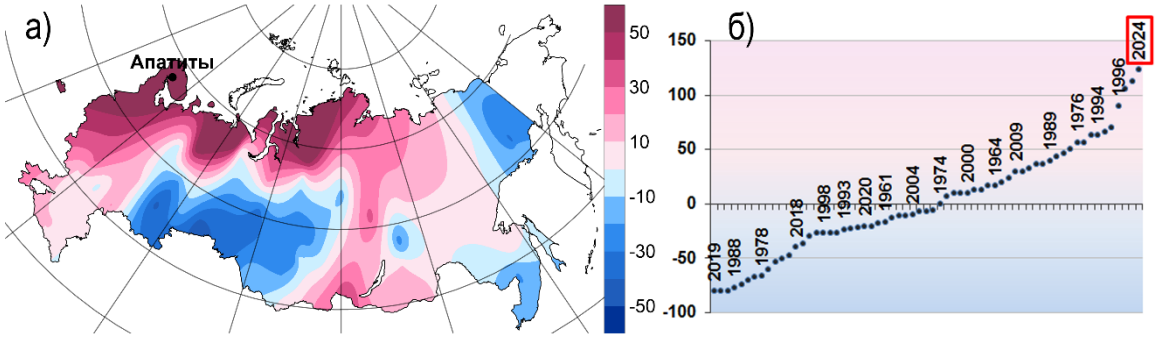

Рисунок 10.7 – Аномалии месячных сумм прямой солнечной радиации (а) и ранжированный ряд аномалий на станции Апатиты (б). Август 2024г.

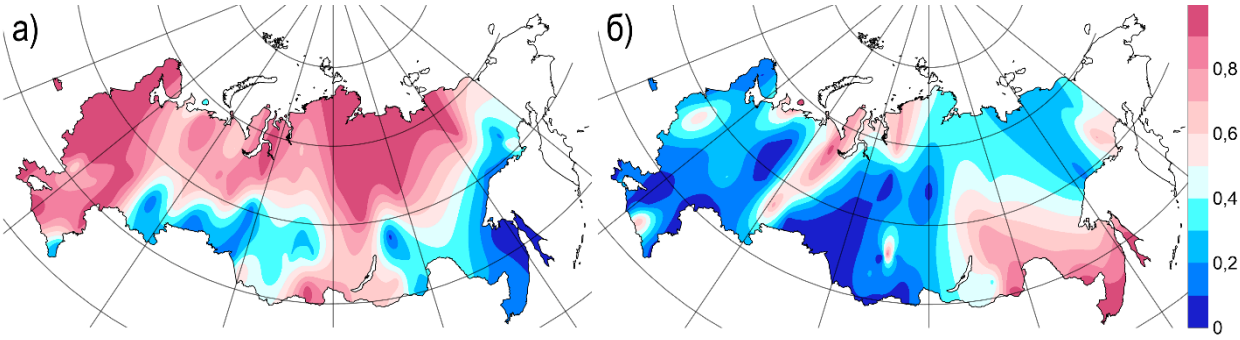

Рисунок 10.8 – Вероятности непревышения сезонных сумм прямой солнечной (а) и рассеянной (б) радиации. Лето 2024 г.

Осреднение сезонных аномалий прямой радиации по территории России (рисунок 10.8) показывает, что в весенний сезон значения прямой радиации были близки к норме за период 1961-90гг, в то время как летом и зимой наблюдался повышенный приход прямой радиации, превышающий норму на 5-10%.

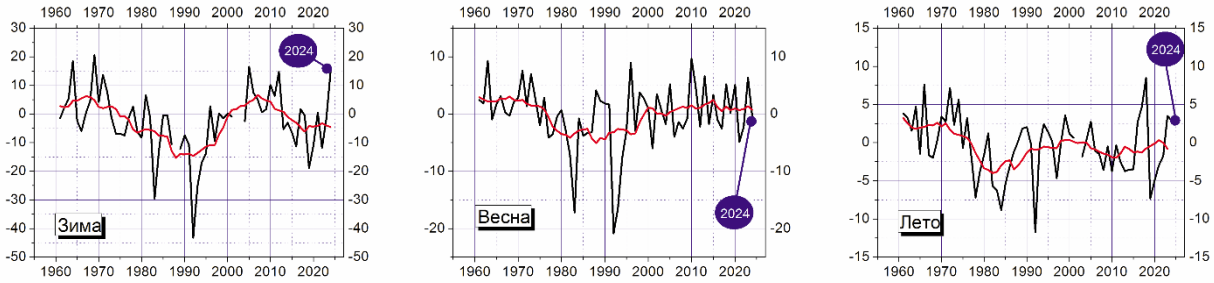

Рисунок 10.9 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, осредненные по территории РФ. 1961-2024 гг.

В целом радиационный режим 2024 г. на территории России был близок к норме в весенний сезон и отличался преобладанием положительных аномалий прямой радиации в зимний и летний сезоны. Наиболее ярко это проявилось летом и – особенно - в августе, когда область положительных аномалий охватывала всю ЕЧР и северные районы 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 XXв. наблюдается положительная тенденция в изменении прямой радиации. В Средней Сибири сохраняется тенденция к снижению приходящей радиации, наметившаяся в начале XXIв., которая реализуется на фоне сильной межгодовой изменчивости.

11. ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ И ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ ЗА ПЕРИОДЫ 1957-2023 ГГ. И 2014-2024 ГГ.

По данным разновременных космоснимков проводилась оценка динамики отдельных крупных ледников Центрального Кавказа и Западного Кавказа за период 1957-2023 гг. и 2015-2023 гг. Кроме этого определены особенности необычной динамики отдельных ледников за период 2014-2024 г.

Наибольшая убыль площади за 1957-2023 гг. выявлена у ледников Джикиуганкез на севере Эльбруса и Большой Азау на юге Эльбруса 8,49 и 7,13 км^2 соответственно. Это объясняется наибольшей шириной их языков в области абляции на низких абсолютных высотах и их распадом. На величину более 3 км^2 сократились по площади 3 ледника: Мидаграбин (3,13 км^2), Дых-Котю-Бугайсу (3,28 км^2), Шаурту (3,19 км^2). Большая часть сильно сократившихся по площади ледников распались на отдельные ледники, особенно ледник Шаурту – на 6 ледников.

Наибольшая величина отступания зафиксирована за период 1957-2023 гг. у ледника Дых-Котю-Бугайсу (Дых-Су) – 3440 м. Более 2000 м отступания отмечено у шести ледников: Караугом (2505 м), Агаштан (2280 м), Шаурту (3070 м), Шхельды (2240 м), Большой Азау (2740 м) и Джикиуганкез (2370 м) (рисунок 11.1).

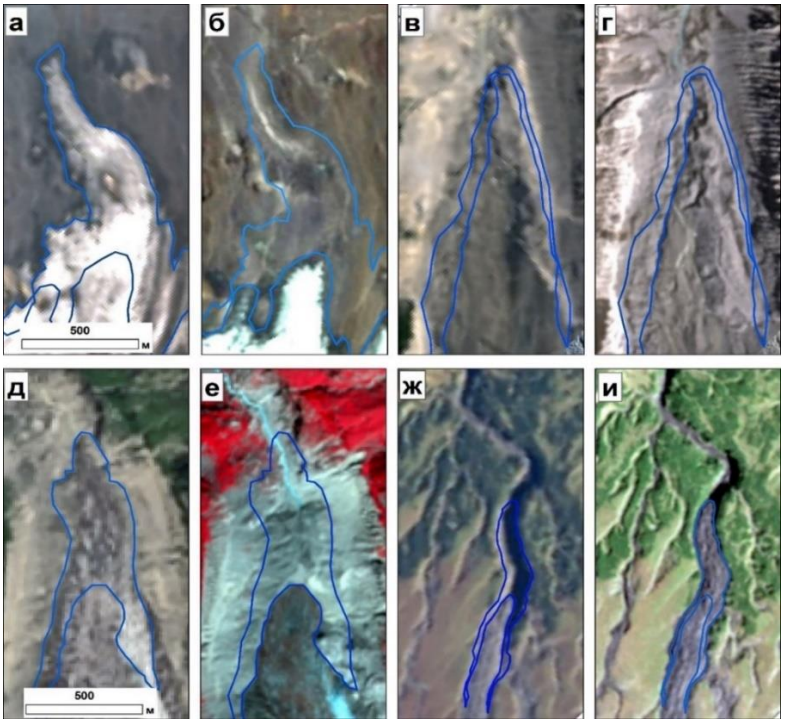

Рисунок 11.1 – Деградирующие и наступающие ледники в 2014-2024 гг.: Бирджалычиран (а, б), Безенги (в, г), Караугом (д, е), Эрмана (ж, и). Фрагменты космоснимков Landsat (2014 г.) и Sentinel-2 (2024 г.)

Минимальная величина отступания зафиксирована у ледников: Бартуйцете (180 м), Мосотацете (250 м), Штулу Восточный (280 м), Озеного (210 м), Уллукам (290 м), Кюкюртлю (175 м), Белалакайский (280 м). Все эти ледники в разное время испытали обвалы на своей поверхности, которые способствовали замедлению таяния.

За период 2015-2023 гг. максимально сократились по площади ледники: Большой Азау (2,31 км^2), Джикиуганкез, разделившийся на ледники Бирджалычиран и Чунгурчатчиран (1,35 км^2). На величину более 0,2 км^2 по площади сократились ледники: Мидаграбин,

Караугом, Башиль, Каярта, Малый Азау, Гарабаши, Акбек и Северный Джугутурлючат.

Из исследованных ледников отмечено 2 ледника, которые наступали до 2023 г. – ледники Колка и Уилпата. Ледник Колка – возрождающийся после схода в 2002 г. ледник, а Уилпата – наступает длительное время вследствие наличия обломочного чехла от обвала. Кроме этого, наступает Девдоракский ледник на склоне горы Казбек (с 2017 по 2024 гг. наступил на 150 м), но он находится на территории Грузии.

Кроме данных о динамике ледников за 2015-2023 гг. проведено сравнение состояния ледников в период 2014-2024 гг. (последние 10 лет). На рисунках 11.1 и 11.2 показаны деградировавшие и наступавшие ледники в этот период, а также крупнейший ледник Кавказа Безенги, который за последние 10 лет почти не отступил. Для сравнения все ледники показаны в одном масштабе.

Наибольшее отступание зафиксировано у ледника Бирджалычиран – 1050 м. Сильно отступил ледник Караугом в бассейне р. Урух – 725 м. Для этих ледников характерно то, что перед современными концами ледников существуют отделившиеся массивы мёртвых льдов. Ледник Безенги отступил на расстояние всего около 20 м (условно, так как граница ледника нечёткая). Продолжает своё непрерывное наступание ледник Эрмана на Камчатке у подножия вулкана Ключевской. За 2014-2024 гг. он наступил на 450 м. За последний год его наступание замедлилось – немногим более 20 м.

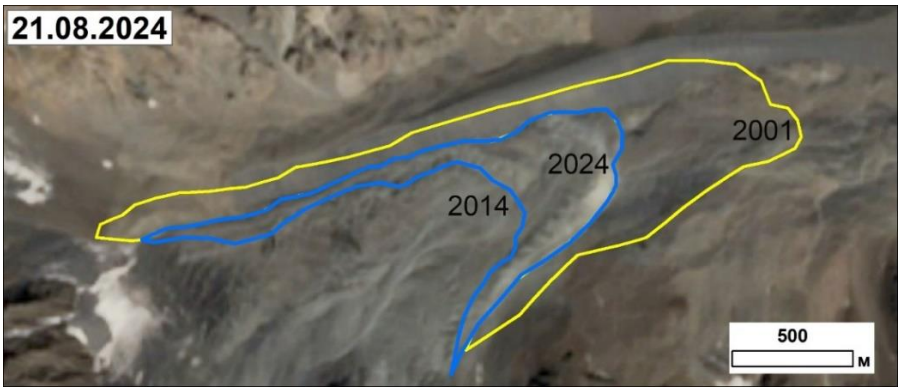

Рисунок 11.2 – Наступание ледника Колка в 2014-2024 гг. в сравнении с состоянием в 2001 г. (до его схода 20.09.2002). КосмоснимокSentinel-2

Площадь ледника Колка (рисунок 11.2) за 2014-2024 гг. увеличилась на 210 тыс. м^2 (в среднем 21 тыс. м^2 в год). Он наступил на 520 м. В границу наступающего ледника включён небольшой массив выдавленного вперёд, подстилающего массива мёртвого льда площадью 24,3 тыс. м^2. То есть мёртвые льды, оставшиеся на опустевшем ложе после схода ледника Колка, в результате давления и пластических деформаций массой движущегося ледника Колка, оказались выдавленными впереди фронтального уступа ледника. Это может свидетельствовать о возникающих на ложе ледника Колка условиях, которые могут способствовать следующему его сходу.

В настоящее время площадь ледника Колка меньше его состояния перед сходом на почти 400 тыс. м^2. При современных темпах наступания ледник достигнет размеров 2001 г. через 19-20 лет. В то же время при ежегодном наступании более 50 м в год ледник достигнет бывшей границы за 14-15 лет, но при этом будет немного меньше по площади. На основе данных анализа случаев сходов ледников в разных районах мира, для которых нередки случаи повторного схода при меньших исходных размерах, можно сделать предположение о возможности схода ледника Колка раньше, чем он достигнет размеров 2001 г.

Необычное наступание и почти стационарное состояние в течение десяти лет конца крупнейшего ледника Кавказа Безенги (рисунок 12.3) на фоне общей тенденции деградации ледников можно объяснить влиянием появившегося в 2016 г. на поверхности ледника обломочного чехла селевых отложений площадью около 40 тыс. м^2, предохраняющего от таяния и создавшего дополнительную нагрузку, что в конечном итоге привело к изменению фронтальной зоны с вовлечением в движение массива мёртвого льда у правой стороны ледника. Наступающая правая часть ледника воздействовала на пролювиально-коллювиальный шлейф подножия правого склона долины и привела к его сползанию и

обрушению на нескольких участках. При этом левая часть языка ледника продолжает отступать и деградировать.

Рисунок 12.3 – Обломочный чехол селевых отложений 2016 г. на поверхности ледника Безенги (№1) и линии отрыва сползающего пролювиально-коллювиального шлейфа подножия склона (№2) (фото с квадрокоптера 11.09.2024)

В итоге при современном изменении климата динамика ледников может быть различной в связи с активизацией склоновых процессов, и поведение самых крупных ледников может стать непредсказуемым.

Во время вертолётного облёта 30.07.2024 были выявлены следы небольших ледово-каменных обвалов у подножия скально-ледовой стены горы Донгуз-Орун. По данным анализа космоснимков временной интервал серии нескольких обвалов определён – апрель-май 2024 г. Общая площадь зоны поражения обвалами составила 198,2 тыс. м^2. Дальность выброса обломков достигала 1270-1315 м. Перепад высот – 850 м. Зона отрыва обвалов находилась на обрыве ступени ледника «Семёрка» на высоте 3540 м, зона отложения оканчивалась на высоте 2690 м. Ширина зоны отложений в виде нескольких языков превышала 300 м.

На космоснимке 22.09.2024 были выявлены следы крупного обвала льда с ледника Нижний Кулак в долине р. Гара-Аузусу в бассейне р. Чегем. Незадолго до обвала было выявлено небольшое наступание ледника в период 2023-2024 гг. (около 15-17 м), что можно считать признаком его подготовки. Площадь обвалившегося блока льда составила – 15,6 тыс. м^2, площадь зоны поражения – 89,5 тыс. м^2. Дальность выброса масс льда в плане – 650 м. Ширина зоны отложения масс льда составила до 190 м. Приблизительный объём сброшенного льда – 0,5-0,6 млн м^3. На космоснимке 30.09.2024 выше линии отрыва появилась широкая трещина, что показывает вероятность последующих обвалов льда.

В результате дешифрирования и анализа разновременных космических снимков был выявлен факт обвала со скального массива на склоне горы Уятау (3697 м) в цирке ледника Джанкуат в долине р. Адылсу 27-28 октября 2024 г.

На основе нескольких выявленных случаев обвалов ледников ранее определён признак подготовки обвального процесса – появление и расширение трещины на висячем леднике. В 2023 г. было выявлено появление и развитие трещины на висячем леднике на склоне горы Джангитау Западная (часть Безенгийской стены) и было сделано предположение о готовящемся обвале ледника. Дальнейший мониторинг участка показал, что на массиве ледника ниже трещины произошло сползание верхних слоёв ледника. Сползшие массы льда остановились на поверхности ледника и обвала льда не произошло. Такое поведение ледника можно объяснить тем, что его базальные слои на контакте с коренными породами были в мёрзлом состоянии, что характерно для больших высот. Но в дальнейшем будет происходить их оттаивание и риски обвалов ледников возрастут.

По данным мониторинга озёр в 2023 г. был выявлен рост площади озера Южное Бирджалы на севере Эльбруса и уменьшение ширины его ледяной плотины. 19.07.2024 была проведена аэрофотосъёмка и определено, что высота ледяной плотины была менее 2 м и площадь озера продолжает увеличиваться. Дальнейший непрерывный мониторинг космоснимков показал, что площадь озера увеличилась до 35,2 тыс. м^2 и под тонким слоем ледяной плотины обнажились коренные породы, наличие которых свидетельствует о прочности плотины озера и об отсутствии угрозы прорыва в ближайшем будущем.

В 2024 г. зафиксировано резкое увеличение притока воды в озеро Башкара, связанное с изменением направления подлёдных каналов стока талых вод с ледника

Башкара. За период времени с 2017 г. после прорыва озера уровень воды поднялся на высоту более 3,0-3,5 м. Риск нового прорыва не исключён. На момент обследования и аэрофотосъёмки 29.06.2024 площадь озера Башкара составляла 34,7 тыс. м^2, что больше прошлогоднего на 375 м^2. Данные аэрофотосъёмки показали, что на участке истока воды с ледника, русло потока ограничено гребнем высотой менее метра от ложбины, направленной в другую сторону от озера. В связи с этим можно рассмотреть вариант отвода талых вод с ледника мимо озера Башкара и снизить риск прорыва.

12. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

Данные. Приведенные в настоящем разделе оценки получены с использованием информации о продолжительности солнечного сияния (ПСС), взятой из базы данных (БД) «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России». БД создана во ВНИИГМИ-МЦД и содержит месячные обобщения ежесуточных наблюдений за солнечным сиянием по гелиографу (meteo.ru). 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 расчёта относительных аномалий (RS, %) – отношение к норме, выраженное в процентах. Расчёт дополнительных характеристик аномалий (процентили, вероятности непревышения, ранги) осуществляется по данным за период, начинающийся с 1961 года, когда с увеличением числа станций, представленных в информационной базе, существенно увеличился объём поступающих данных.

Полученная информация с метеорологических станций после обработки представлена в виде карт, а также в виде региональных средних данных для территории РФ в целом, её европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти квази-однородных физико-географических регионов и восьми федеральных округов РФ (Введение, рисунки 3 и 2). Для получения результатов проводится арифметическое осреднение аномалий на метеостанциях по ячейкам географической сетки (1°широты х 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 климатической 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 2024 году

Для получения характеристик ПСС в 2024 г. за первые девять месяцев года (январь-сентябрь) использовалась «режимная» информация, поступившая из УГМС в Госфонд, а за три последних месяца года (октябрь-декабрь) – оперативные данные, поступившие от 300 метеорологических станций сети Росгидромета по каналам связи (сводки «КЛИМАТ»).

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 полуострове Ямал и островах Северного Ледовитого океана от 1200 до 800 ч/год и меньше. В южных регионах ПСС достигала 2400-2600 ч/год. Относительная аномалия на бóльшей части ЕЧР, в полярных районах Якутии, юга Центральной Сибири и Дальнего Востока

превышала норму на 20%. В Восточной и Центральной Сибири были выявлены области с отрицательной аномалией, которая составляла -20% (рисунок 12.1б).

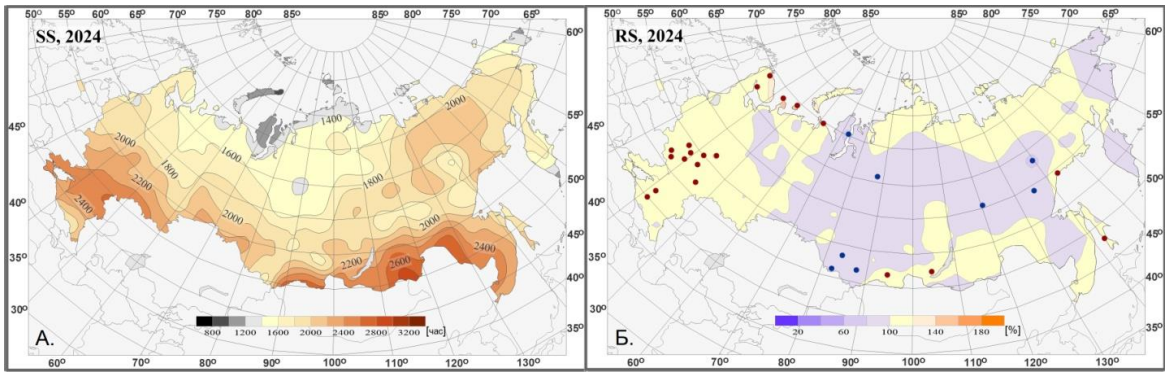

Рисунок 12.1 – Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (*SS*, часы) и ее относительных аномалий (*RS*, %) на территории РФ в 2024 г. *Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля*

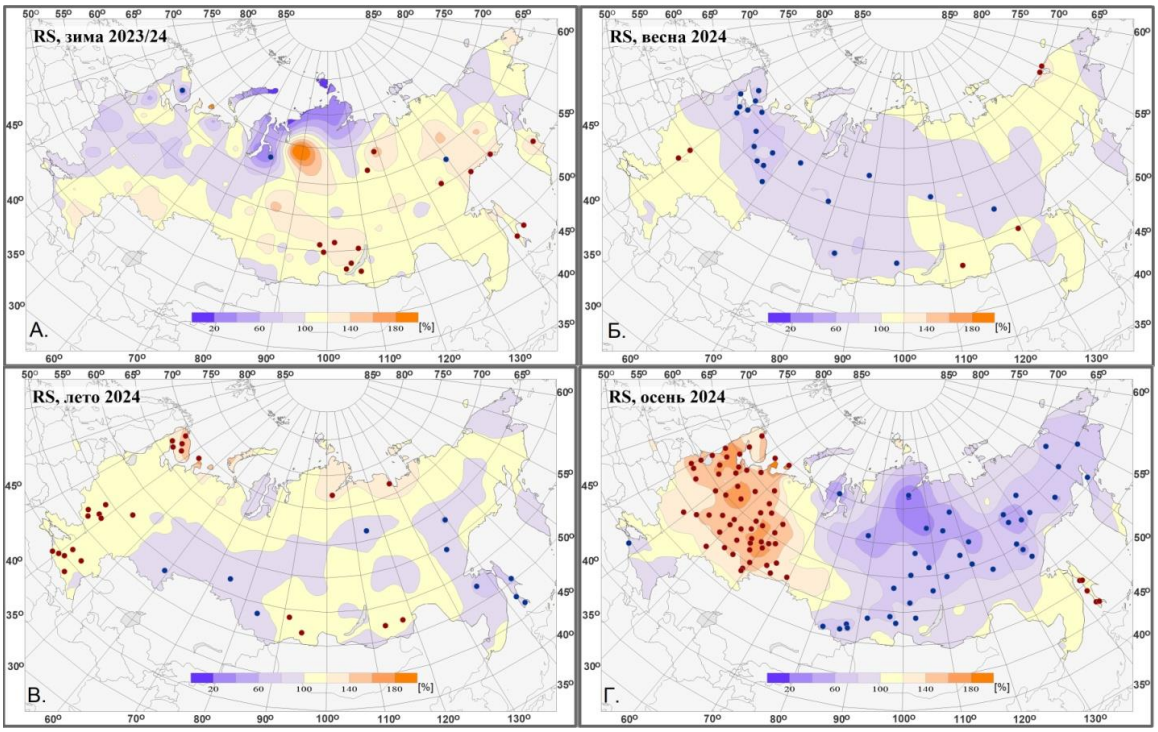

Рисунок 12.2 – Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния (*RS*, %) на территории РФ в 2024 г. *Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля*

В таблице 12.1 представлены относительные аномалии (RS, %) суммарной продолжительности солнечного сияния за год и по сезонам в регионах России. В качестве дополнительных характеристик аномалий используются процентили и вероятности непревышения P (SS<=SS2024), которая представляет собой долю наблюдений в прошлом, когда значения переменной были не больше текущего. Кроме этого, используются ранги (порядковые номера в упорядоченном ряду значений от одного до пяти).

Зимой 2023-2024 года для большей части ***ЕЧР***, Урала и севера Восточной Сибири ПСС была ниже нормы на 20-50%. В остальной части территории наблюдалась положительная аномалия 20-40% (рисунок 12.2а). **Весной** количество солнечных часов

уменьшилось в Центральной и Северной областях ЕЧР, в Западной и Центральной Сибири. На юге ЕЧР, юге и востоке Восточной Сибири и Дальнем Востоке сохранялась положительная аномалия 20%. (рисунок 12.2б). **Летом** почти на всей территории РФ было солнечно, так как ПСС превышала норму, но на Южном Урале и юге Западной Сибири выявлено уменьшение на 20% (рисунок 12.2в). **Осенью** на значительной части ЕЧР, Урала и юга Восточной Сибири наблюдались высокие положительные аномалии (100-200%). На остальной части Сибири отмечалось снижение ПСС на 40-80% от нормы. Только на Дальнем Востоке было зафиксировано увеличение ПСС на 20% (рисунок 12.2г).

Зимой 2023/24 гг. на территории ***АЧР*** наблюдалась наибольшая положительная аномалия ПСС (RS), которая составляла 104% с вероятностью (P) 84%. Наибольшая величина аномалий (RS до 142% при P=100%) наблюдалось на Чукотке и севере Камчатки, а также на севере Восточной Сибири и Якутии (RS=130, P=95%) (таблица 12.1). На территории Центрального, Северо-Западного и Приволжского Федеральных округов выявлены отрицательные аномалии (RS<100%) ПСС (таблица 12.1).

Таблица 12.1 – Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (*RS*, %) в регионах России и вероятность ее непревышения (*P*, %) в 2024 г. *Желтым цветом выделены значения, попавшие в 5 максимальных*, *серым – в 5 минимальных*.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	RS	***P***	***RS***	***P***	***RS***	***P***	***RS***	***P***	***RS***	***P***
РФ	102	81	98	40	100	67	106	100	99	37
ЕЧР	104	86	81	5	101	71	111	98	105	75
АЧР	100	62	104	84	100	63	102	83	95	14
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Западной Сибири	111	98	71	14	104	65	121	98	107	70
Север Восточной Сибири и Якутии	97	14	130	95	97	21	100	43	68	0
Чукотка и север Камчатки	98	43	142	100	94	25	101	67	72	0
Центр ЕЧР	104	84	70	6	100	63	111	95	112	83
Центр и юг Западной Сибири	104	78	100	52	105	86	104	76	108	65
Центр и юг Восточной Сибири	98	48	107	90	97	43	101	67	86	0
Дальний Восток	99	30	99	57	94	13	101	49	102	54
Алтай и Саяны	103	87	106	83	108	94	102	79	92	17
Юг ЕЧР	100	60	97	48	99	54	103	81	95	29
Федеральные округа РФ										
Центральный	103	76	72	8	98	54	109	95	110	73
Южный	96	37	83	13	96	51	101	68	92	22
Северо-Западный	112	97	65	6	107	76	121	100	115	84
Дальневосточный	98	25	103	83	96	16	101	75	93	5
Сибирский	101	71	109	86	105	87	101	62	91	16
Уральский	106	89	92	33	101	62	112	95	115	86
Приволжский	101	62	68	6	98	48	107	89	113	84
Северо-Кавказский	103	86	108	73	102	65	106	89	97	43

В ***декабре*** средняя аномалия ПСС для ЕЧР составила 83% от нормы, для АЧР – 106%. В трёх регионах аномалия 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 ***январе*** средняя аномалия для ЕЧР составила 84% (таблица 12.2). Наименьшие значения отмечались в Центральном ФО (66%) и в Северо-Западном ФО (67%). В АЧР отмечалось преобладание положительных аномалий. Максимальные значения отмечены на Чукотке и севере Камчатки, где RS=171% (ранг 1 среди максимальных) и на севере Восточной Сибири и Якутии (RS=164%, ранг 2), что превысило 95-й процентиль. В целом по территории РФ средняя аномалия ПСС была в пределах нормы (RS=100%). В ***феврале*** отрицательные аномалии на территории РФ уменьшились (RS=95%) из-за уменьшения ПСС над ЕЧР (PS=77%), только в АЧР аномалия ПСС увеличилась на 3% от нормы. На это повлияло увеличение ПСС на Севере Восточной

Сибири и Якутии (RS=127%, ранг 3 среди максимальных) и Чукотке и Севере Камчатки (RS=135%).

Таблица 12.2 – Относительные аномалии (%) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, в 2024 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	100	95	105	96	101	101	104	113	101	100	91	92
ЕЧР	84	77	123	96	93	105	107	122	108	112	86	74
АЧР	105	103	97	96	105	99	101	107	96	94	93	98
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	83	67	109	102	103	109	115	150	102	119	109	100
Север Вост. Сибири и Якутии	164	127	99	88	103	112	96	83	63	65	92	100
Чукотка и север Камчатки	171	135	104	66	115	102	104	93	63	91	62	167
Центр ЕЧР	73	64	134	91	90	105	107	122	116	124	72	46
Центр и юг Зап. Сибири	100	96	101	102	111	91	104	122	108	114	98	66
Центр и юг Вост. Сибири	108	109	95	93	104	102	95	104	91	83	82	107
Дальний Восток	102	92	94	99	90	95	106	103	107	99	97	102
Алтай и Саяны	107	109	97	102	122	101	100	106	91	89	100	100
Юг ЕЧР	98	102	102	103	96	100	101	107	94	96	96	101
Федеральные округа РФ												
Центральный	66	92	138	71	97	114	110	101	126	110	46	24
Южный	74	90	108	93	93	103	100	99	91	97	83	103
Северо-Западный	67	64	130	108	93	111	111	148	112	131	88	83
Дальневосточный	107	102	97	94	97	102	100	100	96	92	91	104
Сибирский	106	113	93	99	119	97	99	106	91	87	97	88
Уральский	104	83	110	98	98	93	109	139	111	130	98	71
Приволжский	75	54	128	86	91	98	106	117	117	124	73	38
Северо-Кавказский	114	111	95	114	97	98	102	118	96	94	104	98

Весной на территории РФ ПСС находилась в пределах нормы. На Дальнем Востоке наблюдались отрицательные аномалии (RS=94%, P=13%). В Северо-западном и Сибирском ФО преобладали положительные аномалии ПСС (RS=107% и 105% соответственно). (таблица 12.1). В ***марте*** на всей территории РФ отмечалась положительная аномалия (RS=105%). Это произошло за счет увеличение ПСС на ЕЧР (RS=123%, ранг 3 среди максимальных). Территория Центрального ФО показала увеличение аномалий ПСС (RS=138%, ранг 3 среди максимальных). На АЧР снижение наблюдалось в Сибирском ФО до 93%. (таблица 12.2). В ***апреле*** ситуация изменилась - на всей территории РФ аномалии ПСС уменьшились (96%). Только в Северо-Западном и Северо-Кавказском ФО ПСС была выше нормы (RS=108% и 114% соответственно). Самый низкий показатель аномалий ПСС отмечен не Севере Восточной Сибири и Якутии (88%, ранг 3 среди минимальных), а на Чукотке и севере Камчатки (66%, ранг 3 среди минимальных). В ***мае*** на всей территории РФ наблюдалась положительная аномалия в среднем 101%. Однако, на ЕЧР отмечалось уменьшение ПСС на 7% от нормы. В то же время на АЧР норма ПСС была превышена на 5%. Особенно высокая аномалия ПСС наблюдалась на Алтае и Саянах (RS=122%, ранг 2 среди максимальных).

Летом на всей территории РФ наблюдались положительные аномалии ПСС (106%) (таблица 12.1). Средняя аномалия для ЕЧР составила 111%, а для АЧР - 102%. **В *июне*** (таблица 12.2) для ЕЧР количество солнечных часов превысило норму на 5%, тогда как для АЧР аномалия ПСС была ниже нормы (99%). Продолжительность солнечного сияния ниже нормы наблюдалась в Центре и юге Западной Сибири (91%), а также на Дальнем востоке (95%). В ***июле*** на всей территории РФ ПСС была выше нормы (104%). В ***августе*** произошло увеличение ПСС на всей территории РФ (113%, ранг 1 среди максимальных), причем ЕЧР

показала RS=122% (ранг 2 среди максимальных), а АЧР показала RS=107% (ранг 4 среди максимальных).

Осенью на территории РФ не доставало солнечного сияния (RS=99%, P=37%) (таблица 12.1). В ***сентябре*** на территории ЕЧР наблюдалось наибольшее количество солнечных часов, так как аномалия в среднем составила 108%, а максимальное значение отмечено в центре ЕЧР (116%, ранг 2 среди максимальных). На АЧР преобладала отрицательная аномалия (96%). Наибольший недостаток ПСС наблюдался на севере Восточной Сибири и Якутии (RS=63%, ранг 1 среди минимальных), и в районе Чукотки и севера Камчатки (RS=63%, ранг 2 среди минимальных). Наибольшие значения положительных аномалий отмечены в Центральном (RS=126%), Северо-Западном (RS=112%) и Приволжском ФО (117%). В ***октябре*** в ЕЧР продолжительность солнечного сияния была выше нормы на 112%, а в АЧР снизилась до 94%. Наибольшее снижение ПСС отмечено на севере Восточной Сибири и Якутии (RS=65%, ранг 3 среди минимальных) и в центре и юге Восточной Сибири (RS=83%, ранг 3 среди минимальных). В ***ноябре*** ПСС на территории РФ (и в ЕЧР, и в АЧР) была ниже нормы (таблица 12.2). Наибольшее снижение отмечено на Чукотке и севере Камчатки (62%, ранг 5 среди минимальных) и в центре и юге Восточной Сибири (82%, ранг 1 среди минимальных). Только на севере ЕЧР, Западной Сибири (109%) и в Северо-Кавказском ФО (104%) ПСС была выше нормы. В остальных регионах отрицательная аномалия менялась от 46% до 99%.

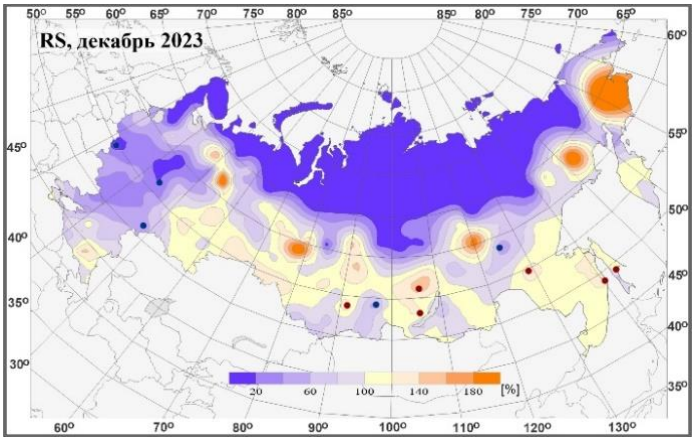

Рисунок 12.3 – Пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории РФ в декабре 2024 года

В ***декабре*** (рисунок 12.3) средняя аномалия ПСС для ЕЧР составила 74% от нормы, для АЧР – 98% (таблица 12.2). В трёх регионах ПСС оказалась меньше нормы: центр ЕЧР – 46% (ранг 3 среди минимальных), Центральный ФО (24%, ранг 3 среди минимальных), Приволжский ФО (38%, ранг 2 среди минимальных). Максимальное значение ПСС отмечено на Чукотке и севере Камчатки (167%).

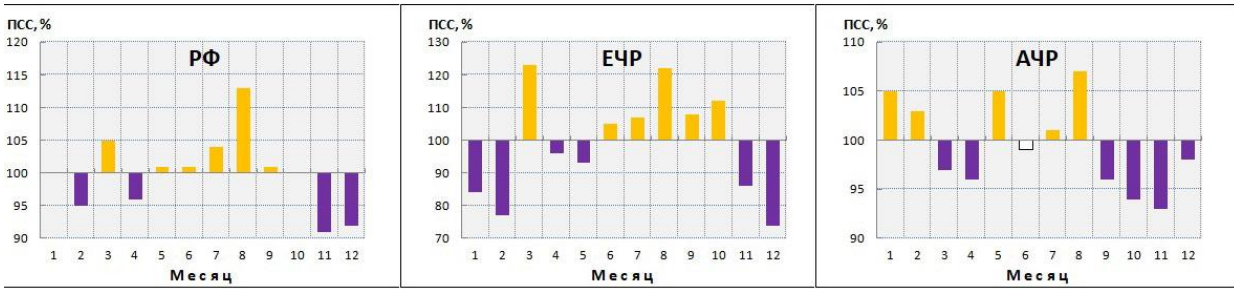

Рисунок 12.4 – Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР; 2024 г.

В целом на территории РФ наибольшие положительные аномалии отмечались в июле (104%) и августе (113%). Наибольший дефицит солнечного сияния для страны наблюдался в ноябре (91%). Положительные аномалии на ЕЧР наблюдались в течении семи месяцев (рисунок 12.4), а максимальная аномалия отмечалась в марте (123%) и августе (122%). Отрицательные аномалии ПСС на ЕЧР наблюдались в феврале (77%) и декабре (74%). На АЧР ПСС в течение пяти месяцев преобладали положительные аномалии,

наибольшие из них наблюдались в августе (107%). Меньше нормы ПСС была в течении семи месяцев, а минимальное значение было зафиксировано в ноябре (93%).

Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Географическое распределение коэффициентов линейного тренда годовых сумм ПСС, рассчитанных для периода 1976-2024 гг., представлено на рисунок 12.5. Оно мало отличается от полученного годом ранее (2023 г.). Изменения ПСС на большинстве станций территории РФ характеризуются положительным трендом. Из 274-х станций, для которых рассчитывался тренд годовых сумм ПСС, положительный тренд наблюдается на 204-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 (*D*) – 32% (таблица 12.3).

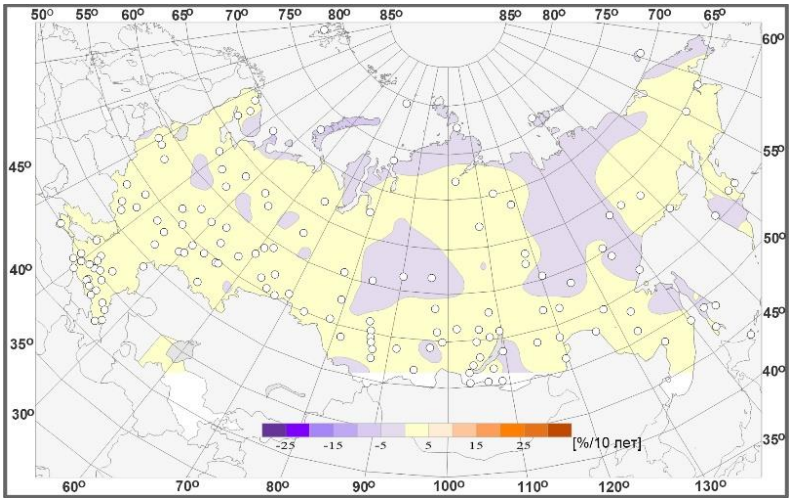

Рисунок 12.5 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий годовой продолжительности солнечного сияния на территории России, по данным за 1976-2024 гг. (%/10 лет). *Белыми кружками выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-м уровне*

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=2,8%/10 лет), а для АЧР – зимнего (b=2,3%/10 лет). Наибольший тренд годовых сумм ПСС наблюдается на юге ЕЧР – 2,3%/10 лет и в Южном ФО – 2,4%/10 лет, что является бóльшим значением по сравнению с оценкой, полученной в 2022 и 2023 гг.

В географическом распределении коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий ПСС (рисунок 12.6) по сравнению с прошлым годом существенных изменений не произошло. Для России в целом в **зимний** сезон наблюдается положительный тренд. Он составляет +1,4%/10 лет и является наибольшим среди всех сезонов (таблица 12.3). При этом в ЕЧР отмечается отрицательный, и статистически незначимый тренд -1%/10 лет. Отрицательные региональные тренды в Центральном (-6%/10 лет) и Северо-западном ФО (-6%/10 лет) являются статистически значимыми. Наиболее значительное увеличение зимних сумм ПСС отмечается на севере Восточной Сибири и Якутии (b=9,2%/10 лет, D=49%).

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=1,6%/10 лет, D=17%). Наибольший тренд отмечается в Южном (2,5%/10 лет) и Центральном ФО (2,9%/10 лет). По сравнению с прошлым годом (2023 г.) этот тренд несколько уменьшился. В АЧР наблюдается в целом средний статистически незначимый положительный тренд (0,7%/10 лет). Однако, в регионе Алтай и Саяны, а также в Центральном, Южном,

Сибирском и Северо-Кавказском ФО наблюдается статистически значимый положительный тренд (от 1,5%/10 лет до 2,9%/10лет).

Таблица 12.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России; 1976-2024 гг., ***b*** *– коэффициент линейного тренда (%/10 лет),* ***D*** *– вклад тренда в общую дисперсию ряда (%). Тренд статистически значимый на 5%-м уровне показан жирным шрифтом*

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***
Российская Федерация	**1,1**	**32**	**1,4**	**9**	**1,0**	**17**	**1,3**	**39**	0,4	2
ЕЧР	**1,8**	**37**	-0,9	1	**1,6**	**17**	**2,8**	**44**	1,3	4
АЧР	**0,7**	**15**	**2,3**	**24**	**0,7**	**9**	0,3	3	0	0
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	0,4	1	-2,7	2	0,0	0	1,3	4	-1,5	3
Север Вост. Сибири и Якутии	0,1	0	**9,2**	**49**	0,1	0	-0,6	3	**-1,8**	**6**
Чукотка и север Камчатки	1,0	5	**6,4**	**16**	-0,7	1	**1,7**	**6**	0,3	0
Центр ЕЧР	**2,0**	**22**	-1,8	1	1,6	9	**3,1**	**34**	1,6	2
Центр и юг Зап. Сибири	**0,9**	**6**	3,1	8	1,0	4	0,5	1	0,1	0
Центр и юг Вост. Сибири	**0,7**	**10**	**2,2**	**18**	**1,0**	**13**	0,4	2	-0,7	3
Дальний Восток	0,4	5	**1,5**	**11**	0,0	0	-0,4	1	**1,0**	**8**
Алтай и Саяны	**1,0**	**13**	1,1	4	**1,5**	**11**	**0,9**	**7**	0,0	0
Юг ЕЧР	**2,3**	**42**	1,0	2	**2,5**	**17**	**2,8**	**50**	**1,8**	**9**
Федеральные округа РФ										
Центральный	**2,2**	**20**	**-5,8**	**11**	**2,9**	**16**	**3,3**	**33**	1,8	2
Южный	**2,4**	**37**	0,9	1	**2,5**	**12**	**2,7**	**40**	**2,2**	**11**
Северо-Западный	**1,0**	**6**	**-6,2**	**12**	1,3	5	**2,1**	**11**	-1,4	2
Дальневосточный	**0,4**	**8**	**2,1**	**24**	0,3	1	-0,1	0	0,0	0
Сибирский	**0,8**	**13**	**2,6**	**11**	**1,3**	**12**	0,3	2	-0,2	0
Уральский	**1,2**	**9**	**2,8**	**6**	0,5	1	**1,7**	**8**	0,6	0
Приволжский	**2,1**	**19**	0,2	0	1,0	3	**3,2**	**31**	2,3	4
Северо-Кавказский	**2,3**	**43**	1,1	1	**2,5**	**20**	**3,1**	**50**	**1,5**	**6**

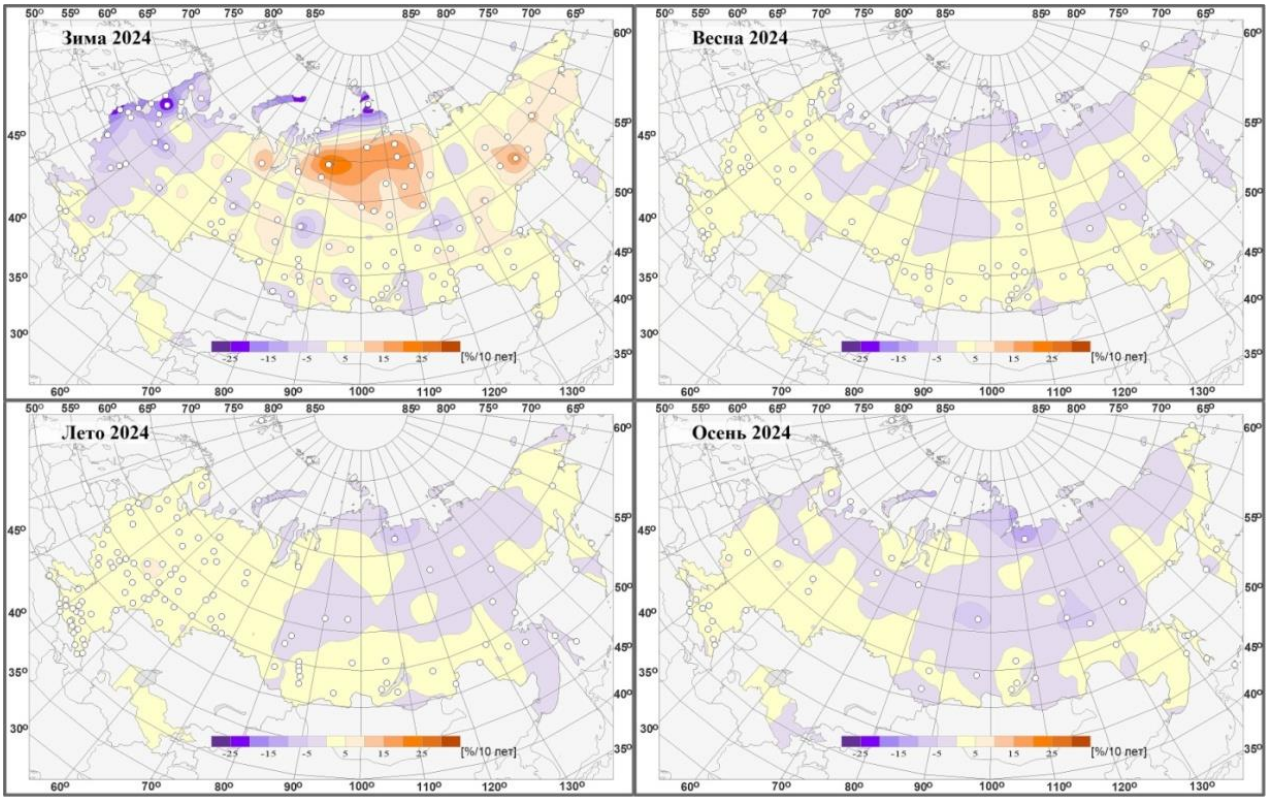

Рисунок 12.6 – Смотри рисунок 12.5, но для коэффициентов линейного тренда относительных аномалий **сезонной** продолжительности солнечного сияния

В **летний** сезон средняя для всей территории РФ скорость роста ПСС составляет 1,3%/10 лет. В ЕЧР, по сравнению с весной, тренд более существенный (2,8%/10 лет), поскольку рост ПСС наблюдается не только в центре, но и на юге ЕЧР. Летом на АЧР заметно увеличивается средний отрицательный тренд, в частности, 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.

В **осенний** сезон на территории страны наблюдается слабый положительный тренд, который составляет 0,4%/10 лет и является статистически незначительным. Для ЕЧР в среднем наблюдается слабый рост ПСС (1,3%/10 лет), а в АЧР тренд отсутствует (0%). 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 в южных районах: юг ЕЧР - 1,8%/10 лет, Южный ФО – 2,2%/10 лет, что несколько меньше оценки прошлого года (2023 г.).

Многолетний ход средних годовых и сезонных аномалий 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 неизменность 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 (1976-2024 гг.) (рисунок 12.8), и для многих из них он является статистически значимым (таблица 12.3).

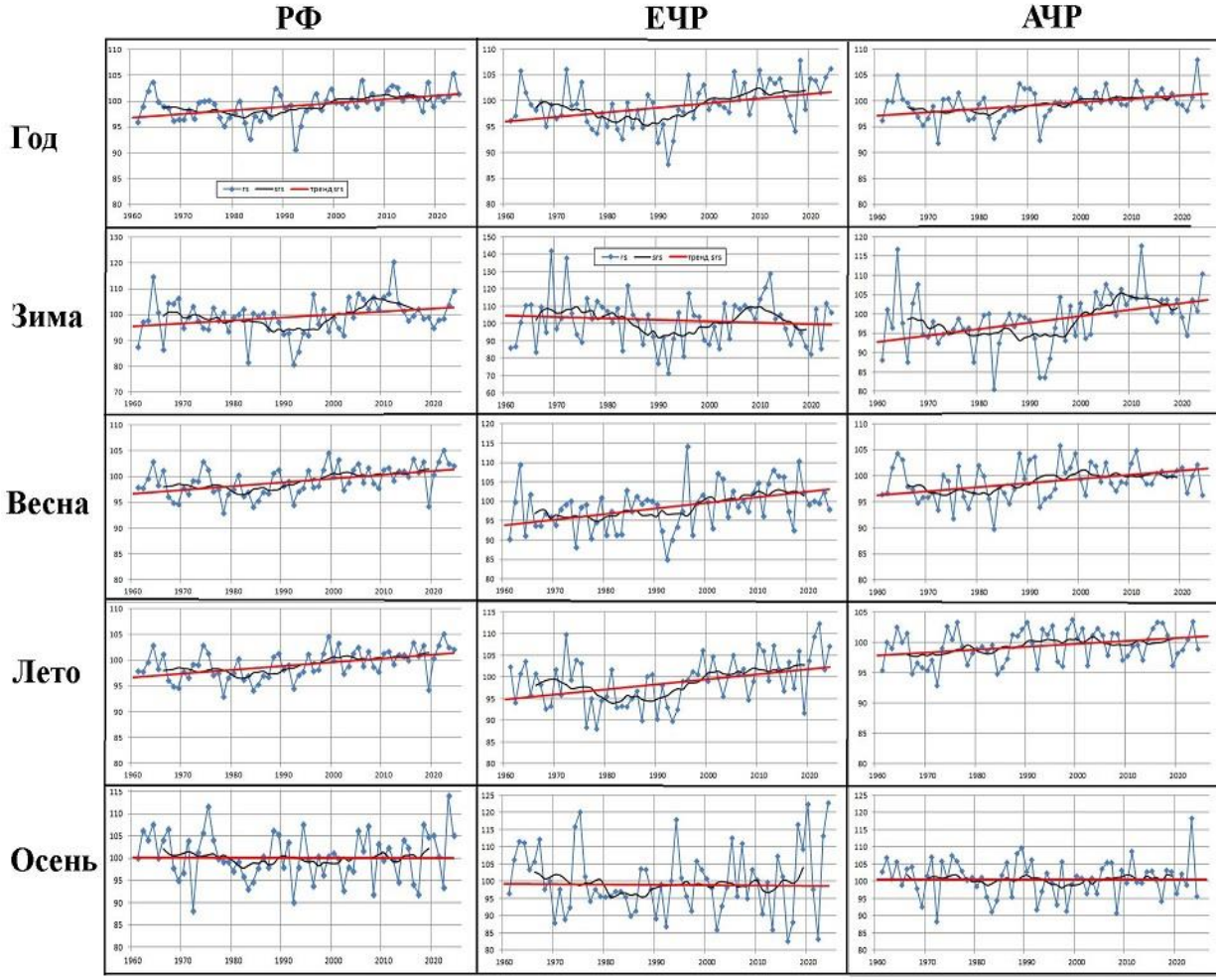

Рисунок 12.7 – Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей

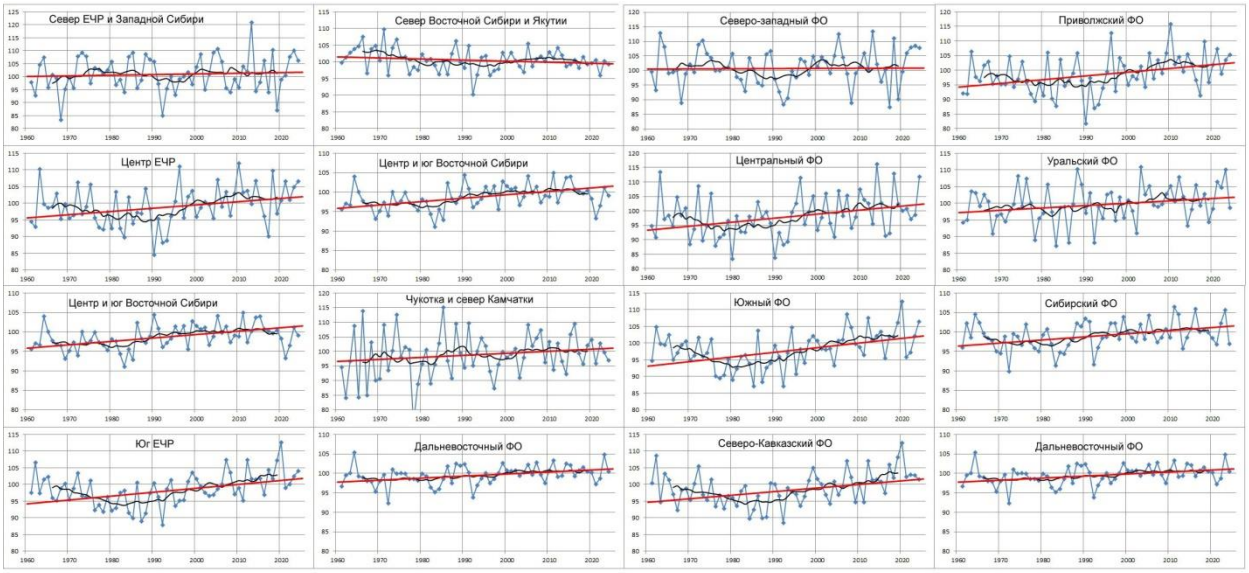

Рисунок 12.8 – Относительные аномалии (%) суммарной за год продолжительности солнечного сияния, осредненной по квази-однородным физико-географическим регионам и федеральным округам РФ

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 2023 г. (таблица 12.4).

Из таблицы 12.4 видно, что оценки 30-летних трендов весьма неустойчивы, и претерпевают большие изменения, являясь более чувствительными к ежегодным изменениям в рядах данных. Оценки, полученные с учётом данных 2024 г., подтверждают рост ПСС на территории РФ, но свидетельствуют о присутствии тенденции к его замедлению. Следует отметить, что при рассмотрении линейного тренда средней для территории РФ годовой суммы ПСС по скользящим 30-летиям (с шагом пять лет), начиная с 1961 г., наибольший тренд ПСС наблюдался в период 1981-2010 гг., и составил +31 ч/10 лет (1,6%/10 лет).

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

Сезон	1994-2023			1995-2024		
	b(ч/10лет)	*b(%/10лет)*	*D*	*b(ч/10лет)*	*b(%/10лет)*	*D*
РФ						
Год	10,7	0,6	8	8,6	0,4	6
Зима	2,5	1,2	3	0,8	0,4	0
Весна	1,8	0,3	1	-0,7	-0,1	0
Лето	4,8	0,6	5	5,7	0,7	7
Осень	1,9	0,6	1	3,2	1	3
ЕЧР						
Год	18,7	1	7	18,5	1	7
Зима	-1,3	-0,8	0	-2,8	-1,8	1
Весна	5,6	1	2	2,5	0,4	1
Лето	14,6	1,8	11	14,3	1,8	10
Осень	0,5	0,2	0	5,2	1,7	2
АЧР						
Год	6,3	0,3	3	3,2	0,2	1
Зима	4,6	1,8	8	2,8	1,1	4
Весна	-0,6	-0,1	0	-2,7	-0,4	2
Лето	-0,8	-0,1	0	0,7	0,1	0
Осень	2,7	0,8	3	1,9	0,6	1

13. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Температура воздуха в слое атмосферы высотой до 30 километров, наряду с приземной температурой и температурой поверхности океана, является важнейшей

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

Приводимые оценки получены по срочным данным радиозондовых наблюдений, собираемым с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с глобальной сети аэрологических станций. Общее число станций, по которым ведется сбор аэрологических данных, превышает 900 и варьирует от месяца к месяцу. В их число входят более ста функционировавших в 2024 г российских станций, включая антарктические и СП. Около 700 станций глобальной сети расположены в Северном полушарии. На основе собранных месячных порций радиозондовых данных срочных наблюдений рассчитывается массив статистических характеристик различных метеорологических величин в свободной атмосфере, включая статистические характеристики температуры, на стандартных изобарических поверхностях для каждой из станций. На основе взвешенного вертикального обобщения рассчитываются также значения температуры в основных слоях атмосферы: 850-300 гПа (тропосфера), 100-50 гПа (нижняя стратосфера), 300-100 гПа (переходный слой, характеризующийся значительной нестабильностью). Следующим этапом расчетов является расчет месячных аномалий температуры. Аномалии температуры на основных изобарических поверхностях и в каждом из указанных слоев атмосферы для каждого месяца, - вычислялись для каждой станции. В качестве норм использовались соответствующие характеристики температуры для этой станции, осредненные за период 1981-2010 гг. Такой выбор периода вычисления норм объясняется, во-первых, целесообразностью проводить в дальнейшем сопоставления с рядами аномалий температуры в свободной атмосфере, полученными на основе спутниковых наблюдений, начало которым положено с 1979 года. Во-вторых, оценки норм за такой период вычисления наименее, по сравнению с другими вариантами выбора тридцатилетнего периода, подвержены влиянию возможных неоднородностей в рядах, возникающих из-за особенностей функционирования глобальной сети радиозондирования. Дальнейшие расчеты проводились для станций, имеющих не менее 7 лет наблюдений в начале и не менее 7 лет наблюдений в конце базового периода 1981-2010 гг.

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 2024 года (зимний сезон включал декабрь 2023 г. и январь-февраль 2024 г.), а также для 2024 года в целом.

Особенности температурного режима в свободной атмосфере в 2024 г.

В таблице 13.1 приведены значения аномалий температуры за 2024 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 2024 году в течение всего года наблюдались положительные аномалии температуры, превышающие 1°С большую часть года. Аномалии менее 1°С наблюдались только в мае во всем слое тропосферы, в январе и декабре в средних слоях тропосферы (500 гПа) и с января по март и в декабре в высоких слоях тропосферы (300 гПа). В апреле на поверхностях 850 и 500 гПа аномалии температуры превысили 2°С и составили 2,37 и 2,18°С соответственно, а также в сентябре на поверхностях 500 и 300 гПа аномалии температуры были равны 2,06 и 2,18°С соответственно. В нижней стратосфере умеренных широт (100 гПа) с января по июнь, а также в декабре, наблюдались положительные аномалии температуры, в мае достигавшие 1,29°С. Отрицательные аномалии в нижней стратосфере наблюдались с июля по ноябрь и не превышали -1°С по абсолютному значению. Наибольшее изменение аномалий температуры с высотой наблюдалось в октябре: разность аномалий на поверхностях 850 и 100 гПа составила 2,64°С.

Таблица 13.1 – Аномалии температуры за 2024 г. для двух широтных зон Северного полушария (30-60 с. ш. и 60-90 с. ш.) на отдельных изобарических поверхностях. *Цветной заливкой показаны отрицательные (голубой) и положительные (желтый) аномалии.*

МЕСЯЦ	30-60 С. Ш.				60-90 С. Ш.			
	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа
Январь	1,06	0,99	0,29	0,61	-0,37	0,16	0,96	1,68
Февраль	1,42	1,57	0,70	0,33	0,81	0,58	0,37	-0,77
Март	1,72	1,02	0,54	0,09	0,90	0,93	1,34	3,93
Апрель	2,37	2,18	1,67	0,51	1,02	2,06	1,07	1,04
Май	0,70	0,97	0,75	1,29	0,02	0,02	-0,06	0,35
Июнь	1,45	1,32	1,22	0,56	1,43	0,97	0,74	0,43
Июль	1,70	1,68	1,75	-0,07	0,83	1,40	1,56	0,22
Август	1,58	1,73	1,73	-0,42	1,22	1,28	0,96	0,31
Сентябрь	1,60	2,06	2,18	-0,76	1,92	1,66	1,04	0,11
Октябрь	1,70	1,88	1,63	-0,94	0,88	0,56	0,29	0,09
Ноябрь	1,65	1,59	1,25	-0,74	1,45	1,04	0,68	-0,71
Декабрь	1,08	0,74	0,50	0,04	2,53	1,40	-0,37	-2,68

В тропосфере высоких широт на протяжении всего года преобладали положительные аномалии температуры. В апреле, августе и сентябре они превышали 1°С во всем слое тропосферы. В декабре на поверхности 850 гПа и в апреле на поверхности 500 гПа аномалии температуры превысили 2°С и были равны 2,53 и 2,06°С соответственно. Отрицательные аномалии температуры наблюдались в январе на поверхности 850 гПа и в декабре на поверхности 300 гПа и были равны -0,37°С. В мае во всем слое тропосферы аномалии температуры были близки к нулю. В нижней стратосфере высоких широт на протяжении всего года преобладали положительные аномалии температуры, в январе, марте и апреле превышавшие 1°С. В марте они были равны 3,93°С. Отрицательные аномалии температуры наблюдались только в феврале, ноябре и декабре. В декабре они достигали -2,68°С. Наиболее значительная изменчивость аномалий температуры с высотой наблюдалось в декабре: разность аномалий на поверхностях 850 и 100 гПа составила 5,21°С.

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. При том следует учесть, что характеристики аномалий для декабря 2024 года влияют на оценки для 2024 года в целом,

и на сезонные обобщения для зимнего сезона 2024-2025 годов, и следовательно, будут рассматриваться уже в следующем выпуске Доклада.

В Таблице 13.2 приведены аномалии температуры, обобщенные для каждого из четырех сезонов 2024 года (зимний сезон включает период декабрь 2023-февраль 2024 г) и для года в целом, осредненные по вертикали внутри слоев 850-300 гПа (тропосфера) и 100-50 гПа (нижняя стратосфера) для тридцатиградусных широтных зон Северного полушария и полушария в целом. Вертикально-широтная структура для годовых и сезонных аномалий температуры в 2024 г показана на рисунке 13.1. На рисунке 13.2 представлены посезонно ранги 10 самых теплых в тропосфере и 10 самых холодных в нижней стратосфере лет, причем отдельно выделено положение 2024 г.

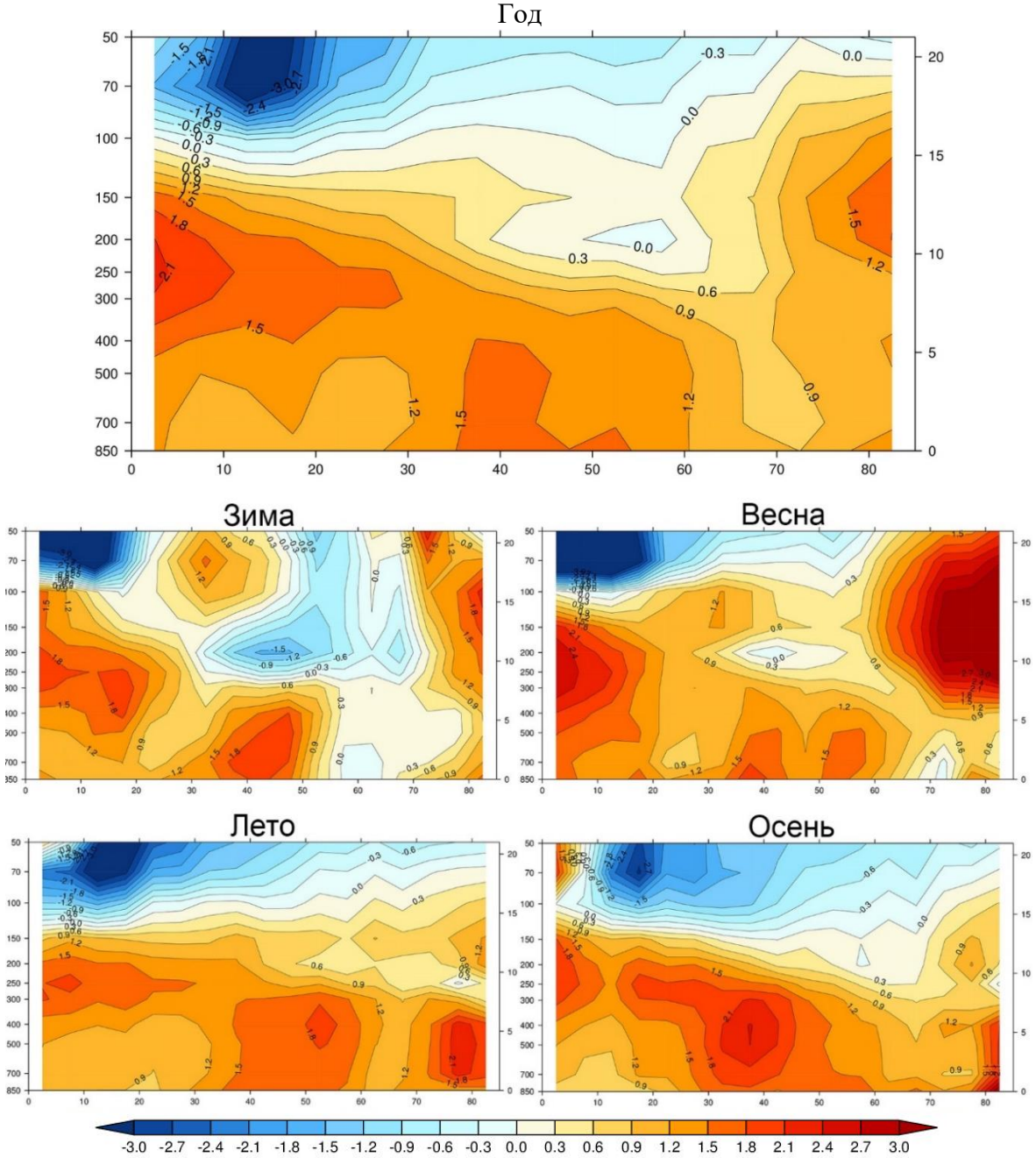

Рисунок 13.1 – Вертикально-широтная структура годовых и сезонных аномалий температуры свободной атмосферы в 2024 г. Горизонтальная ось – широты, левая вертикальная ось – давление на стандартных изобарических поверхностях, правая вертикальная ось – высоты над уровнем моря, в км

В тропосфере низких широт 2024 год стал рекордно теплым годом за всю историю наблюдения во всех сезонах. В умеренных широтах стал самым теплым годом во всех

сезонах кроме зимнего. Зимой он занял второе место, уступив 2020 году. В высоких широтах в 2024 году наблюдалась относительно холодная зима: 30 место в ряду самых теплых лет с аномалией температуры 0,14ºС. Низкая аномалия температуры за сезон вышла за счет отрицательных аномалий во всем слое тропосферы в декабре 2023 года. Весной и осенью в тропосфере высоких широт 2024 год занял второе место в ряду самых теплых лет, а летом – 3 место. В целом по Северному полушарию 2024 год стал рекордно теплым весной, летом и осенью, а зимой занял второе место после 2020 года. В среднем за год 2024 стал рекордно теплым во всех широтных поясах, и в целом по северному полушарию аномалия температуры составила 1,32ºС, что превышает предыдущий рекорд 2020 года (0,88ºС), более чем на 0,4ºС.

Таблица 13.2 – Аномалии температуры в тропосфере и нижней стратосфере от норм 1981-2010 гг., ΔT_{2022} – *величина аномалии в градусах Цельсия,* R (-R) – ранг (обратный ранг) в рядах, упорядоченных по возрастанию значений соответствующих аномалий за период 1958-2024 гг.

Сезон	0-30 С. Ш.		30-60 С. Ш.		60-90 С. Ш.		Северное полушарие	
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
	1,11	1	1,18	2	0,14	30	1,07	2
Зима	1,28	1	1,38	1	0,86	2	1,30	1
Весна	1,08	1	1,57	1	1,19	3	1,37	1
Лето	1,28	1	1,77	1	1,08	2	1,55	1
Осень	1,21	1	1,44	1	0,97	1	1,32	1
Год	1,11	1	1,18	2	0,14	30	1,07	2
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100–50 гПа								
	ΔT_{2023}	R	ΔT_{2023}	R	ΔT_{2023}	R	ΔT_{2023}	R
Зима	-0,79	18	0,26	34	0,33	37	-0,06	26
Весна	-1,70	4	0,00	33	1,32	51	-0,40	22
Лето	-1,90	3	-0,62	16	-0,09	25	-0,95	6
Осень	-1,65	5	-1,04	5	-0,47	10	-1,18	5
Год	-1,59	4	-0,35	24	0,07	30	-0,69	13

В нижней стратосфере 2024 год был относительно холодным в низких широтах и относительно теплым в умеренных и высоких широтах. В низких широтах для нижней стратосферы 2024 год с весны по осень и в целом год вошел в пятерку самых холодных за всю историю наблюдений. Его годовая аномалия температуры составила -1,59ºС. В умеренных широтах осенью 2024 год за стал пятым самым холодным годом с аномалией температуры -1,04ºС, а зимой в 2024 году наблюдалась положительная аномалия температуры 0,26ºС, весной аномалия температуры была равна нулю. В высоких широтах зимой и весной наблюдались положительные аномалии температуры. Весной она составила 1,32ºС. Летом наблюдалась небольшая отрицательная аномалия температуры, а осенью 2024 год стал десятым самым холодным годом. Из-за положительных зимних и весенних аномалий в среднем за год 2024 год был относительно теплым. В высоких широтах наблюдалась небольшая положительная годовая аномалия температуры 0,07ºС. В целом по Северному полушарию зимой аномалия температуры была близка к нулю, а летом и осенью 2024 год вошел в шесть самых холодных лет. В целом за год аномалия температуры составила -0,69ºС.

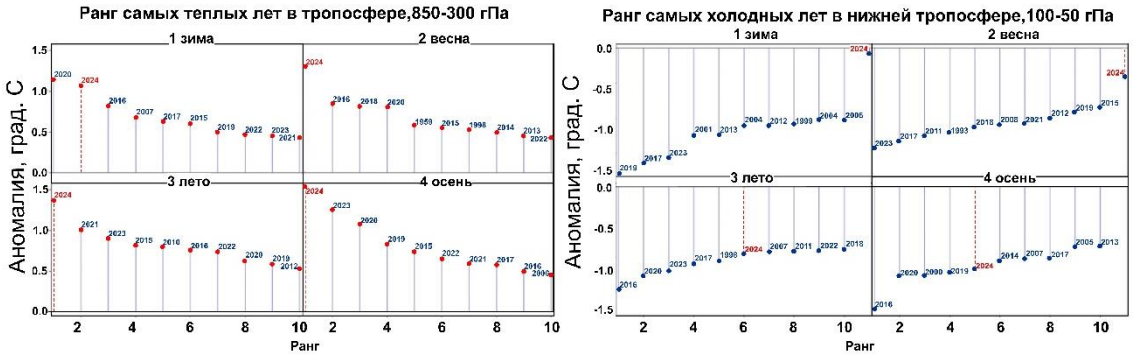

Рисунок 13.2 – Ранги самых значительных сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1958-2024 гг. Левая панель – положительные аномалии, тропосфера (850-300 гПа), правая панель – отрицательные аномалии, нижняя стратосфера (100-50 гПа). Обозначения сезонов по аналогии с рисунком 13.2, 2024 г. выделен красным пунктиром

Тенденции современных изменений температуры воздуха в свободной атмосфере

Современные тенденции изменения температуры в свободной атмосфере, суть которых сводится к потеплению в тропосфере и похолоданию в нижней стратосфере, проиллюстрированы для сезонов Северного полушария на рисунке 13.3, где, наряду с рядами сезонных аномалий, представлены линии трендов.

Таблица 13.3 содержат значения линейных трендов, вычисленных за период 1981-2024 на основе рядов сезонных и годовых аномалий отдельных широтных зон и Северного полушария в целом для тропосферы и нижней стратосферы соответственно.

Как следует из таблицы 13.3, в тропосфере тенденции потепления во всех широтных зонах всех сезонов статистически значимы. По сравнению с 2023 годом в низких и умеренных широтах во всех сезонах и за год в целом оценки трендов увеличились на 0,02°С/10 лет, осенью умеренных широт на 0,03°С/10 лет. В высоких широтах зимняя оценка тренда уменьшилась на 0,01°С/10 лет, а в остальные сезоны увеличилась на 0,01°С/10 лет. В целом по Северному полушарию оценки трендов во все сезоны и за год в целом увеличились на 0,02°С/10 лет и принимают значения от 0,19°С/10 лет зимой до 0,29°С/10 лет осенью. Годовой тренд в тропосфере Северного полушария составил 0,24°С/10 лет.

Таблица 13.3 – Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2023 гг.)
b – значения сезонного или годового тренда (°С/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	
	b	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*B*	*D*
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
Зима	**0,24**	**49**	**0,18**	**20**	**0,14**	**21**	**0,19**	**38**
Весна	**0,15**	**27**	**0,24**	**47**	**0,15**	**18**	**0,21**	**52**
Лето	**0,13**	**29**	**0,32**	**61**	**0,31**	**52**	**0,26**	**61**
Осень	**0,21**	**40**	**0,33**	**61**	**0,30**	**53**	**0,29**	**65**
Год	**0,19**	**47**	**0,27**	**66**	**0,23**	**56**	**0,24**	**66**
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100–50 гПа								
Зима	**0,24**	**49**	**0,18**	**20**	**0,14**	**21**	**0,19**	**38**
Весна	**0,15**	**27**	**0,24**	**47**	**0,15**	**18**	**0,21**	**52**
Лето	**0,13**	**29**	**0,32**	**61**	**0,31**	**52**	**0,26**	**61**
Осень	**0,21**	**40**	**0,33**	**61**	**0,30**	**53**	**0,29**	**65**
Год	**0,19**	**47**	**0,27**	**66**	**0,23**	**56**	**0,24**	**66**

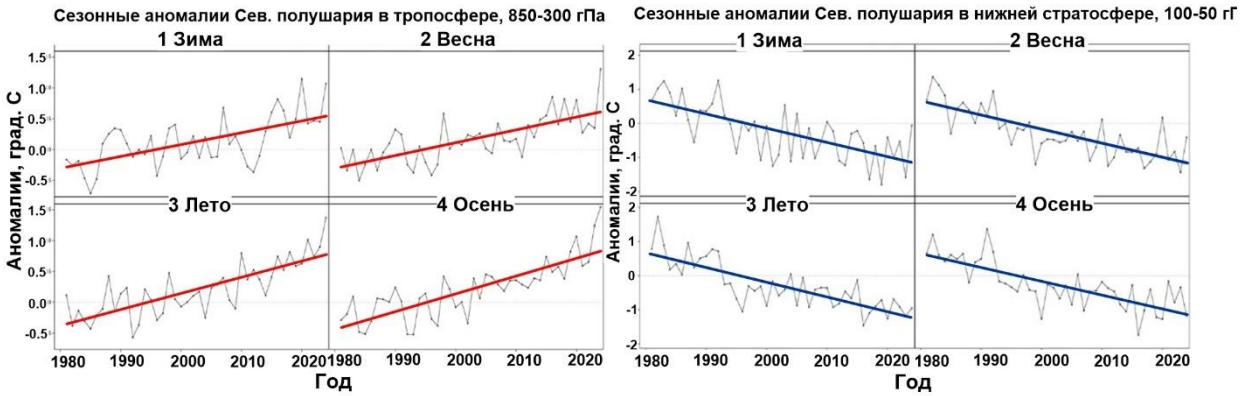

Рисунок 13.3 – Ряды сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1981-2024 гг. Левая панель – тропосфера (850-300 гПа), правая панель – нижняя стратосфера (100-50 гПа). Линии трендов построены методом наименьших квадратов для тропосферы (красный цвет) и нижней стратосферы (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. Осенний тренд по сравнению с 2023 годом не изменился ни в одной широтной зоне. Летом оценка тренда увеличилась по абсолютному значению в низких широтах, а в умеренных и высоких, а также в целом по Северному полушарию

уменьшилась. Весенняя оценка тренда не изменилась низких широтах и уменьшилась по абсолютному значению в остальных широтных зонах. В высоких широтах она изменилась с -0,38ºС/10 лет в 2023 году до -0,31ºС/10 лет в 2024 году. Зимние оценки трендов уменьшились по абсолютному значению во всех широтных зонах. В среднем за год оценка тренда уменьшилась по абсолютному значению в умеренных и высоких широтах, а также по всему Северному полушарию. Годовой тренд составил -0,41ºС/10 лет.

Выводы

В тропосфере Северного полушария с аномалией температуры 1,32ºС 2024 год стал рекордно теплым, превысив предыдущий рекорд 2020 года более чем на 0,4ºС. Рекордно большие аномалии наблюдались и в отдельные сезоны в низких и умеренных широтах, а также по Северному полушарию. Только зимой в умеренных широтах и по Северному полушарию 2024 год уступил 2020 году. В высоких широтах весна, лето и осень вошли в тройку самых теплых лет, а зима была относительно холодной с аномалией температуры 0,14ºС. Таким образом, 2015-2024 гг. являются самым теплым десятилетием с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария.

В нижней стратосфере 2024 год был относительно теплым. Зимой и весной в умеренных и высоких широтах наблюдались либо положительные, либо аномалии температуры близкие к нулю. Весна, лето и осень низких широт вошли в пятерку самых холодных. И в целом по Северному полушарию лето и осень 2024 года вошли в шесть самых холодных лет. В целом за год аномалия температуры составила -0,69ºС.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2024 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере.

В тропосфере добавление оценок аномалий за 2024 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2023 года включительно, привело к увеличению оценок трендов практически во всех сезонах и широтных поясах в среднем на 0,02ºС/10 лет. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере всего Северного полушария вырос с 0,22ºС/10 лет до 0,24ºС/10 лет.

В нижней стратосфере по сравнению с 2023 годом в умеренных, высоких и в целом по Северному полушарию зимние, весенние и летние оценки трендов уменьшились по абсолютному значению. В низких широтах летняя оценка увеличилась, а весенняя не изменилась. Осенние оценки не изменились во всех широтных поясах. Среднегодовой тренд температуры в нижней стратосфере всего Северного полушария уменьшился по абсолютному значению и составил -0,41ºС/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 (≈ 1500 пунктов наблюдений). Нормативные характеристики, используемые для оценки аномальности и экстремальности режима ветра в 2024 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.

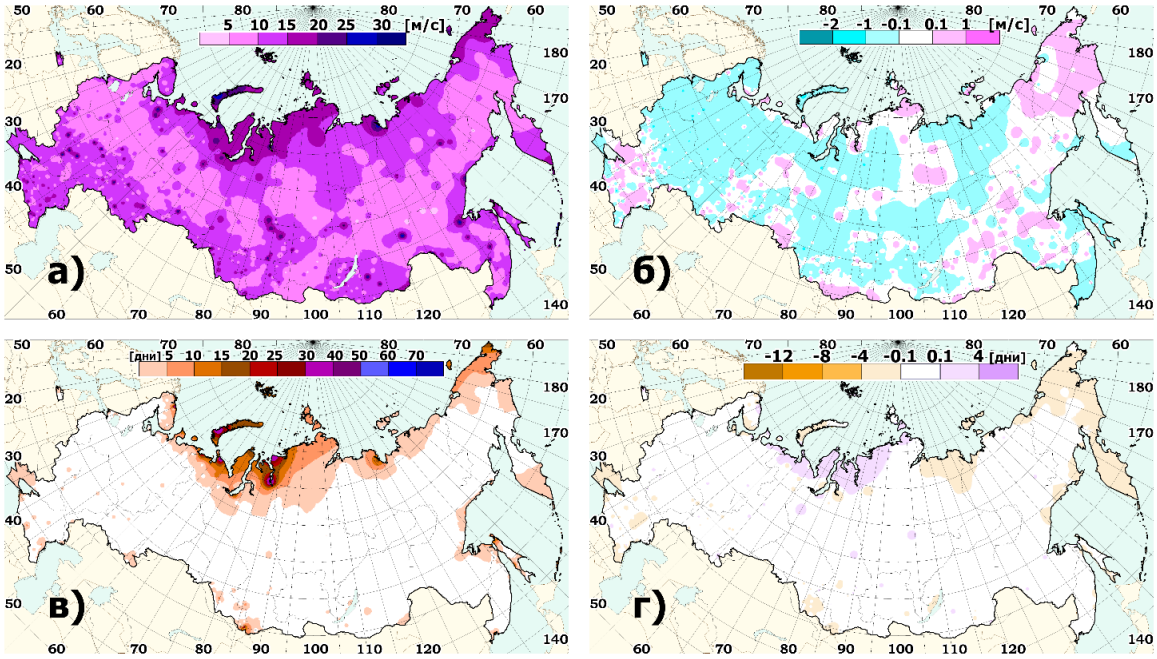

Рисунок 14.1 – а) Максимальная скорость ветра за 2024 г. (без учета порывов); б) Аномалии среднегодовой скорости ветра в 2024 г.; в) Число дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2024 г.; г) Аномалии (отклонение от средних многолетних значений) числа дней со скоростью ветра ≥ 15м/с в 2024 г.

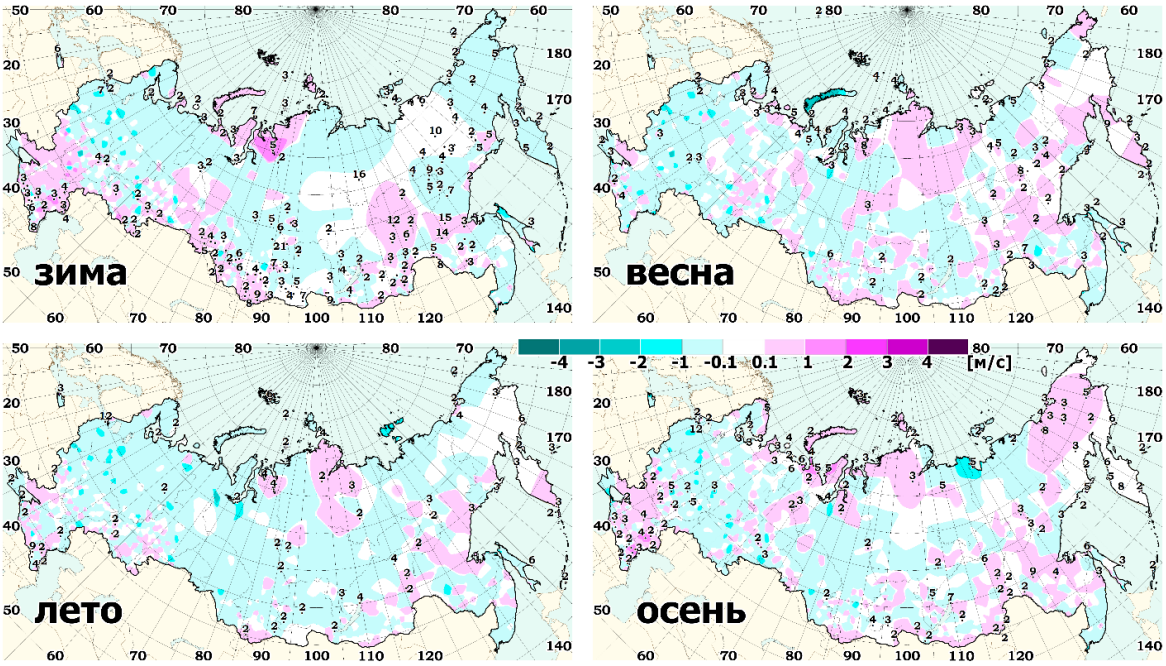

Рисунок 14.2 – Аномалии средней скорости ветра по календарным сезонам 2024 года. Точками и цифрами обозначены станции, на которых скорость ветра превышала 95-й процентиль и число дней с такой экстремальной скоростью ветра

Максимальная из средних скоростей ветра 15 м/с и выше наблюдалась в 2024 году на арктическом побережье, Чукотке, юге Камчатки, западном побережье Охотского моря и отдельных метеорологических станциях центральных районов ЕЧР, Урала и юга Сибири. Максимальная из средних скоростей ветра выше 25 м/с была зафиксирована в 15 пунктах. Наибольшее число дней со средней скоростью ветра ≥15м/с (рисунок 14.1 в), отмечалось на арктическом и тихоокеанском побережье страны. Максимум таких дней

(46) был зафиксирован на полярной станции Амдерма Ненецкого АО. На большей территории РФ число дней с сильным ветром не превышало 5 дней.

Аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 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 2024 году отмечалась на полярной станции Малые Кармакулы (архипелаг Новая Земля) и составила –2,9 дней. Относительно значимые отклонения от нормы в меньшую сторону отмечены так же в Магаданской области, на Камчатке и Чукотке. Наибольшая положительная аномалия числа дней со скоростью ветра больше (или равно) 15 м/с, наблюдались на станции Караул (Таймырский АО) близ устья Енисея и составила 2,18 дня.

Распределение аномалий скорости ветра по сезонам отражены на рисунке 14.2. Во все сезоны, как и в прошлом году, преобладают отрицательные аномалии средней скорости ветра. Значительные отрицательные аномалии зимой, весной и осенью отмечались на метеорологической станции Тамбов (≈ -2 м/с). Метеостанция на острове Байдуков (Татарский пролив) отличилась наибольшей положительной аномалией скорости ветра в летний период (-2,74 м/с). Значительное отклонение средней скорости ветра в меньшую сторону от нормы (-2,32 м/с) отмечено летом на станции Питляр (Ямало-Ненецкий АО). Наибольшая положительная аномалии не превышали по модулю 2 м/с. Так, зимой наибольшее отклонение от нормы отмечено на станции Караул близ устья Енисея (1,62 м/с), осенью на метеорологической станции Терекли-Мектеб (Дагестан) – 1,46 м/с, летом на станции Мыс Терпения (остров Сахалин) - 1,2 м/с, станции Светлолобово Красноярского края - 0,98 м/с.

Количество дней с экстремальным ветром (скорость ветра выше значения, соответствующего 95-ому процентилю) в 2024 году отмечено цифрами на рисунке 14.2. Наибольшее количество таких дней наблюдалось на метеорологической станции Средняя Олёкма (Забайкальский край) – 32 дня зимой, Воейково (Ленинградская область) – по 12 дней летом и осенью, Усьть-Воямполка (Камчатский край) – 9 дней. Стоит заметить, что количество уникальных станций, где хотя бы в один из дней сезона наблюдалась экстремальная скорость ветра (выше 95-ого процентиля), в 2024 году значительно больше в зимний период – 162 пункта, летом же таких пунктов только 59, осенью – 126, весной – 95.

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 1976-2024 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 соответственно. Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Башкортостан (Мраково) весной и летом. Рост составляет 0,54 м/с и 0,43 м/с за 10 лет соответственно. Также заметный рост скорости ветра отмечен для острова Тюлений в Республике Дагестан (0,44 м/с в 10 лет) и на острове Большой Шантар в Охотском море (0,39 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. Наиболее существенна величина уменьшения скорости ветра отмечается на этой станции в зимний период (-1,58 м/с за 10 лет).

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с также статистически незначим на большей территории РФ (рисунок 14.4). Только в 9 пунктах наблюдений для всех сезонов отмечается положительный коэффициент линейного тренда.

Наибольшие значения получены за зимний период для метеорологической станции Улья (Хабаровский край) – 1,60 дня за 10 лет, весной – для метеорологической станции Певек (Чукотский АО) – 1,56 дня за 10 лет и метеорологической станции Териберка

(Мурманская обл.) – 1,47 дня за 10 лет, осенью – для метеорологической станции Улья – 1,199 дня за 10 лет. Максимальный по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда (-5,078 дня/10 лет) получен зимой на метеорологической станции Ненастная (Республика Хакасия). Весной, летом и осенью тенденция уменьшения числа дней со скоростью более 15 м/с выявлена на метеорологической станции Невельск (о. Сахалин). В целом, зимой, весной и осенью 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) – 4,8 дней/10 лет зимой и 3,34 дня/10 лет весной и 3,55 дней/10 лет осенью.

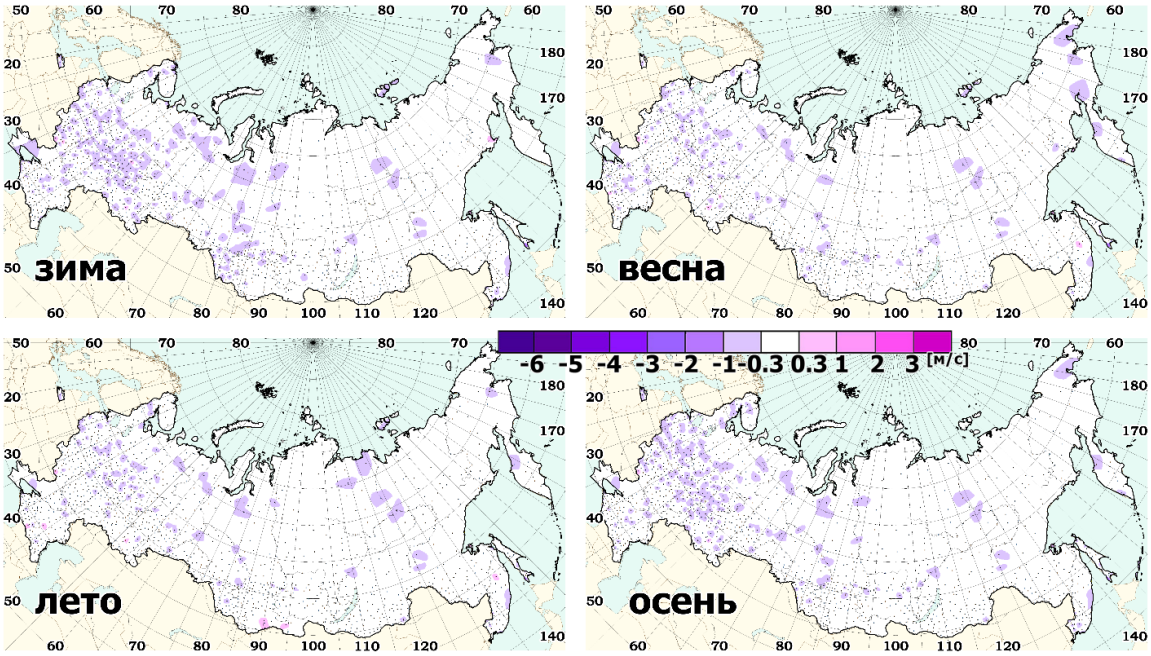

Рисунок 14.3 – Коэффициенты линейного тренда ((м/с)/10 лет) в рядах средней скорости ветра (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2024 гг.

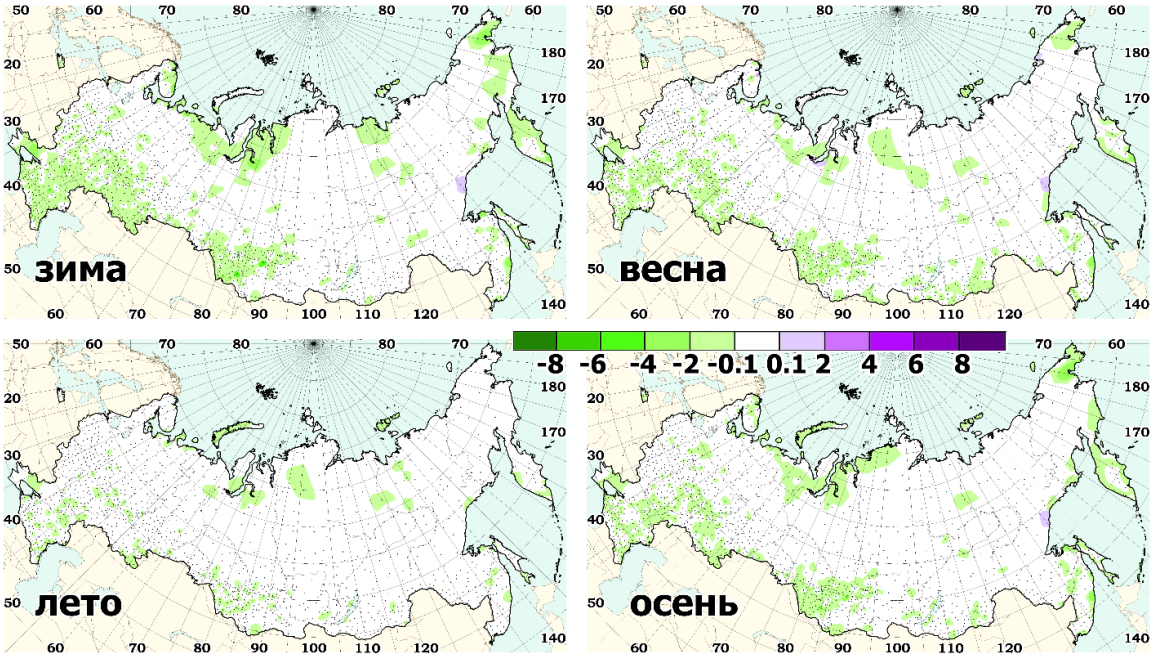

Рисунок 14.4 – Коэффициенты линейного тренда (день/10 лет) в рядах числа дней со скоростью больше 15 м/с (статистически значимые на 5%-м уровне значимости). 1976-2024 гг.

Согласно результатам оценки региональных изменений, во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается (таблица 14.1). Скорости ветра уменьшаются для России в целом и во всех квази-однородных регионах, за исключением зимнего сезона в центре и на юге Восточной Сибири (район VI), весны и лета на Чукотке и севере Камчатки (район III). Изменения числа дней с ветром более 15 м/с на значительной части квазиоднородных регионов незначимы, а значимые коэффициенты линейного тренда имеют отрицательные значения. Наиболее заметна тенденция уменьшения количества таких дней на юге Европейской части России – 1,46 дней/10 лет.

Таблица 14.1 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-м уровне значимости) регионально осредненных характеристик ветра для регионов России за 1976-2024 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	-0,13		-0,06	-0,06	-0,19
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0,20	-0,16	-0,16	-0,19	-0,46	-0,14	-0,14	-0,52
Север Восточной Сибири и Якутии	-0,06	-0,09	-0,09	-0,05				
Чукотка и север Камчатки	-0,12			-0,13				
Центр ЕЧР	-0,23	-0,15	-0,15	-0,22	-0,68	-0,12	-0,12	-0,31
Центр и юг Западной Сибири	-0,20	-0,12	-0,12	-0,16	-0,97	-0,31	-0,31	-0,89
Центр и юг Восточной Сибири		-0,05	-0,05	-0,04				
Дальний Восток	-0,14	-0,11	-0,11	-0,15		-0,34	-0,34	-0,72
Алтай и Саяны	-0,06	-0,02	-0,02	-0,05				
Юг ЕЧР	-0,14	-0,08	-0,08	-0,10	-1,46	-0,33	-0,33	-0,49

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 2024 г включал декабрь 2023 г и январь-февраль 2024 г) и для 2024 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 2024 году на южной половине европейской части России и северо-востоке Сибири наблюдались отрицательные аномалии модуля скорости ветра, превышавшие по абсолютному значению -1 м/с на отдельных станциях. Отрицательные аномалии над европейской частью России обусловлены отрицательными аномалиями меридионального ветра, что привело к небольшому отклонению направления ветра на юг от климатического. Положительные аномалии скорости ветра, превышающие 1 м/с наблюдались в тропосфере над Белым морем, на юге Хабаровского края и над Приморским Краем. Направление ветра, за исключением ЕЧР, в целом соответствует климатическому.

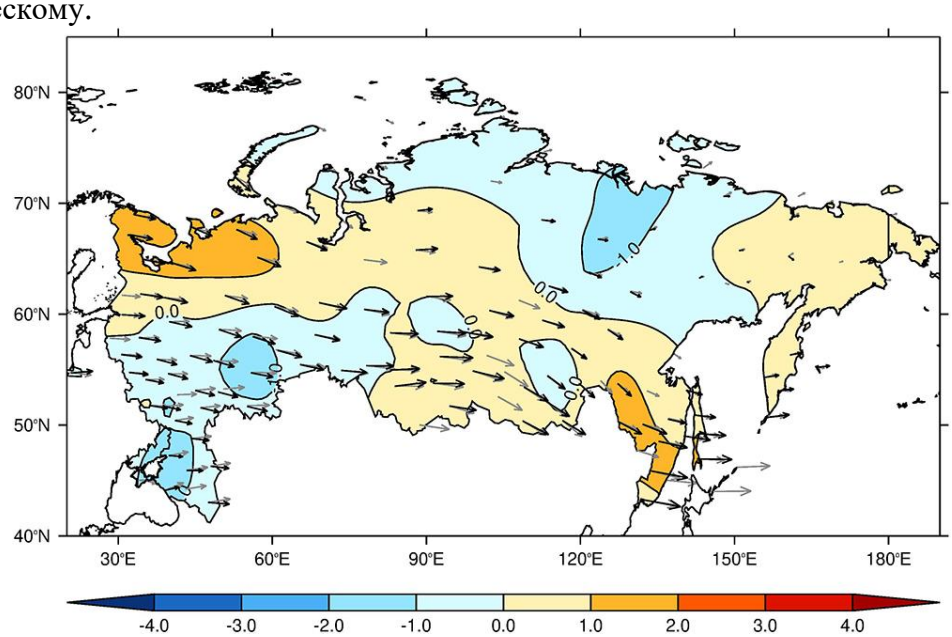

Рисунок 15.1 – Аномалии скорости ветра в 2024 г. в тропосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2024 г., серые – за период 1985-2014 гг.

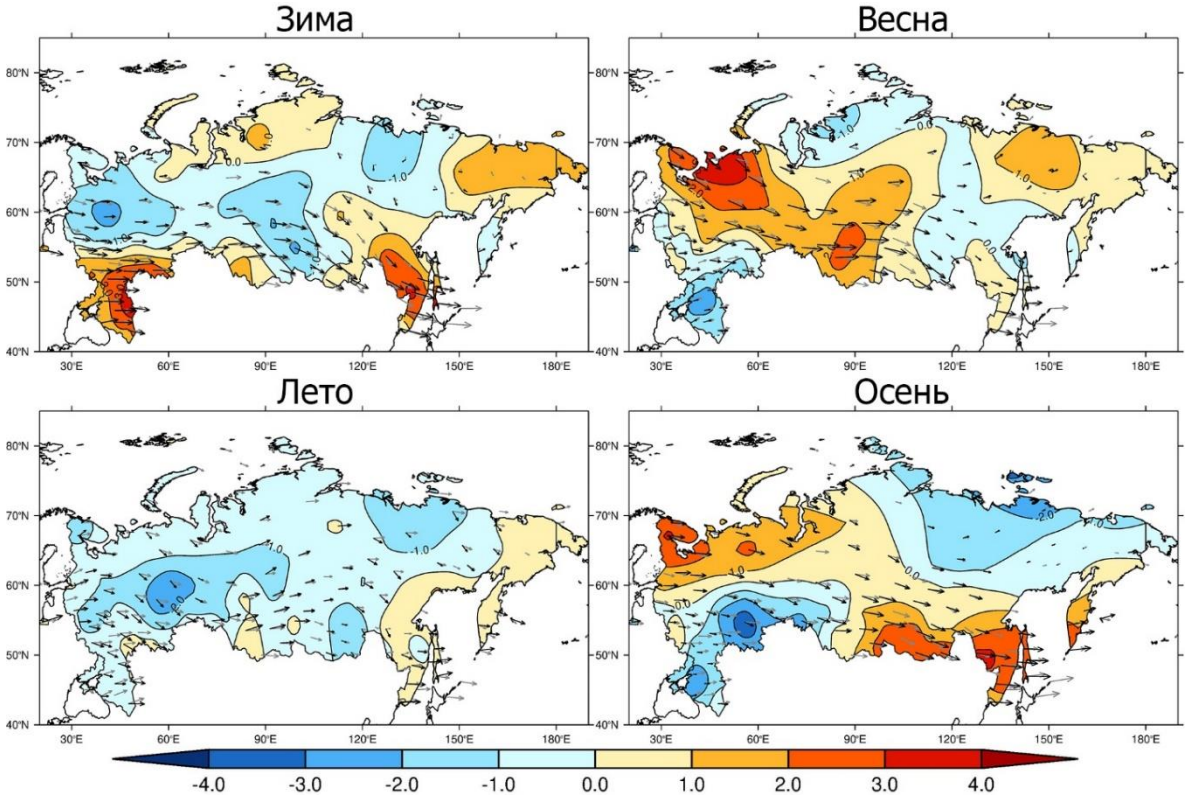

Рисунок 15.2 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2023-2024 гг., весна, лето и осень 2024 года) в тропосфере

Зимой 2024 года в тропосфере над северной половиной ЕЧР наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, достигавшие -2 м/с, а над южной половиной – положительные аномалии, превышавшие 3 м/с над Астраханской областью. В обоих случаях аномалии обусловлены аномалиями зонального ветра: отрицательными на севере и положительными на юге. В азиатской части России положительные аномалии скорости ветра наблюдались на севере Сибири, над Чукоткой и на юге Дальнего Востока, где они достигали 3 м/с. В целом за сезон направление ветра над большей частью территории России соответствовало климатическому. Только на северо-востоке Сибири наблюдался небольшой восточный ветер. Аномалии ветра в декабре и феврале в среднем соответствуют среднезонным. Существенным отличием в декабре являются положительные аномалии меридионального ветра над северной половиной ЕЧР, из-за чего там наблюдалось юго-западное направление ветра, а в феврале над южной половиной ЕЧР наблюдались отрицательные аномалии меридионального ветра, из-за чего направление ветра было северо-западным. В январе положительные аномалии скорости ветра наблюдались над центральной Сибирью.

Весной 2024 года в тропосфере отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на юго-западе ЕЧР, над северной и восточной Сибирью. Положительные аномалии над Ненецким АО превышали 3 м/с. Над северной половиной ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра из-за отрицательных аномалий меридионального ветра, а над Сибирью из-за положительных аномалий меридионального ветра направление ветра было западным. Сезонные аномалии обусловлены в целом мартовскими и майскими аномалиями скорости и направления ветра. В апреле над ЕЧР преобладали положительные аномалии скорости, превышавшие на отдельных станциях 4 м/с. На западе ЕЧР в апреле наблюдалось юго-западное направление ветра, а на востоке – северо-западное.

Летом 2024 года в тропосфере отрицательные аномалии скорости ветра преобладали практически над всей территорией России. Над Пермским краем и Свердловской областью они превышали -2 м/с по абсолютному значению. Небольшие положительные аномалии скорости ветра наблюдались над Дальним Востоком, а также над отдельными станциями на юге Сибири, Саратовской и Оренбургской областей. Над ЕЧР и на северо-востоке Сибири из-за отрицательных аномалий меридионального ветра наблюдалось северо-западное направление ветра. На юго-западе Сибири направление ветра было юго-западным. Положительные аномалии скорости ветра, превышавшие 2 м/с, наблюдались на севере Сибири в июне, а в августе в том же регионе наблюдались отрицательные аномалии более -2 м/с по абсолютному значению.

Осенью 2024 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра, достигавшие 3 м/с, наблюдались на севере ЕЧР и на юге Сибири и Дальнего Востока. На юге ЕЧР наблюдаюсь отрицательные аномалии скорости ветра, превышавшие -3 м/с по абсолютному значению над Башкортостаном. Направление ветра в целом соответствует климатическому, только над южными Уральскими горами и на юго-западе Сибири наблюдалось небольшое смещение направления ветра на юг. Это смещение – результат господствовавшего в сентябре в Поволжье антициклона. Южное направление ветра на западе ЕЧР в сентябре в среднем за сезон было компенсировано северо-западным ветром в ноябре.

На рисунках 15.3 и 15.4 показаны среднегодовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в нижней стратосфере. В нижней стратосфере в 2024 году над всей территорией России наблюдались небольшие аномалии модуля скорости ветра, не превышавшие 2 м/с по абсолютному значению. Положительные аномалии наблюдались на западе ЕЧР и юге Сибири и Дальнего Востока. Над остальной территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра. Над ЕЧР наблюдались небольшие отрицательные аномалии меридионального ветра, а над южной частью Сибири – небольшие положительные.

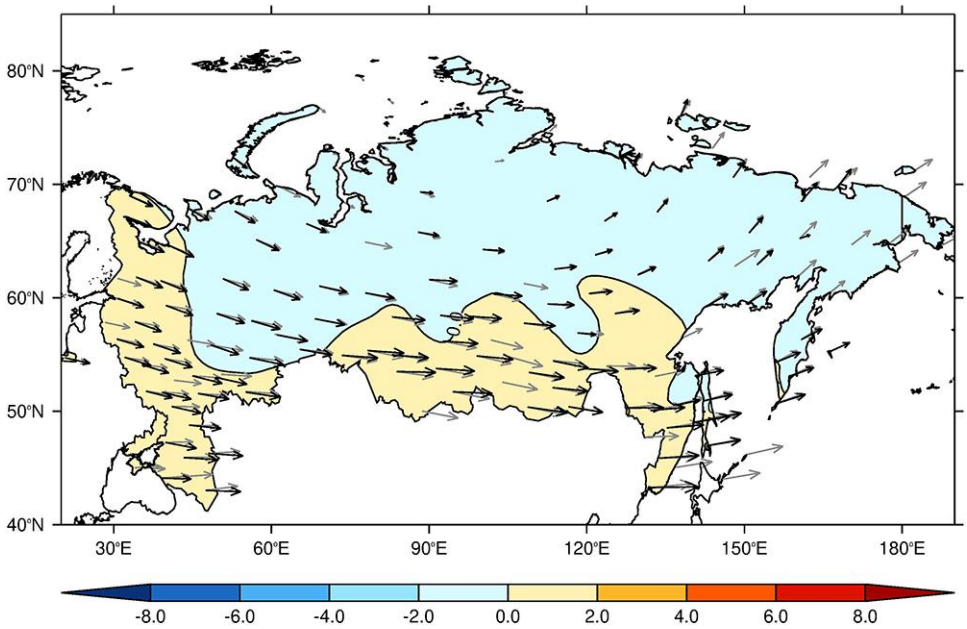

Рисунок 15.3 – Аномалии скорости ветра в 2024 г. в нижней стратосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2024 г., серые – за период 1985-2014 гг.

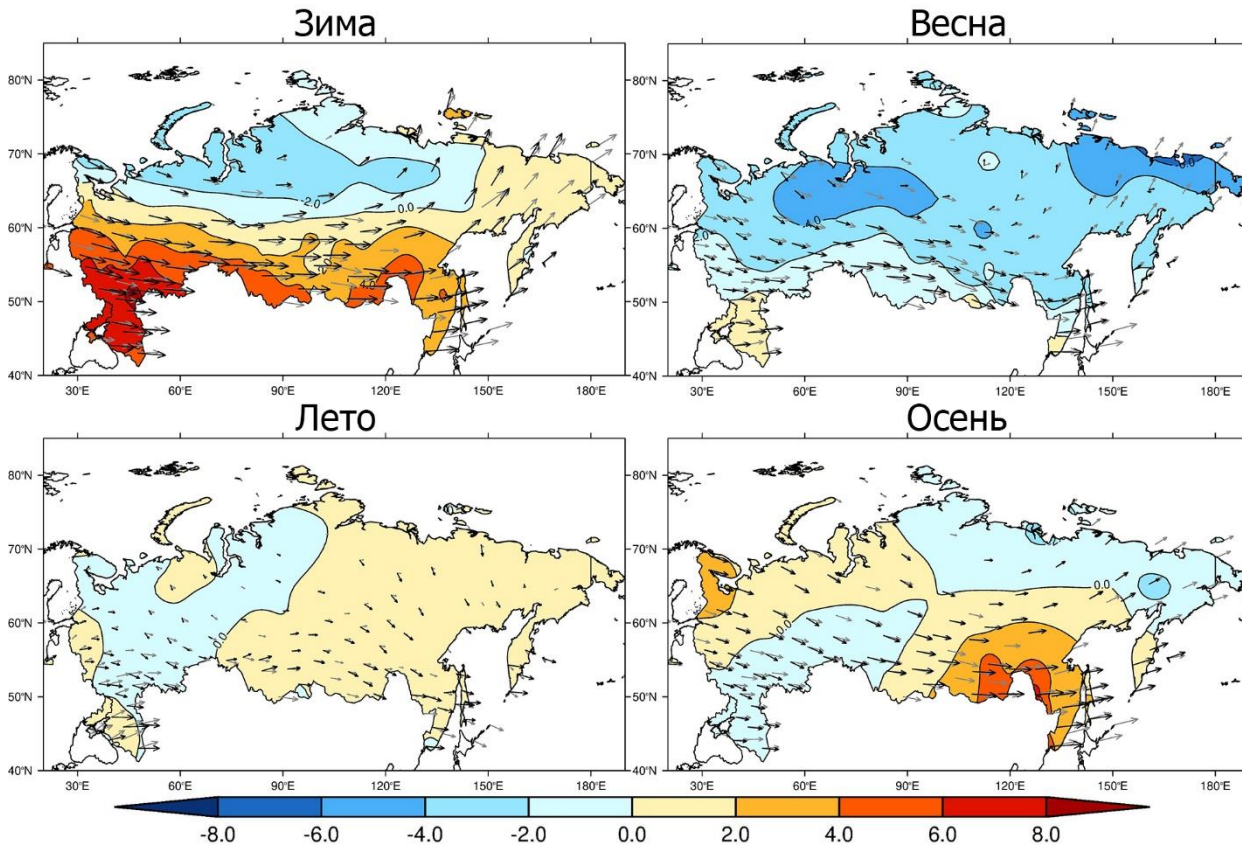

Рисунок 15.4 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2023/2024 гг., весна, лето и осень 2024 г.) в нижней стратосфере.

Зимой 2024 года в нижней стратосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались южнее 60 с.ш., а также на Дальнем Востоке. На юге ЕЧР они достигали 8 м/с. Направление ветра в целом за сезон соответствовало климатическому. Аналогичное распределение аномалий скорости и направления ветра наблюдалось и в отдельные месяцы: в декабре и феврале. В январе положительные аномалии скорости ветра наблюдались над ЕЧР, над центральной и северо-восточной Сибирью. На юго-востоке Сибири и над Дальним Востоком наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, превышавшие -3 м/с по

абсолютному значению. Направление ветра во все месяцы в целом соответствовало климатическому.

Весной 2024 года в нижней стратосфере практически над всей территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, превышавшие по абсолютному значению -4 м/с на севере Уральских гор и севере Чукотки. Небольшие положительные аномалии наблюдались только на Юге России и на юге Приморского края. На севере ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра из-за отрицательных аномалий меридионального ветра, а на юге Сибири – западное направление из-за положительных аномалий меридионального ветра. В отдельные месяцы отрицательные аномалии скорости ветра преобладали практически над всей территорией России в марте и апреле. В марте они превышали по абсолютному значению -9 м/с над Уральскими горами и Чукоткой. На севере Дальнего Востока в марте из-за больших отрицательных аномалий зонального ветра наблюдалось юго-восточное направление ветра. В мае над территорией России преобладали положительные аномалии скорости ветра, превышавшие 3 м/с на Юге России и на юге Сибири. Небольшие отрицательные аномалии наблюдались на севере ЕЧР и АЧР.

Летом 2024 года в нижней стратосфере аномалии скорости ветра не превышали 2 м/с над всей территорией России. Отрицательные аномалии наблюдались на северо-западе Сибири и над ЕЧР, за исключением юга и запада ЕЧР. Над ЕЧР наблюдались отрицательные аномалии меридионального ветра, из-за которых направление ветра было смещено на юг. На севере Дальнего Востока ветер имел выраженное северное направление, в то время как в среднем там выраженного направления нет. Северо-запад Сибири и север Дальнего Востока характеризовались аномальной направленностью ветра и в отдельные сезоны. Летом в этом регионе наблюдался выраженный восточный ветер, переходящий в северо-восточный над Сибирью и в северо-западный над югом Сибири. В июле в этом регионе наблюдался северный ветер, а в августе – северо-западный.

Осенью 2024 года распределение аномалий модуля скорости ветра в нижней стратосфере в значительной мере соответствует распределению в тропосфере. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на юге ЕЧР и на севере АЧР. Наибольшие положительные аномалии наблюдались на северо-западе ЕЧР и на юге Дальнего Востока, где они достигали 6 м/с. Направление ветра в целом соответствовало климатическому, только на юге ЕЧР из-за небольших аномалий меридионального ветра направление ветра имело южное смещение. Схожесть распределения аномалий модуля скорости ветра в нижней стратосфере и тропосфере наблюдается и в каждом отдельном месяце: сентябре, октябре и ноябре. Направление ветра в октябре и ноябре в целом соответствует климатическому, а в сентябре на востоке ЕЧР и западе Сибири наблюдался северо-западный ветер.

Таким образом, в 2024 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались над Белым морем, на юге Хабаровского края и над Приморским Краем. Наибольшие отрицательные (до -2 м/с) – на отдельных станциях на юге ЕЧР и на северо-востоке Сибири. При этом в отдельные сезоны в некоторых регионах аномалии скорости ветра превышали 3 м/с: зимой – над Астраханской областью и на юге Дальнего Востока, весной – на севере ЕЧР, осенью – на севере ЕЧР и на юге Сибири и Дальнего Востока. Наибольшие отрицательные аномалии наблюдались зимой на Юге России и осенью на юго-западе Сибири. Направление ветра в целом за год соответствовало климатическому. Весной и летом над восточной частью ЕЧР наблюдался северо-западный ветер. Также летом северо-западный ветер наблюдался на северо-востоке Сибири.

В нижней стратосфере в среднем за год в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Большие положительные аномалии скорости ветра наблюдались зимой южнее 60 с.ш., а отрицательные – весной на севере Уральских гор и Чукотки. Над всей территорией России они не превышали 2 м/с по абсолютному значению. В среднем за год и в отдельные месяцы направление ветра в целом соответствовало климатическому.

Летом над ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра, а также аномально выраженное северное направление ветра на севере Дальнего Востока.

16. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Анализ изменчивости концентрации парниковых газов (ПГ) выполнен на основе результатов измерений в приземном слое атмосферы на шести 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) обеспечивает ФГБУ «ААНИИ». К сожалению, данные станции Тикси доступны только по 2023 г. включительно.

Станция Воейково (ФГБУ «ГГО») расположена в окрестностях Санкт-Петербурга. С 2021г. на ней ведутся непрерывные измерения CO2 и CH4 с помощью признанного на сети ВМО лазерного спектрометра G-2401 фирмы Пикарро. Прибор внесен в государственный реестр средств измерений, применяемых на территории РФ (№ 92000-24), и имеет утвержденную методику поверки (МП-242-2556-2023).

Две станции расположены в центральном районе ЕЧР: Обнинск (ФГБУ «НПО «Тайфун») и Приокско-Террасный 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 представлены в Мировом центре данных по парниковым газам (WDCGG). Станции Новый Порт, Обнинск, ПТБЗ и Воейково подвержены значительному влиянию региональных источников.

Таблица 16.1 – Станции мониторинга концентрации парниковых газов в приземном слое и общего содержания (ОС) во всей толще атмосферы

Станция	Широта	Долгота	Высота над у. м.	Период наблюдений	Программа наблюдений
Териберка	69,20º с, ш,	35,10º в, д,	40	с 1988	CO_2
				с 1996	CH_4
Новый Порт	67,68º с, ш,	72,88º в, д,	11	с 2002	CO_2, CH_4
Тикси	71,58º с, ш,	128,92º в, д,	30	с 2011	CO_2, CH_4
Воейково	59,98º с. ш.	30,70º в. д.	40	с 2021	CO_2, CH_4, CO (G-2401)
				с 1996	CH_4 (ГХ метод)
ПТБЗ	54,92º с, ш,	37,57º в, д,		с 2006	CO_2, CH_4
Обнинск	55,10º с, ш,	36,90º в, д,	186	с 1998	CO_2, CH_4
				с 2015	N_2O
				с 2015	ОС CO_2, CH_4, N_2O, H_2O

Для сравнения полученных результатов привлечены данные станции Барроу (США), расположенной в Арктической зоне (71.32º с. ш., 156.6º з. д.), данные которой представлены в Мировом центре данных по парниковым газам (WDCGG).

Содержание и изменчивость CO_2 и CH_4 в северных широтах РФ

Результаты мониторинга парниковых газов на российских арктических станциях представлены на рисунке 16.1 (среднемесячные значения концентрации CO_2 и CH_4) в сравнении с данными станции Барроу. Результаты непрерывных измерений концентрации

CO_2 на станции Воейково показаны на рисунке 16.2 в сравнении с данными станции Териберка.

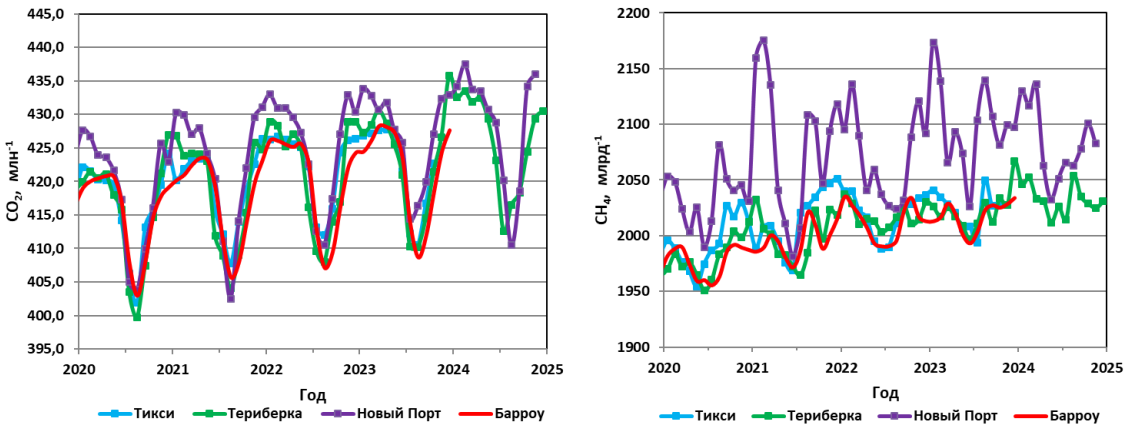

Рисунок 16.1 – Временной ход концентрации CO_2 и CH_4 на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу (НУОА, США)

Увеличение концентрации как CO_2, так и CH_4 продолжается. Среднегодовое значение концентрации CO_2 на станции Териберка достигло значения 426,2 млн$^{-1}$, а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили 433 млн$^{-1}$. Снизившиеся в период 2022-2023 гг. темпы роста концентрации CO_2, стали вновь выше среднеглобального значения, составив 2,8 млн$^{-1}$/год для периода 2023-2024 гг. Рост концентрации CH_4 также продолжается, однако рекордные изменения, наблюдавшиеся в 2019-2022 гг., сменились незначительным увеличением в 2023 г. (4,7 млрд$^{-1}$/год) и близким к среднеглобальным значениям в 2024г. (9,8 млрд$^{-1}$/год).

Таблица 16.2 – Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации CH_4 и CO_2

Станция	Год	CO_2, млн.$^{-1}$	CH_4,	ΔCO_2, млн.$^{-}$	ΔCH_4, млрд.$^{-1}$
Териберка	2023	423,3	2023,1	2,0	4,7
	2024	426,2	2032,4	2,8	9,8
Воейково	2023	430,7	2109,1	2,6	-1,7
	2024	433,9	2133,2	3.2	24,1
Новый Порт	2023	427,1	2099,8	1,7	29,7
	2024	428,9	2083,5	1,8	-16,3
Среднегодовой абсолютный прирост за последние 10 лет (бюллетень ВМО по парниковым газам № 20, октябрь 2024 г.)				2,4	10,7

В условиях влияния региональных источников значения концентрации выше фоновых (таблица 16.2), а темпы роста под влиянием расположенных рядом источников существенно меняются в зависимости от статистики переноса воздушных масс и условий перемешивания и могут быть как выше, так и ниже среднеглобальных значений. Это демонстрирует таблица 16.2. Общей тенденцией для концентрации CO_2, однако, остается увеличение межгодовой изменчивости 2023-2024 гг. по сравнению с предыдущим периодом.

Обеспечение сопоставимости данных в соответствии с требованиями ВМО позволяет проводить сравнение абсолютной величины концентрации для разных станций. Так из рисунка 16.2 видно, что на станции Воейково значения концентрации CO_2 выше данных Териберки, при этом уровень минимальных значений близок к фоновым значениям, регистрируемым на станции Териберка, а влияние антропогенных выбросов с территории Санкт-Петербурга приводит к увеличению концентрации, которое достигает 40-60 млн$^{-1}$.

Основные тенденции межгодовой изменчивости концентрации ПГ подобны для станций одного широтного пояса. Это демонстрирует рисунок 16.3 на примере станций Териберка и Барроу. Особенно ярко это проявилось для концентрации метана, когда ее

рекордный рост, наблюдавшийся в 2019-2022 гг., сменился практически отсутствием изменений от 2023 г. к 2024 г.

Долговременный тренд концентрации, определенный по десятилетнему ряду наблюдений на станциях Териберка несколько выше, чем его среднеглобальные значения, приведенные в бюллетене ВМО по ПГ №20 от 28 октября 2024 г. На станции Териберка они составляют 2,6 млн$^{-1}$ для CO_2 и 12 млрд$^{-1}$ для CH_4, в то время как среднеглобальные значения соответственно равны 2,4 млн$^{-1}$ и 10,7 млрд$^{-1}$. Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу. Особенности сезонного хода концентрации CO_2 и CH_4 на станции Новый Порт связаны с влиянием региональных источников, как естественных, так и антропогенных.

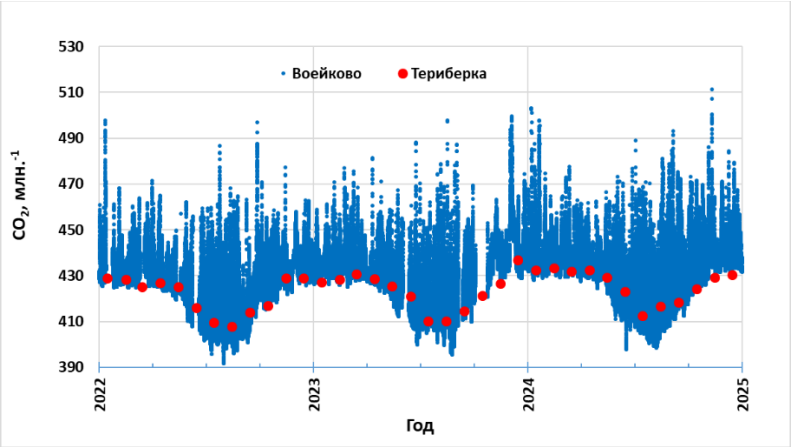

Рисунок 16.2 – Временной ход концентрации CO_2 в Воейково (средние значения за 10 минут) в сравнении с данными станции Териберка (среднемесячные значения)

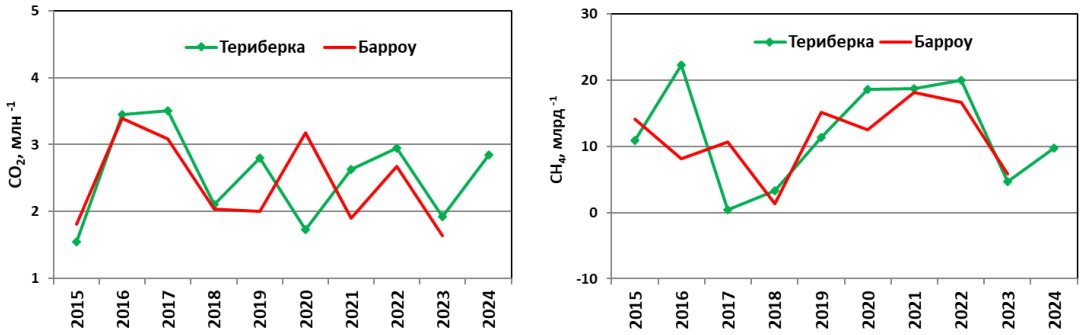

Рисунок 16.3 – Межгодовая изменчивость концентрации CO_2 и CH_4 на станциях Териберка и Барроу за последние 10 лет измерений

Динамика содержания парниковых газов над центром Европейской территории России по данным станции Обнинск и ПТБЗ

Концентрация углекислого газа, метана и закиси азота* на станции Обнинск *в приземном слое атмосферы.

Вариации среднегодовых значений CO_2, CH_4 и N_2O с 1998 по 2024 гг. представлены на рисунке 16.4.

За период наблюдений с 1998 г. по 2024 г. величина положительного линейного тренда среднегодовых концентраций для CO_2, CH_4 и N_2O составила 2,6 ± 0,5 ppm/год, 5 ± 1 ppb/год и 1,2 ± 0,3 ppb/год соответственно. Для CH_4 значение линейного тренда для периода роста с 2007 г. равно 10 ± 3 ppb/год. В целом за период с 1998 по 2024 гг. для N_2O сезонная зависимость трендов отсутствует, в то время как наибольшие тренды CO_2 и CH_4 (до 4 ppm/год и 13 ppb/год) наблюдаются в ноябре-январе, наименьшие (2 ppm/год и 7 ppb/год) - в июне и июле, то есть экстремумы трендов CO_2 и CH_4 совпадают с экстремумами сезонного хода приземных концентраций этих газов.

Сезонный ход среднемесячных значений CO_2, CH_4 и N_2O в 2023 и 2024 гг. представлен на рисунке 16.5. Среднемесячные значения концентраций CO_2 и CH_4 за май–

июль (прибор МР–32 находился в ремонте) приведены по данным измерений прибором Picarro G2311-f, усредненными за период с 11 по 16 ч местного времени. Среднегодовые концентрации CO_2, CH_4 и N_2O на ст. Обнинск в 2024 г. выросли в сравнении с 2023 г. на 3 ppm, 11 ppb и 1 ppb соответственно, причем наиболее заметный рост концентраций пришелся на осень 2024 г. По данным, приведенным на сайте ESRL (https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/), рост глобальной концентрации CO_2, CH_4, и N_2O за январь – август 2024 г. в сравнении с этим же периодом в 2023 г. составил 3 ppm, 8 ppb и 1 ppb соответственно.

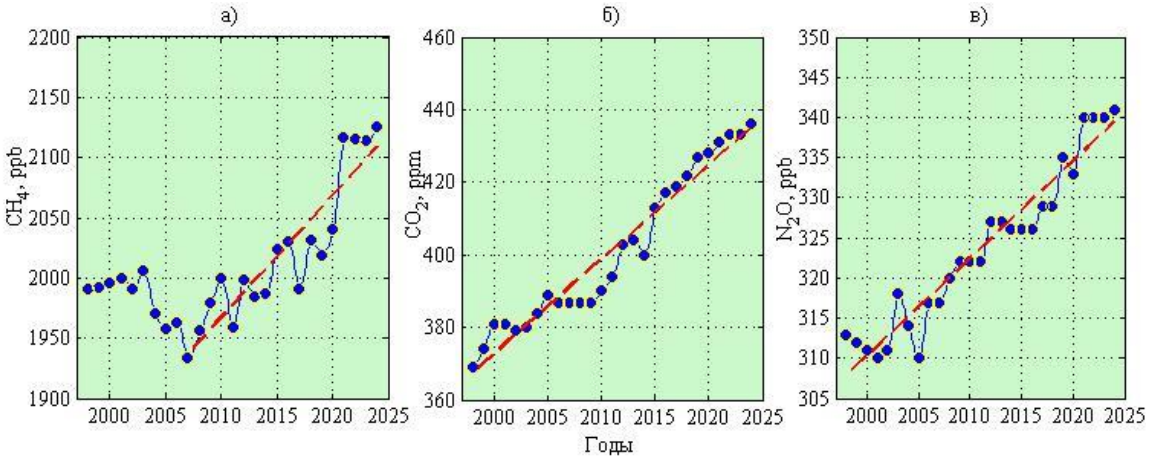

Рисунок 16.4 Динамика многолетней изменчивости средних годовых значений CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) в приземном слое атмосферы на станции Обнинск

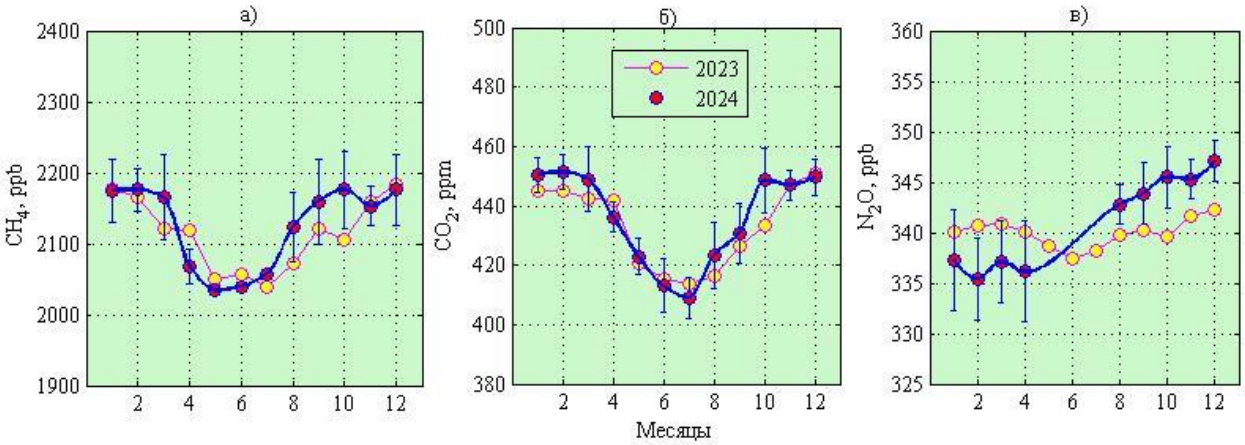

Рисунок 16.5 – Разность среднемесячных концентраций CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) в приземном слое атмосферы в 2023 г. и 2024 г.

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

Вариации среднемесячных значений CO_2, CH_4, N_2O и H_2O за период с 2015 по 2024 гг., полученные с помощью комплекса МР-32/МГС, представлены на рисунке 16.6. Среднегодовые значения средней по высоте объемной концентрации CO_2, CH_4, N_2O в 2024 год сохранились примерно на уровне 2023 года. В целом, за весь период наблюдений с 2015 по 2024 гг. положительный тренд объемных концентраций парниковых газов составил (12 ± 2) ppb, (2,0 ± 0,3) ppm, (1,3 ± 0,4) ppb в год для CH_4, CO_2 и N_2O соответственно. Небольшой

положительный тренд общего содержания водяного пара находится на границе значимости и составляет (0,02 ± 0,02) г/см^2.

На рисунке 16.6 приведены также результаты измерений средней по высоте объемной концентрации CO_2 и CH_4 по данным спутникового прибора GOSAT (https://data2.gosat.nies.go.jp).

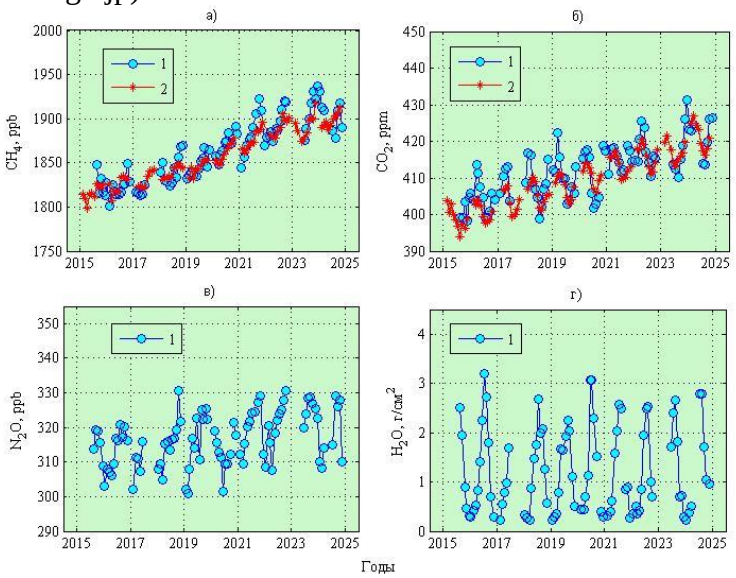

Рисунок 16.6 – Вариации среднемесячных значений средней по высоте объемной концентрации CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) и общего содержания H_2O (г). 1 – Обнинск, 2 – GOSAT

Спутниковые данные, имеющие пропуски по времени и в пространстве, были усреднены для области (51-59)° с.ш. и (34-39)° в.д. относительно расположения ст. «Обнинск» (55,11° с.ш., 36,58° в.д.). По данным GOSAT тренды метана и углекислого газа составляют 11 ± 3 ppb в год и 2,0 ± 0,2 ppm в год соответственно.

В 2024 г. концентрации CH_4, CO_2, и N_2O в приземном слое в сравнении с 2023 годом выросли на величины, в среднем характерные для периода 2015– 2021 гг., а во всей толще атмосферы сохранились примерно на уровне 2023 г. Тренды парниковых газов в приземном слое в пределах погрешности совпадают с трендами общих содержаний в столбе атмосферы и в среднем составляют 11 ppb, 2,3 ppm и 1,2 ppb в год для CH_4, CO_2, и N_2O соответственно.

Содержание парниковых газов в приземном слое атмосферы на станции в Приокско-Террасном биосферном заповеднике (ПТБЗ)

Изменения содержания CO_2 и CH_4 по результатам измерений, выполненных в течение 2024 года в ПТБЗ, представлены на рисунке 16.7. Среднемесячные концентрации CO_2 варьировали в интервале от 417,4 млн$^{-1}$ до 492,3 млн$^{-1}$. При этом минимальная разовая концентрация CO_2 была равна 410,5 млн$^{-1}$ (27 июня 2024 года). Максимальная разовая концентрация CO_2 была зарегистрирована в конце октября (26 октября 2024 года), она составила 500,8 млн$^{-1}$, впервые за весь период наблюдения превысив отметку 500 млн$^{-1}$.

Среднегодовая концентрация CO_2 в приземном слое воздуха на станции мониторинга в Приокско-Террасном биосферном заповеднике в 2024 году составила 457,9 млн$^{-1}$. За всё время наблюдений с 2011 года абсолютный прирост среднегодовой концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Террасном биосферном заповеднике составил + 45,1 млн$^{-1}$, что соответствует средней годовой скорости роста концентрации CO_2 3,5 млн$^{-1}$/год.

В 2024 году среднемесячные концентрации CH_4 изменялись в диапазоне от 2027,2 млрд$^{-1}$ до 2168,3 млрд$^{-1}$. Минимальная разовая концентрация CH_4 зарегистрирована 18 мая 2024 г. и составила 1986,6 млрд$^{-1}$. Максимальные разовые концентрации метана,

зарегистрированные в 2024 году, превысили значение 2200 млрд$^{-1}$ (2202,5 млрд$^{-1}$ 7 сентября и 2203,3 млрд$^{-1}$ 12 октября).

а) б)

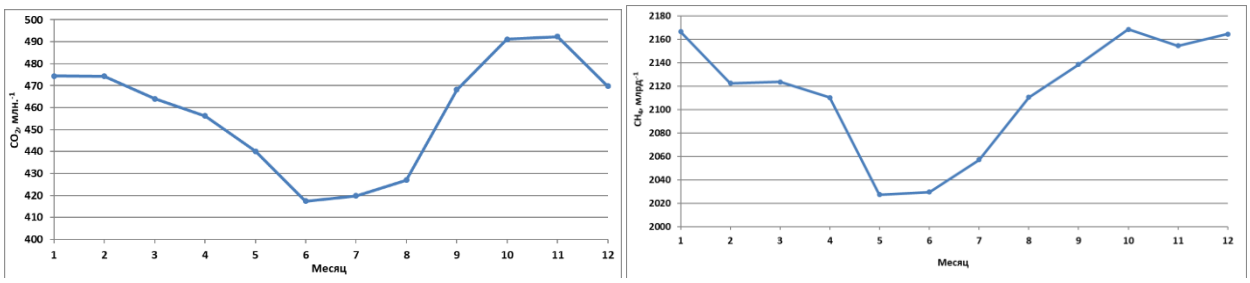

Рисунок 16.7 – Изменение среднемесячных концентраций CO_2 (а) и CH_4 (б) в приземном слое атмосферы на станции ПТБЗ в 2024 году

Среднегодовая концентрация CH_4 в приземном воздухе на станции мониторинга в Приокско-Террасном биосферном заповеднике в 2024 году составила 2114,3 млрд$^{-1}$. По сравнению с предшествующим годом рост среднегодовой концентрации CH_4 составил 18,1 млрд$^{-1}$. За весь период наблюдений, проводимых на станции мониторинга в Приокско-Террасном биосферном заповеднике с 2006 года, среднегодовая концентрация CH_4 выросла на 198,3 млрд$^{-1}$, таким образом средний годовой абсолютный прирост содержания метана в воздухе равен 11,02 млрд$^{-1}$ в год.

Заключение:

Увеличение концентрации как CO_2, так и CH_4 в 2024 г. продолжается.

Среднегодовое значение концентрации CO_2 на станции Териберка достигло значения 426,2 млн$^{-1}$, а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили 433 млн$^{-1}$. Снизившиеся в период 2022-2023 гг. темпы роста концентрации CO_2 стали вновь выше среднеглобальнного значения, составив 2,8 млн$^{-1}$/год для периода 2023-2024 гг.

На станциях, подверженных влиянию региональных источников, значения концентрации CO_2 также достигли новых максимумов (428,9 млн$^{-1}$; 433,9 млн$^{-1}$; 436 млн$^{-1}$; 457,9 млн$^{-1}$для станций Новый Порт, Воейково, Обнинск и ПТБЗ соответственно).

Рост концентрации CH_4 также продолжается, однако рекордные изменения, наблюдавшиеся в 2019-2022 гг., сменились по данным станции Териберка незначительным увеличением в 2023 г. (4,7 млрд$^{-1}$/год) и близким к среднеглобальным значениям в 2024 г. (9,8 млрд$^{-1}$/год), при этом среднегодовая концентрация на станции Териберка достигла значения 2032 млрд$^{-1}$. На станциях, подверженных влиянию региональных источников, концентрации CH_4 близки к значению 2100 млрд$^{-1}$.

Тренды концентрации парниковых газов для разных станций, в том числе и подверженных региональным источникам, не сильно отличаются от среднеглобальных значений, указанных в таблице 16.2. 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 11 млрд$^{-1}$, 2,3 млн$^{-1}$ и 1,2 млрд$^{-1}$ в год для CH_4, CO_2, и N_2O соответственно.

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 так далее. 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. Использованы данные о суточной температуре почвы на глубинах до 320 см по 417 метеорологическим станциям России за 1976-2024 гг. Для анализа выбраны наблюдения по вытяжным термометрам на глубинах 80 см, 160 см, 320 см. Использованы нормы (среднемноголетние 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 2024 г.

Пространственное распределение аномалий минимальной температуры почвы за 2024 год (от нормы за период 1991-2020 гг.) на глубинах 80, 160, 320 см представлено на рисунке17.1.

На глубине 80 см (рисунок 17.1а) на преобладающей части территории России аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют менее 1°С. Высокие значения аномалий наблюдаются на севере Средней и Восточной Сибири и составляют 2 – 4°С. Исключением является юг Западной и Средней Сибири, юг Дальнего Востока и долина реки Лена с отрицательными аномалии в пределах -1 – -3°С.

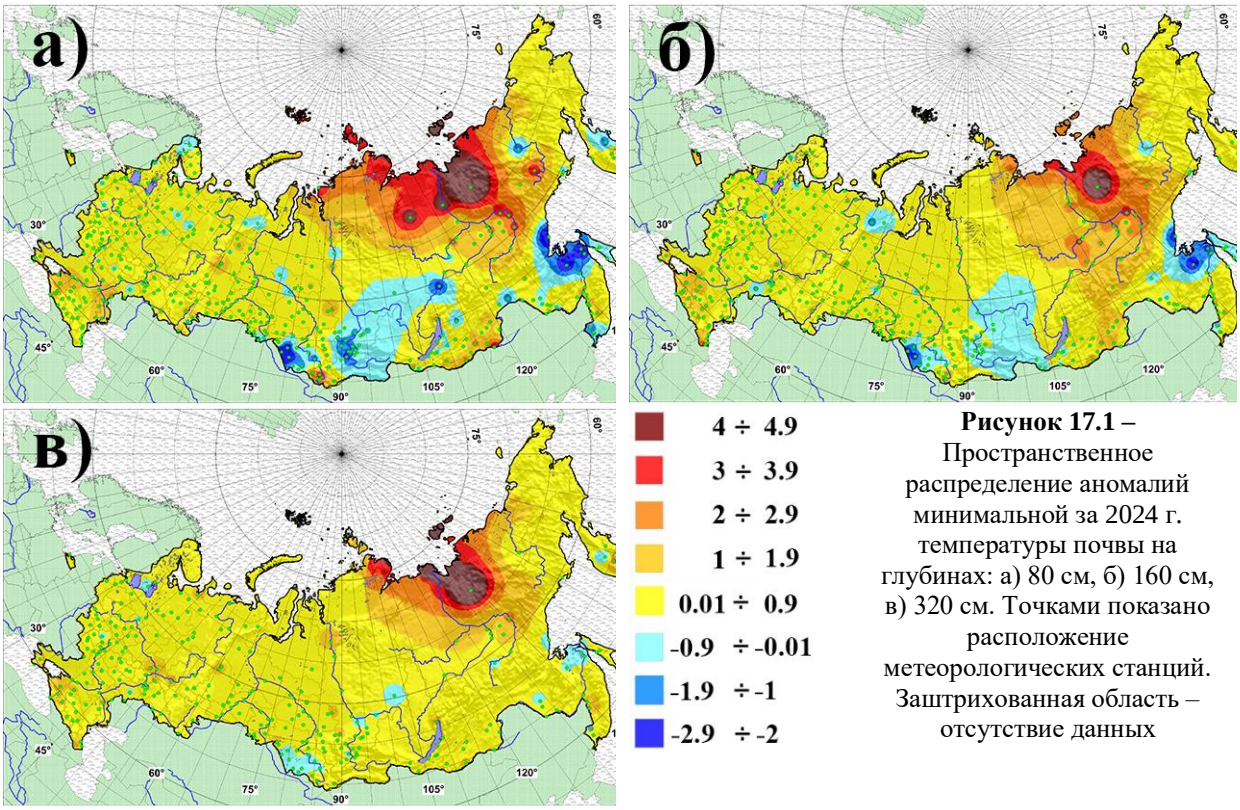

Рисунок 17.1 – Пространственное распределение аномалий минимальной за 2024 г. температуры почвы на глубинах: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций. Заштрихованная область – отсутствие данных

На глубине 160 см (рисунок 17.1б) аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют 1 – 2°С. Положительные аномалии 2°С наблюдаются в восточной части Средней Сибири и 2 – 4°С в Восточной Сибири. Слабые отрицательные аномалии до -1°С наблюдаются на юге Западной и Средней Сибири. На юге Дальнего Востока отрицательные аномалии в пределах -1 – -2°С.

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°С. На севере Средней и Восточной Сибири аномалии составляют 2 – 3°С достигая в долине реки Яна 4°С и более. Слабые отрицательные аномалии -1°С наблюдаются на юге Западной Сибири и Дальнего Востока.

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°С. 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.

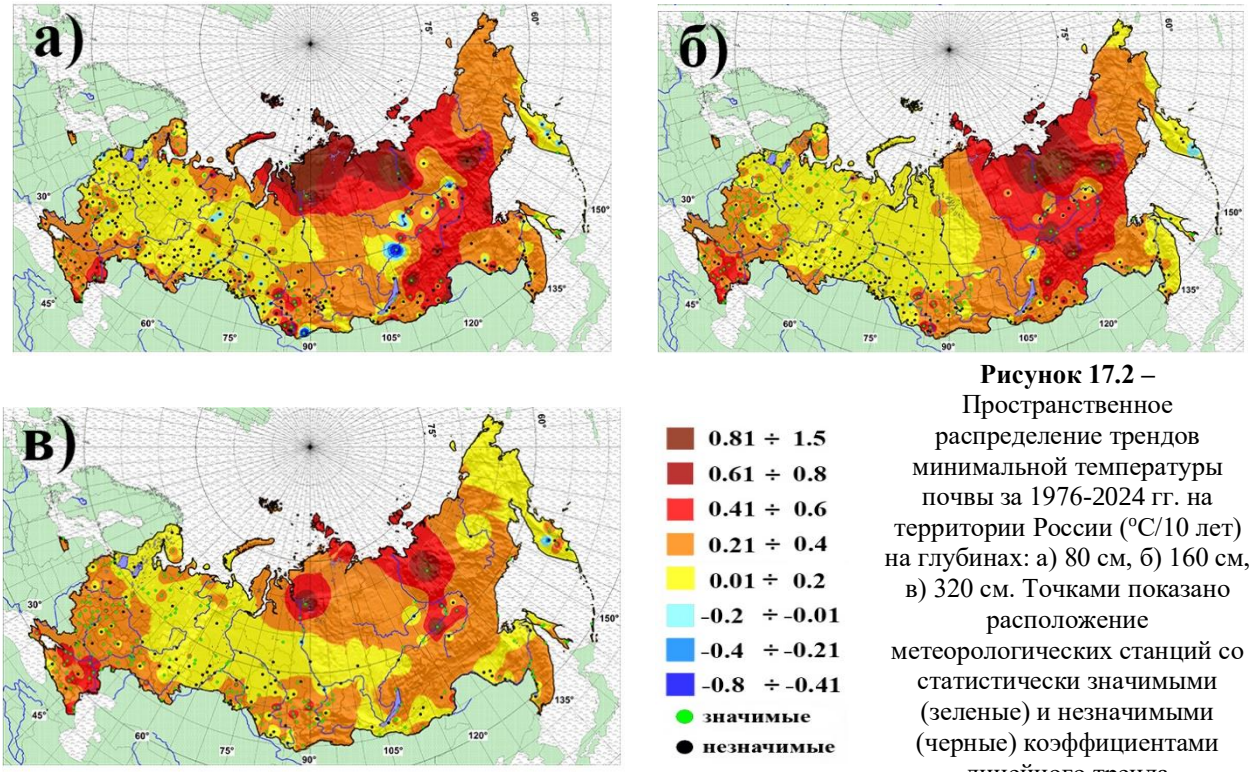

Рисунок 17.2 – Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвы за 1976-2024 гг. на территории России (°С/10 лет) на глубинах: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций со статистически значимыми (зеленые) и незначимыми (черные) коэффициентами линейного тренда

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°С/10 лет наблюдаются в зоне многолетней мерзлоты. Статистически достоверные (с вероятностью 95%) положительные тренды 0,6 – 0,8°С/10 лет охватывают север Средней Сибири. Исключением являются долины рек Алдан, Вилюй и Лена с отрицательными, но незначимыми трендами -0,2 – -0,4°С/10 лет. На юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе потепление составило 0,2 – 0,4°С/10 лет, на остальной части Восточно-Европейской равнины и в Западной Сибири преобладают слабые положительные тренды. На юге Западной и Средней Сибири, на юге Дальнего Востока тренды составили также 0,2 – 0,4°С/10 лет.

На глубине 160 см (рисунок 17.2б) по всей России преобладают положительные тренды, но область повышенных значений (>0,4°С/10 лет) в высоких широтах смещена к Востоку. Положительные тренды 0,4 – 0,8°С/10 лет охватывают север Восточной Сибири.

На юге Средней Сибири и Дальнего Востока тренды составили 0,2 – 0,4°С/10 лет. Статистически достоверное (с вероятностью 95%) потепление (0,2 – 0,4°С/10 лет) наблюдается на юге Восточно-Европейской равнины, юге Западной и Средней Сибири. На Кавказе потепление достигает 0,4 – 0,6°С/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°С/10 лет) встречаются на Кавказе, в северной половине Средней и Восточной Сибири. Статистически достоверные (с вероятностью 95%) тренды >0,2°С/10 лет наблюдаются в южной половине Восточно-Европейской равнины, на юге Западной и Средней Сибири, а также юге Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Из сопоставления трех карт (рисунок 17.2) можно сделать вывод, что в 1976-2024 гг. тенденция повышения минимальной температуры почвы ослабевала с глубиной. На большей части территории России преобладают тренды <0,4°С/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 озонометров М-124 с привлечением результатов измерений мировой озонометрической 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 2024 год. Более подробная информация о поведении ОСО над территорией Российской Федерации и прилегающими территориями ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология».

В первом квартале 2024 г. средние за квартал значения общего содержания озона (ОСО) над контролируемой территорией были близки к средним многолетним значениям за период 1974-1984 гг. Во втором и третьем кварталах 2024 г. средние за квартал значения ОСО практически над всей контролируемой территорией были выше средних многолетних значений. В четвертом квартале средние за квартал значения ОСО над контролируемой территорией были близки к средним многолетним значениям.

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

- в январе – 325–475 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России – 314–325 ед. Д., над Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 475–484 ед. Д.;
- в феврале – 325–475 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России и Северным Уралом – 298–325 ед. Д., над Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 475–525 ед. Д.;
- в марте – 425–500 ед. Д.; над Европейской частью территории России, Средним Уралом и Казахстаном – 364–425 ед. Д. Над севером Сибири и островами Северного Ледовитого океана – 500–541 ед. Д);
- в апреле – 380–475 ед. Д.; над южными и центральными районами Европейской части территории России – 357–380 ед. Д., над полуостровом Таймыр и островами Северного Ледовитого океана – 475–487 ед. Д.;
- в мае – 360–465 ед. Д.;
- в июне – 315–424 ед. Д.;
- в июле – 297–388 ед. Д;

- в августе – 290–358 ед. Д.;

- в сентябре – 264–370 ед. Д.;

- в октябре – 300–345 ед. Д.; над Европейской частью территории России, севером Урала и Западной Сибири и Казахстаном – 262–300 ед. Д. Над Якутией, Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 345–363 ед. Д.;

- в ноябре – 300–375 ед. Д.; над Европейской частью территории России, севером Урала и Сибири – 246–300 ед. Д., над Магаданской областью, Хабаровским краем, Сахалином и Камчаткой – 375–412 ед. Д.

- в декабре – 330–410 ед. Д.; над Европейской частью территории России – 288–330 ед. Д., над Хабаровским краем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой – 410-487 ед. Д.

По данным сайта NASA, США (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov) в 2024 г. среднемесячные значения ОСО в полосе широт 60-90^0 с. ш. в марте, мае, июне, июле, августе, сентябре и октябре стали максимальными за всё время наблюдений с 1979 г.

Аномальными будем считать отклонения, превышающие 2,5 единицы среднеквадратического отклонения. В течение 2024 года отдельные существенные аномальные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в июне, августе и ноябре:

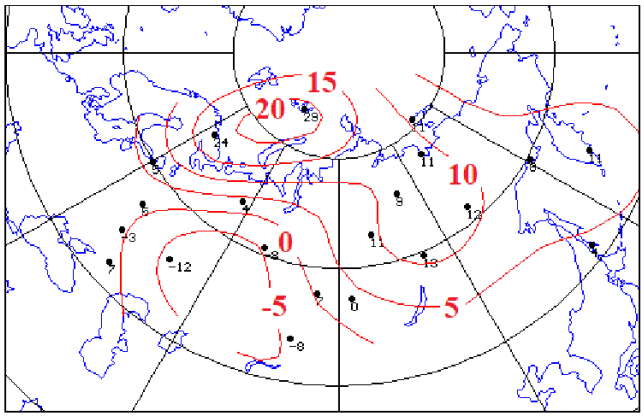

Рисунок 18.1 – Поле отклонений значений ОСО от средних многолетних значений над территорией России 12 июня 2024 г. (%)

- с 12 по 16 июня повышенные на 17-29 % среднесуточные значения ОСО над островами Северного Ледовитого океана, Мурманской областью и Якутией (422-476 ед. Д.) (рисунок 18.1);

- с 12 по 15 августа повышенные на 14-22 % среднесуточные значения ОСО над центром и востоком Европейской части территории России, Уралом и Западной Сибирью (335-392 ед. Д.);

- с 1 по 5 ноября повышенные на 20-45 % среднесуточные значения ОСО над Европейской частью территории России и Уралом (354-421 ед. Д.).

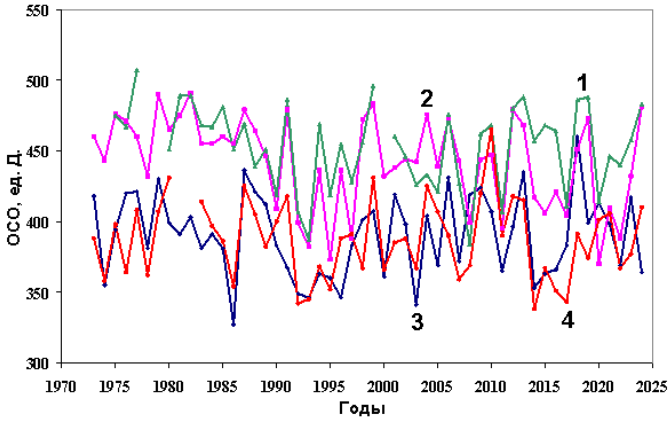

Рисунок 18.2 – Межгодовой ход средних за март значений ОСО на станциях: 1 – Нагаево (Магадан) (60° с.ш., 151° в.д.), 2 – Якутск (62° с.ш., 130° в.д.), 3 – С.-Петербург (60° с.ш., 30° в.д.) и 4 – Екатеринбург (57° с.ш., 61° в.д.)

На рисунке 18.1 приведена карта распределения отклонений ОСО от средних многолетних значений во время положительной аномалии 12 июня 2024 г.

На рисунке 18.2 представлены долговременные изменения средних за март значений ОСО на четырёх российских озонометрических станциях, потому что именно в марте чаще всего в Северном полушарии регистрировались значительные аномалии ОСО и именно в марте в средних и

высоких широтах Северного полушария наблюдаются максимальные значения ОСО, которые оказывают большое влияние на среднегодовые значения.

Оценка линейных трендов средних за март значений ОСО с 1997 г. показала наибольший отрицательный тренд в Якутске (-0,91 ед. Д. в год). Для Екатеринбурга он составил -0,36 ед. Д. в год. Для Санкт-Петербурга и станции Нагаево (Магадан) расчёт показал положительные тренды соответственно 0,10 и 0,50 ед. Д. в год.

Так как в марте 2024 г. над большей частью контролируемой территории среднемесячные значения ОСО были выше средних многолетних значений, на трёх выбранных станциях наблюдался рост среднемесячных значений ОСО по сравнению с предыдущим годом, когда в марте над большей частью контролируемой территории среднемесячные значения ОСО были ниже средних многолетних значений. Только в Санкт-Петербурге среднемесячное значение ОСО в марте 2024 г. оказалось меньше прошлогоднего значения.

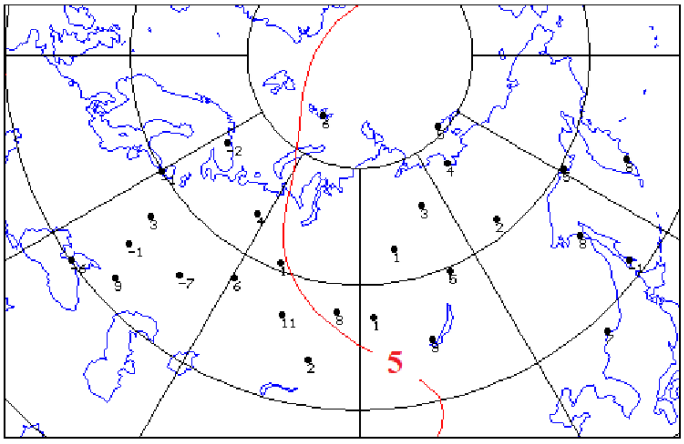

Рисунок 18.3 - Поле отклонений среднегодовых значений ОСО от средних многолетних значений в 2024 г. (%)

Поле отклонений среднегодовых значений ОСО от средних многолетних значений в 2024 г. над территорией Российской Федерации представлено на рисунке 18.3. Отклонения среднегодовых значений ОСО для всех анализируемых станций лежат в интервале от -7 % до 11 %. Максимальный дефицит среднегодового значения ОСО (7 %) зарегистрирован в Самаре. Максимальное превышение среднегодового значения ОСО над нормой (11 %) зарегистрировано в Омске.

По спутниковым данным сайта NASA, США (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov) в 2024 г. среднегодовое значение ОСО в полосе широт 60-90^0 с. ш. составило 377,15 ед. Д. и стало максимальным за всё время наблюдений с 1979 г. Среднегодовое значение ОСО в полосе широт 30-60^0 с. ш. составило 338,77 ед. Д.

В 2024 г. полярный арктический озон (среднее зональное значение ОСО в зональном поясе 63-90^0 с. ш.) практически все дни был больше средних многолетних значений 1979-2023 гг. (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov). В марте продолжительное время (9 и с 11 по 26 марта) значения полярного озона существенно превышали ранее зарегистрированные максимальные значения полярного озона для этих дней. Максимальное значение было достигнуто 15 марта и составило 499.4 ед. Д. при ранее зарегистрированном максимальном значении для этого дня 472.6 ед. Д. К концу первого квартала полярный озон начал снижаться, но продолжал оставаться существенно выше средних многолетних значений до конца ноября. Аномально большие ежедневные значения полярного арктического озона в 2024 г. регистрировались 61 раз с июня по октябрь. Как указывалось выше, в эти же дни

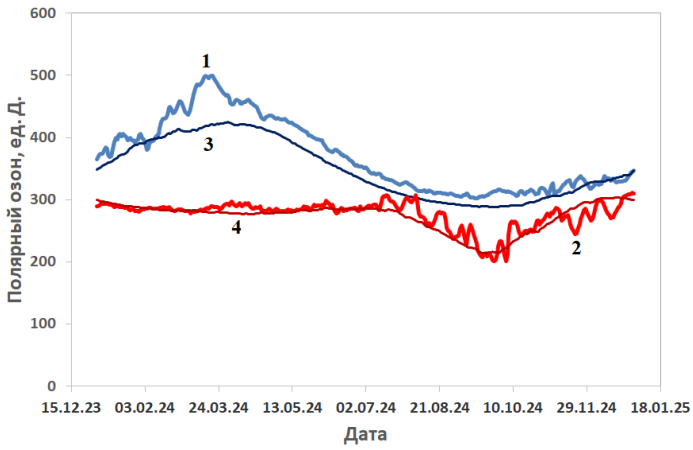

Рисунок 18.4 – Изменчивость полярного озона в Арктике (1) и Антарктике (2) в 2024 г. Для сравнения представлен ход средних многолетних значений полярного арктического (3) и антарктического (4) озона 1979-2023 гг.

(12-16 июня) в высоких широтах над территорией России была зарегистрирована положительная аномалия ОСО (рисунок 18.1). Минимальное значение полярного арктического озона в 2024 г. наблюдалось 15 сентября и составило 301,6 ед. Д.

Рисунок 18.4 иллюстрирует поведение полярного арктического озона в 2024 г. Там же для сравнения представлен ход средних многолетних значений полярного арктического озона 1979-2023 гг., а также ход полярного антарктического озона в 2024 г. и его средние многолетние значения. Приведённые данные заимствованы с сайта NASA, США (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov).

Выводы

Над территорией Российской Федерации в 2024 г. преобладали повышенные значения общего содержания озона. Во втором и третьем кварталах практически над всей территорией РФ среднемесячные значения ОСО были на 5-10% выше средних многолетних значений. В июне, августе и ноябре над территорией России наблюдались положительные аномалии ОСО. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2024 г. для всех анализируемых станций лежали в интервале от -7 до +11 %. Практически весь 2024 г (исключение составили дни с 3 по 9 февраля, с 30 ноября по 9 декабря, 15, 17-27 декабря) полярный арктический озон превышал средние многолетние значения 1979-2023 гг. и 61 раз достигал аномально больших величин. Полярный антарктический озон большую часть года также был выше средних многолетних значений.

19. СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ

Стратосферный сернокислотный аэрозоль оказывает заметное влияние на радиационные параметры атмосферы, которое значительно возрастает после крупных вулканических извержений. Отражение солнечного излучения сернокислотным аэрозолем преобладает над поглощением теплового излучения Земли, что обеспечивает его отрицательный радиационный форсинг. 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. Основная масса измерений выполнена на базовой лидарной станции в Обнинске, где регулярные измерения проводятся с 2012 г. Ниже представлены данные об изменчивости параметров аэрозоля по измерениям на длине волны 532 нм, которые выполнены с помощью разработанного в НПО «Тайфун» лидара АК-3. Непосредственно измеряемой величиной является коэффициент обратного аэрозольного рассеяния [км$^{-1}$ср$^{-1}$]. Интегральная по высоте величина коэффициента обратного аэрозольного рассеяния (ИКОР) служит мерой аэрозольного наполнения стратосферы.

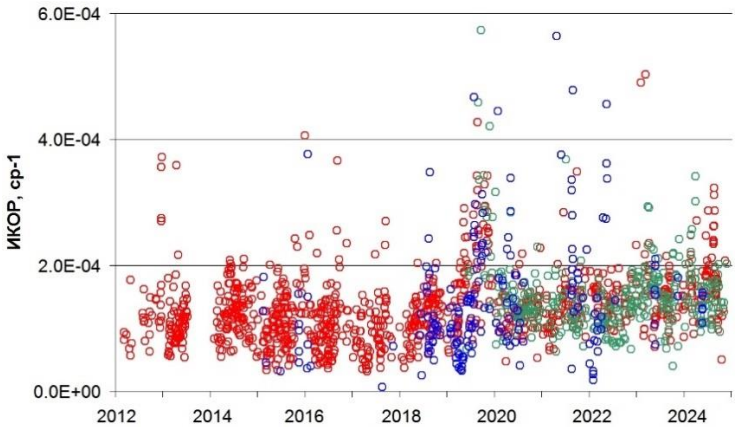

Рисунок 19.1 – ИКОР в слое от 15 до 30 км на лидарных станциях Обнинска, Новосибирска и Знаменска (красные, синие и зеленые кружки)

На рисунке 19.1 показано временное изменение ИКОР в слое от 15 до 30 км, полученное на трех лидарных станциях, расположенных в Обнинске (55,1ºс.ш., 36,6º в.д.), Знаменске (48,6º с.ш., 45,7º в.д.) и Новосибирске (55,0º с.ш., 82,9º в.д.). Точки представляют отдельные измерения. В период с 2012 по 2018 гг. аэрозольное содержание стратосферы медленно уменьшалось и приближалось к фоновому вулканическому уровню. В 2019 г. произошло извержение среднеширотного вулкана Райкоке (Курильские о-ва, 48,3º с.ш., 153,2º в.д.), аэрозоль которого первоначально был сосредоточен на высотах от 13 до 18 км и через месяц был зарегистрирован на всех трех лидарных станциях. С 2020 снова начался рост аэрозольного наполнения слоя 15-30 км, который продолжается и в настоящее время.

Распределение аэрозоля по высоте характеризуется отношением коэффициентов обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния на длине волны 532 нм, численно равным параметру R(532)-1, где R(532) – величина, называемая отношением обратного рассеяния. Среднегодовые высотные профили этого параметра, измеренные на лидарных станциях Обнинска и Знаменска (Астраханская обл.) в 2024 г. показаны на рисунке 19.2.

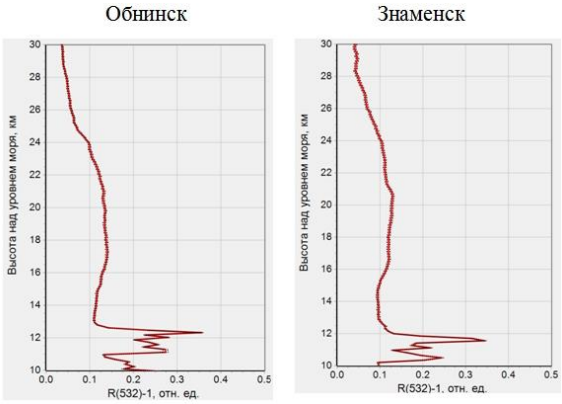

Рисунок 19.2 – Среднегодовые высотные профили отношения коэффициентов обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния в Обнинске и Знаменске

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 (10-12 км) периодически наблюдались выделенные слои повышенного обратного рассеяния, как правило, представляющие собой перистые облака.

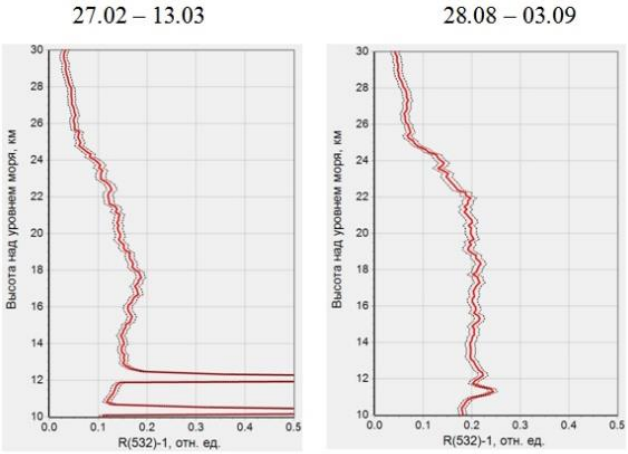

Рисунок 19.3 –Высотные профили отношения коэффициентов обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния, наблюдавшиеся в Обнинске для двух временных эпизодов 2024 г.

На рисунке 19.3 представлены высотные профили параметра R(532)-1 для двух эпизодов с увеличенным содержанием аэрозоля в стратосфере над Обнинском в 2024 г.

В одном из них (с 27.02 по 13.03) содержание аэрозоля возросло в слое Юнга с максимумом на высоте около 18 км и связано с дальним переносом аэрозоля. В другом эпизоде (с 28.08 по 03.09) рост аэрозоля наблюдался на всех высотах от 10 до 22 км. Этот эпизод совпал по времени с периодом продолжительного блокирующего антициклона, установившегося над обширной территорией Европейской части РФ и Западной Сибири. Вынос аэрозоля в стратосферу происходил, по-видимому, в результате тропосферно – стратосферного обмена.

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 19.4 показан временной ход оптической толщины стратосферного аэрозоля в слое от 13 до 30 км с 2012 по 2024 г. С 2012 г. происходило уменьшение оптической толщины аэрозоля

после крупных извержений вулканов Набро и Гримсвотен в 2011 году. Минимум оптической толщины был достигнут в 2017 г. Затем началось ее увеличение, которое объясняется ростом эмиссий серы в стратосферу, связанным с извержением вулкана Райкоке в 2019 г., а также выбросами Австралийских природных пожаров в 2020 г. Определенный вклад внесло также извержение подводного вулкана Хунга Тонга в январе 2022 г. Хотя при этом извержении выброс серы был не столь значительным, зато в стратосферу было вынесено огромное количество водяного пара. В совокупности указанные явления, по-видимому, и ответственны за увеличение оптической толщины аэрозоля в 2019-2024 гг. по сравнению с предшествующим периодом 2015-2018 гг.

По данным об оптической толщине проведены оценки радиационного форсинга аэрозоля. В 2024 г. средняя величина радиационного форсинга стратосферного аэрозоля в слое от 13 до 30 км составила - (0,43 ± 0,18) Вт/м^2, что по модулю на 23% выше значения 2023 года.

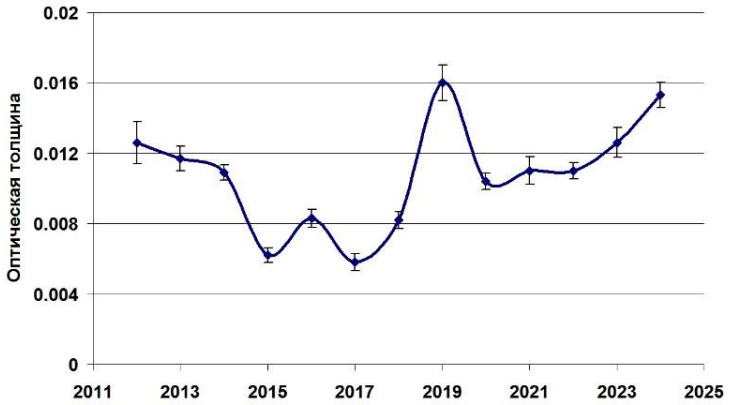

Рисунок 19.4 – Изменение среднегодовых значений оптической толщины стратосферного аэрозоля в слое от 13 до 30 км и оценки их среднеквадратического отклонения

На рисунке 19.5 представлен временной ход среднегодовых значений оптической толщины перистых облаков и вероятности их появления в интервале высот от 8 до 12 км. Изменение вероятности наблюдения перистых облаков имеет нерегулярный характер, но в большинстве случаев, она колеблется в пределах от 0,3 до 0,4. В 2022 г. величина вероятности упала до минимального уровня 0,18. Этот результат, в первую очередь, связан с полным отсутствием перистых облаков с января по апрель 2022 г. В 2024 г. наблюдалось значительное увеличение вероятности наблюдения перистых облаков, хотя их средняя оптическая толщина уменьшилась. В целом с 2014 г. наблюдается отрицательный тренд оптической толщины перистых облаков. Причина этого явления требует дополнительного изучения и анализа.

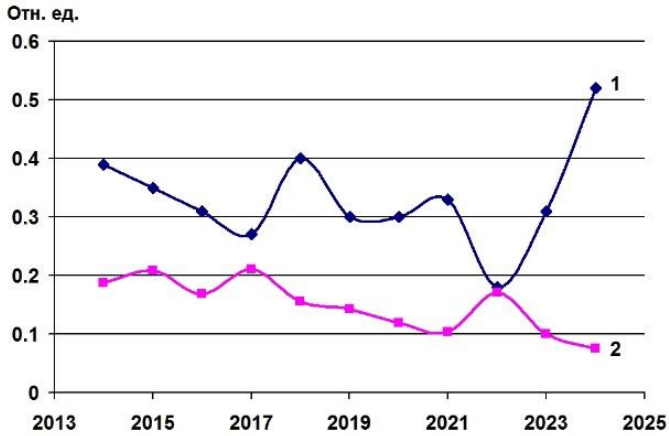

Рисунок 19.5 – Вероятность появления (1) и средняя оптическая толщина (2) перистых облаков

Среднегодовой радиационный форсинг перистых облаков на верхней границе атмосферы для ночных условий оценивался по данным об оптической толщине с учетом вероятности их появления и составил в 2024 году 5,8 Вт/м^2 по сравнению с 4,7 Вт/м^2 в 2023 г.

Основные выводы

Представленные данные лидарных измерений стратосферного аэрозоля демонстрируют изменчивость его параметров, обусловленную, в первую очередь, нерегулярной последовательностью вулканических извержений взрывного характера. В последние несколько лет наблюдается увеличение оптической толщины сернокислотного аэрозоля в стратосфере. В то же время средняя оптическая толщина перистых облаков демонстрирует тенденцию к снижению. При этом вероятность их появления носит

вариативный характер. Отмеченные особенности изменений параметров перистых облаков относятся к отдельно взятому пункту измерений (г. Обнинск). Происходящие изменения требуют дополнительного анализа и изучения, а также указывают на необходимость продолжения мониторинга стратосферного аэрозоля с увеличением числа функционирующих лидарных станций.

20. ОБЛАЧНОСТЬ

Мониторинг характеристик облачности проведен на основе данных архива Госфонда и данных оперативного потока, поступающих по каналам связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с метеорологических станций (≈ 1350 пунктов наблюдений). Анализ изменений характеристик облачности проводился по данным в точке и по рядам средних для 9 квази-однородных климатических регионов характеристик. Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях арифметически осреднялись по квадратам сетки (1°N x 2°E), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по квази-однородным регионам, показанным на рисунке 3 Введения, и территории России. Использованы нормы (среднемноголетние значения) характеристик облачности за период 1991-2020 гг. Ранги определены по ряду 1985-2021 гг.

Анализировались характеристики по общей облачности и облачности нижнего яруса. Общая облачность – общее количество облаков, покрывающих небосвод, без подразделения по высотам (ярусам), включая и нижнюю облачность. К облакам нижнего яруса (нижняя облачность) относятся облака с нижней границей ниже 2 км: слоистые (St), слоисто-кучевые (Sc), плоские кучевые (Cuhum). К облакам нижнего яруса относят также облака, занимающие по вертикали несколько ярусов, но нижняя граница которых лежит в нижнем ярусе (Cucong, Cumed, Cb).

Пасмурным состоянием неба называются те случаи, когда облачность покрывала 80 - 100% небосвода, или 8 - 10 баллов. Ясным состоянием неба считаются сроки, облачность во время которых была от 0 до 2 баллов (по 10-бальной шкале), согласно оценке наблюдателя.

Облачность на территории России в 2024 году

Облачный покров характеризуется количеством облаков и их формой. В таблице 20.1 приведены оценки аномальности различных форм облачности зимой и летом. Оценить аномальность повторяемости различных форм облаков за год в целом не представляется возможным из-за несовпадения кодировок в режимном и оперативном потоках данных.

Зимой повторяемость всех форм облаков, за исключением Cc, Ac, Cb и Sc, была ниже климатической нормы. Значительно чаще, чем обычно, наблюдались слоисто-кучевые облака, аномалия повторяемости этих облаков зимой 2023-2024 гг. стала четвертой в ранжированном по убыванию ряду с 1985 года. Летом отмечены положительные аномалии повторяемости всех облаков верхнего яруса, кучево-дождевых и слоисто-кучевых, причем аномалия повторяемости последних стала второй в ранжированном ряду. Облака остальных форм наблюдались реже, чем в среднем многолетнем. Отрицательные аномалии облаков среднего яруса летом стали рекордными за период с 1985 года.

На рисунке 20.1 показано распределение годовых и сезонных аномалий среднего балла общей и нижней облачности на территории России в 2024 году, а в таблице 20.2 представлены годовые и сезонные аномалии среднего балла общей и нижней облачности для квази-однородных климатических районов и России в целом.

2024 год для России в целом стал 3-м в ранжированном ряду среднего балла общей и нижней облачности с 1985 года.

Положительные аномалии как по общей, так и по нижней облачности преобладали на большей части страны. Максимальные положительные аномалии отмечались по общей облачности в Хабаровском крае, по нижней - на дальневосточном юге, Камчатке и в Сибири. Годовые аномалии среднего балла нижней облачности в II, III, V, VI, VII, VIII квази-однородных районах попали в 3 наибольших в ранжированном ряду, по общей облачности – в IV, V, VII, VIII районах .

Таблица 20.1 - Аномалии повторяемости различных форм облачности на территории РФ в 2024 году, Δ - *отклонения от средних за 1991-2020 гг.; R–ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1985-2024 гг.;*σ*– среднеквадратическое отклонение.*

Вид облаков	зима			лето		
	Δ	ранг	σ	Δ	ранг	σ
Перистые Ci	-1,39	36	1,21	0,21	15	0,77
Перисто-кучевыеCc	0,11	13	0,11	0,20	10	0,21
Перисто-слоистые Cs	-0,22	29	0,63	0,41	7	0,28
Высококучевые Ac	0,10	15	0,85	-1,44	**39**	0,78
Высокослоистые As	-0,52	33	0,78	-0,38	**39**	0,31
Кучевые Cu	-0,14	**38**	0,10	-1,52	**38**	0,90
Кучево-дождевые Cb	0,61	11	1,19	0,52	10	0,83
Слоистые St	-1,35	39	0,67	-0,20	30	0,34
Слоисто-кучевые Sc	3,91	4	2,79	2,71	**2**	1,41
Слоисто-дождевые Ns	-0,11	26	0,50	-0,15	38	0,21
Разорвано-дождевые Frnb	-0,24	32	0,34	-0,43	37	0,40

Наиболее облачными выдались переходные сезоны– весна и осень - как по нижней, так и по общей облачности. Стоит отметить очень малооблачные лето и осень на Европейской территории, где в течение длительного периода преобладал антициклональный характер погоды.

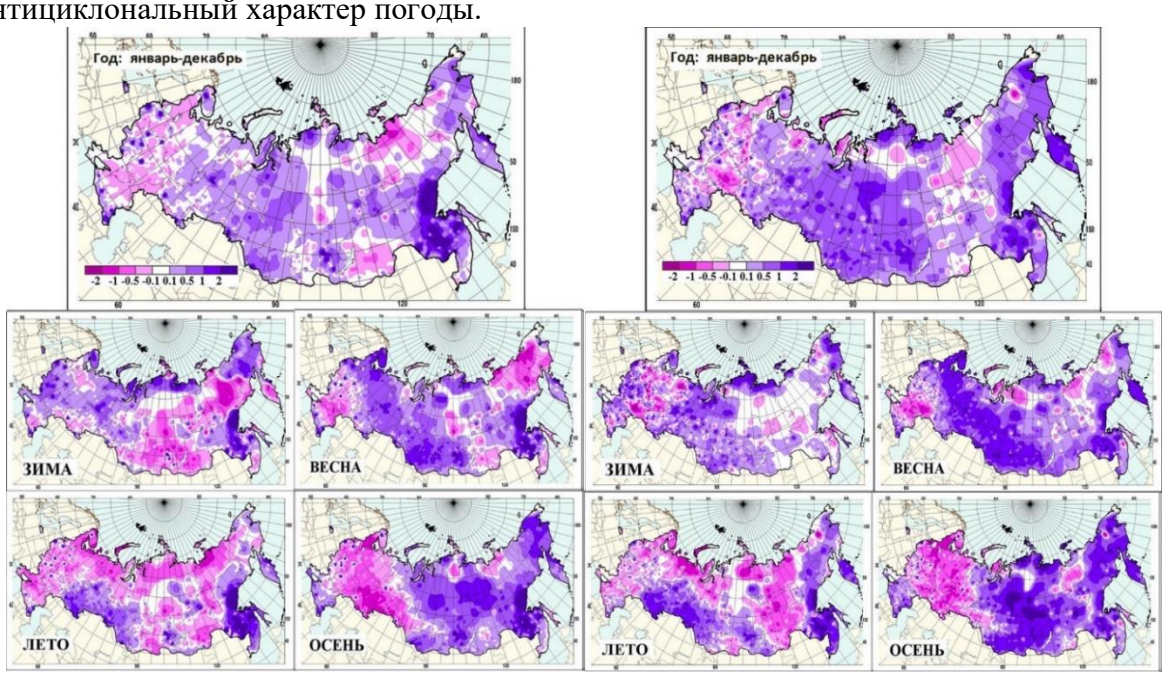

Рисунок 20.1 - Аномалии среднегодового и сезонного балла общей (слева) и нижней (справа) облачности на территории России в 2024 году

Средний балл общей и нижней облачности оказался ниже климатической нормы. Максимальные по абсолютной величине отрицательные аномалии осенью отмечены в Карелии и на Южном Урале. В I квази-однородном районе нынешнее лето стало самым малооблачным с 1985 года. Зимой на большей части Сибири и Якутии средний балл общей облачности оказался ниже климатической нормы, что обусловлено уменьшением облаков верхнего и среднего яруса, так как облаков нижнего яруса было около нормы. На большей части Азиатской территории осенью преобладала пасмурная погода, средний балл по общей и нижней облачности в отдельных районах Сибири и Дальнего Востоке на 1-2 балла

превышал климатическую норму. В итоге в III, IV, VII, VIII квази-однородных районах положительная аномалия 2024 года стала рекордной по общей и нижней облачности.

На рисунке 20.2 приведены ряды годовых и сезонных аномалий числа пасмурных дней по общей и нижней облачности.

На рисунке 20.3 показано пространственное распределение аномалий числа пасмурных (8-10 баллов) дней по общей и нижней облачности, а в таблице 20.3 представлены годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней по общей и нижней облачности по России в целом и квази-однородным климатическим районам.

Во все сезоны и за год число пасмурных дней по общей и нижней облачности превышало климатическую норму, за исключением лета по общей облачности (рисунок 20.2). Наиболее пасмурной выдалась весна, сезонные аномалии для России в целом и I, V, VIII квази-однородных районах стали рекордными по общей облачности. По нижней облачности весенние аномалии во всех районах, кроме III, IV и IX, вошли в тройку наибольших значений в ранжированном ряду по убыванию с 1985 года, а в V и VII районах стали рекордными.

Пространственное распределение ясных и пасмурных дней носит пятнистый, во многом зеркальный, характер, однако некоторые отличия вносят дни с полуясным состоянием неба (3-7 баллов).

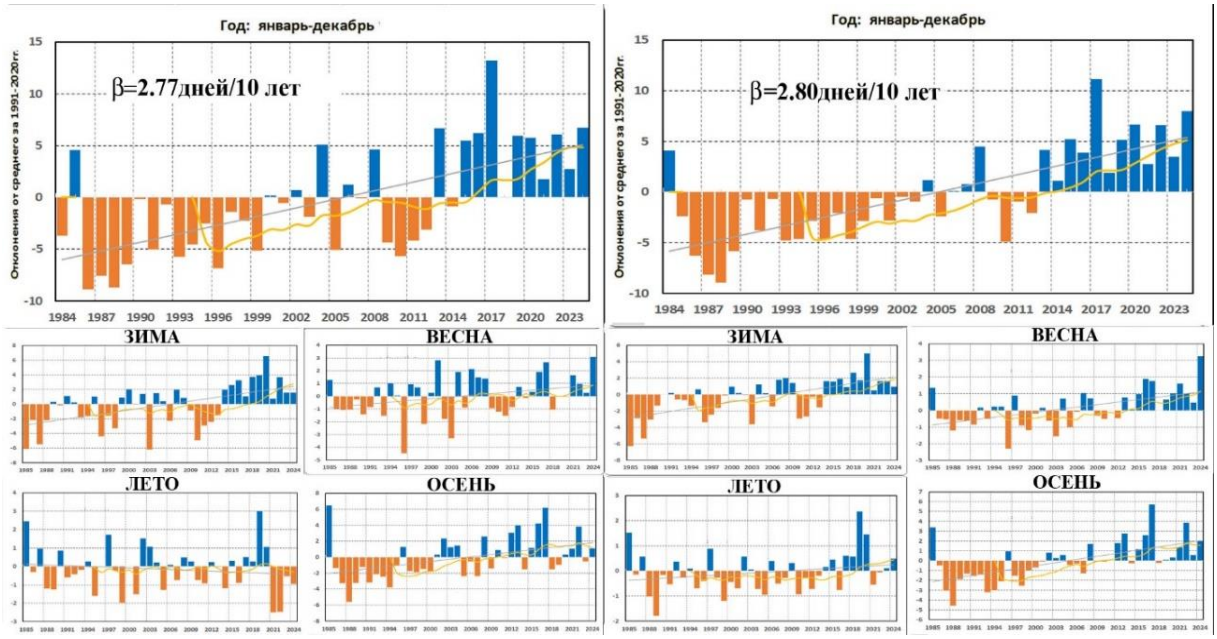

Рисунок 20.2 - Годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней (8-10 баллов) по общей (слева) и нижней (справа) облачности

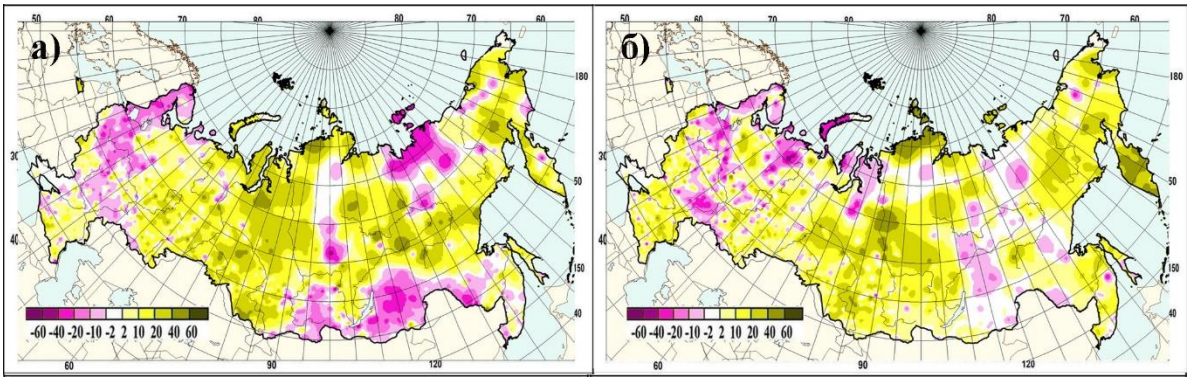

Рисунок 20.3 - Аномалии числа пасмурных дней по общей (а) и нижней (б) облачности на территории России в 2024 году.

На северо-западе и в центре ЕЧР отмечено уменьшение пасмурных дней на 10-20 дней (рисунок 20.3), что привело к увеличению ясных дней. Отрицательные аномалии числа пасмурных дней также получены в Забайкалье, Амурской области, северных районах Якутии. Основной вклад в эту аномалию внесло малооблачное лето, которое наблюдалось на большей части страны. Отрицательные аномалии числа пасмурных дней по общей облачности стали наименьшими в I и IX квази-однородных районах. Значительно больше, чем обычно, пасмурных дней по общей облачности наблюдалось на большей части Сибири, Якутии, Магаданской области и Камчатского края (рисунок 20.3а). В центральных районах Красноярского края, на большей части Западной Сибири, на юго-западе Якутии число пасмурных дней на 20-30 дней превысило климатическую норму. Максимальная положительная годовая аномалия числа пасмурных дней по общей облачности (222 дня) отмечена в Змеиногорске Алтайского края, а наибольшая по абсолютной величине отрицательная (61 день) – в Бабушкине Республики Бурятия. Годовые аномалии числа пасмурных дней по общей облачности по России в целом, в III, V, VIII районах попали в тройку наибольших значений в ранжированном ряду с 1985 года, весенние положительные аномалии в V районе, осенние во II, III, IVрайонах стали рекордными.

Таблица 20.2 – Годовые и сезонные аномалии среднего балла облачности в 2024 году, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России:Δ - *отклонения от средних за 1991-2020 гг.;* σ– *среднеквадратическое отклонение. Жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 3 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985-2024гг.*

Регион	год		зима		весна		лето		осень	
	Δ	**σ**	**Δ**	**σ**	**Δ**	**σ**	**Δ**	**σ**	**Δ**	**σ**
Общая облачность										
Россия	**0,26**	0,14	0,14	0,27	**0,42**	0,19	**0,16**	0,10	0,16	0,21
Север ЕЧР и Западной Сибири	0,02	0,21	0,39	0,55	**0,66**	0,35	**-0,73**	0,33	-0,21	0,26
Сев, часть Восточной Сибири и Якутии	-0,02	0,15	-0,09	0,30	**-0,34**	0,26	-0,23	0,21	**0,53**	0,27
Чукотка и север Камчатки	**0,36**	0,22	0,46	0,51	-0,31	0,48	0,10	0,31	**1,02**	0,36
Центр ЕЧР	**0,02**	0,25	0,30	0,49	0,21	0,34	-0,06	0,32	-0,53	0,43
Центр и юг Западной Сибири	**0,40**	0,24	0,12	0,49	**0,74**	0,39	**0,46**	0,29	-0,15	0,31
Центр и юг Восточной Сибири	0,11	0,14	**-0,35**	0,26	**0,21**	0,24	-0,11	0,19	**0,55**	0,26
Дальний Восток	**0,85**	0,28	0,43	0,34	**0,74**	0,37	**1,21**	0,36	**0,93**	0,31
Алтай и Саяны	**0,30**	0,20	-0,21	0,47	**0,85**	0,39	0,01	0,26	**0,57**	0,41
Юг ЕЧР	0,17	0,23	0,25	0,32	0,08	0,44	-0,15	0,32	0,48	0,47
Нижняя облачность										
Россия	**0,40**	0,22	0,24	0,39	**0,65**	0,27	**0,25**	0,14	0,27	0,29
Север ЕЧР и Западной Сибири	0,07	0,32	0,26	0,79	**0,89**	0,42	**-0,67**	0,39	-0,39	0,48
Сев, часть Восточной Сибири и Якутии	**0,28**	0,25	0,21	0,22	0,20	0,27	-0,13	0,31	**0,70**	0,43
Чукотка и север Камчатки	**0,68**	0,41	0,39	0,63	0,43	0,48	0,46	0,42	**1,23**	0,58
Центр ЕЧР	0,06	0,31	0,06	0,70	0,35	0,38	0,11	0,33	-,56	0,53
Центр и юг Западной Сибири	**0,70**	0,32	0,51	0,54	**1,16**	0,43	**0,70**	0,37	0,28	0,45
Центр и юг Восточной Сибири	**0,36**	0,22	0,11	0,21	**0,47**	0,29	-0,11	0,24	**0,87**	0,35
Дальний Восток	**0,77**	0,29	**0,22**	0,26	**0,89**	0,38	**1,08**	0,43	**0,74**	0,30
Алтай и Саяны	**0,61**	0,25	0,46	0,35	**1,04**	0,40	0,08	0,25	**0,94**	0,44
Юг ЕЧР	0,27	0,24	0,36	0,37	0,03	0,41	-0,07	0,23	0,56	0,39

Таблица 20.3 – Средние годовые и сезонные аномалии числа пасмурных дней в 2024 году, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России: Δ - *отклонения от средних за 1991-2020 гг.;* σ– *среднеквадратическое отклонение Жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 3 самых больших положительных или отрицательных значений за период 1985-2021гг..*

Регион	год		зима		весна		лето		осень	
	Δ	**σ**	**Δ**	**σ**	**Δ**	**σ**	**Δ**	**σ**	**Δ**	**σ**
Общая облачность										
Россия	**6,79**	5,12	1,58	2,90	**3,07**	1,63	-0,96	1,20	1,10	269
Север ЕЧР и Западной Сибири	4,64	10,69	5,93	7,10	**9,69**	4,27	**-8,78**	4,38	-1,78	4,47
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	5,15	5,96	-0,85	2,91	-2,46	2,42	-1,28	2,74	**8,87**	3,59
Чукотка и север Камчатки	**16,80**	9,96	2,08	4,70	-3,01	5,33	-0,68	4,09	**12,82**	4,29
Центр ЕЧР	2,36	10,73	4,77	5,84	1,26	3,03	-3,17	3,50	-2,58	5,63
Центр и юг Западной Сибири	**19,44**	10,31	2,67	5,65	**8,97**	3,93	3,97	3,37	-0,98	4,07
Центр и юг Восточной Сибири	3,64	5,67	**2,42**	2,48	1,00	2,26	-1,83	2,08	**5,47**	2,68
Дальний Восток	6,08	7,08	-1,37	3,11	0,87	3,10	**4,47**	3,49	0,64	2,59
Алтай и Саяны	**2,16**	8,16	-3,04	4,21	**6,08**	4,03	-3,48	2,63	3,74	4,25
Юг ЕЧР	4,39	8,95	3,05	3,81	-1,38	4,05	**-4,09**	2,47	4,71	4,24
Нижняя облачность										
Россия	**7,96**	4,51	0,96	2,28	**3,26**	1,06	0,48	0,79	**2,01**	2,6
Север ЕЧР и Западной Сибири	-1,91	9,19	-0,14	6,00	**6,70**	2,51	**-5,18**	2,93	-4,10	4,62
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	**9,37**	4,65	**0,83**	0,58	**1,74**	0,97	1,07	1,97	**5,40**	2,46
Чукотка и север Камчатки	17,66	11,16	1,04	2,92	2,03	2,84	**1,37**	3,36	**11,75**	4,40
Центр ЕЧР	3,18	7,60	-0,43	4,97	1,77	1,67	-0,56	1,77	-0,65	3,97
Центр и юг Западной Сибири	**13,27**	6,43	2,54	2,65	**5,53**	1,74	**2,70**	1,69	2,52	3,12
Центр и юг Восточной Сибири	**6,63**	3,48	0,46	0,46	**1,56**	0,81	0,30	1,15	**4,18**	1,72
Дальний Восток	**14,05**	6,36	1,68	1,66	**4,72**	1,97	**4,22**	2,93	2,40	1,87
Алтай и Саяны	**8,36**	3,87	2,07	1,30	**3,47**	1,47	**-1,78**	1,16	**5,07**	2,38
Юг ЕЧР	9,41	6,84	1,77	3,11	0,84	2,43	**-1,23**	0,75	4,48	2,61

Число пасмурных дней по нижней облачности превысило климатическую норму на юго-западе и юге ЕЧР, а также на большей части АТР (рисунок 20.3б). Максимальная положительная годовая аномалия (104 дня) получена на о. Визе. Меньше нормы число пасмурных дней по нижней облачности оказалось на северо-западе, северо-востоке, центре ЕЧР и на севере Западной Сибири. Максимальная по абсолютной величине отрицательная аномалия (83 дня) зафиксирована на станции Ходовариха Ненецкого АО. При региональном осреднении значения годовых аномалий, вошедших в тройку наибольших, получены как для России в целом, так и для всех квази-однородных районов, за исключением I, III, IV и IX районов. Весенние аномалии в I, V, VII районах, осенние во II, III и VIII районах стали рекордными за период наблюдений с 1985 года.

Тенденции изменения характеристик облачности

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений среднего балла общей и нижней облачности, показано на рисунках 20.4 и 20.5 соответственно.

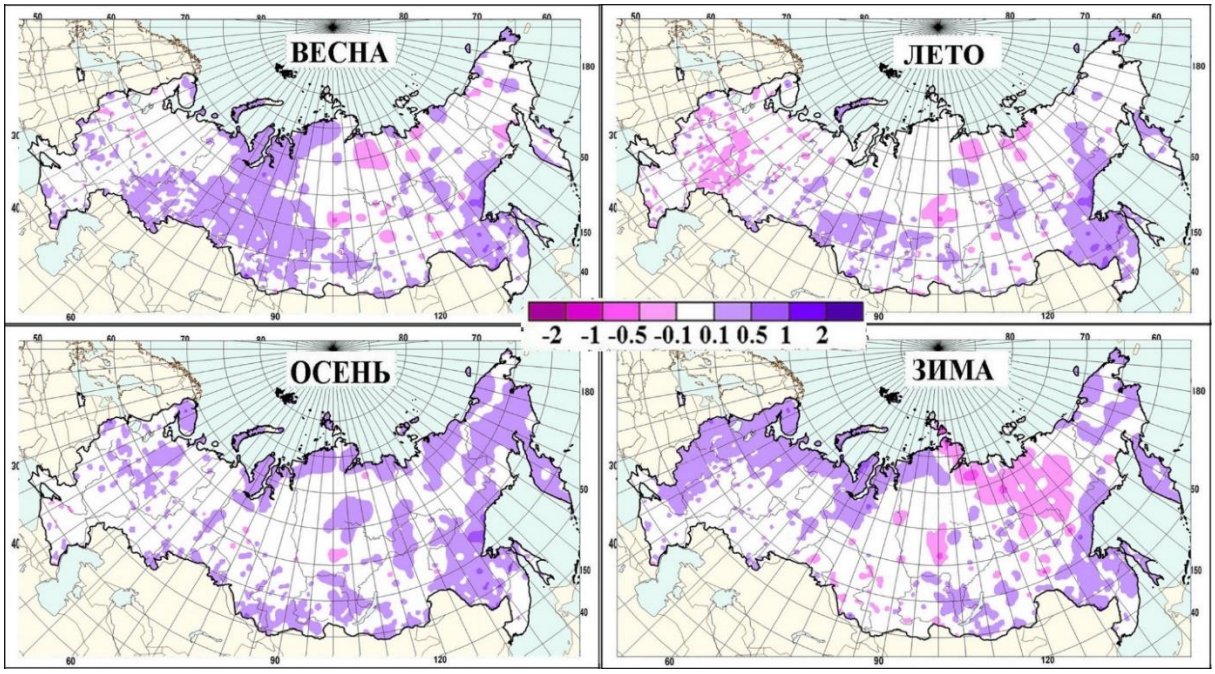

Рисунок 20.4 - Коэффициенты линейного тренда (балл/10 лет) среднего балла общей облачности (значимые на 5% уровне)

Таблица 20.4 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-уровне значимости) годовых и сезонных значений среднего балла общей и нижней облачности. *NOb, баллы/10 лет* – среднее количество общей облачности; *NNb, баллы/10 лет* – среднее количество нижней облачности

Регион	*NOb, баллы/10 лет*					*NNb, баллы/10 лет*				
	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень
Россия	0,1	0,1	0,1		0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Север ЕЧР и Западной Сибири	0,3	0,4		0,1		,	0,1	0,2	0,1	0,2
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии		0,1		0,2		0,1	0,2	0,3	0	0,2
Чукотка и север Камчатки		0,4		0,3		0,2	0,1	0,4		0,3
Центр ЕЧР	0,1			0,1						0,1
Центр и юг Западной Сибири		0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Центр и юг Восточной Сибири		0,1		0,2		0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Дальний Восток	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Алтай и Саяны		0,2	0,1	0,2			0,1	0,3	0,1	0,2
Юг ЕЧР		0,2		0,2						0,1

Заметно, что во все сезоны значительные площади занимают «белые» области, то есть области, где средний балл общей облачности не меняется. Тенденция увеличения среднего балла общей облачности особенно ярко выражена зимой в северных и западных районах Европейской территории, весной на Урале и в Западной Сибири, что обусловлено увеличением в этих районах циклоничности. Зимой увеличение среднего балла общей облачности выявлено в Забайкалье, на Камчатке, Сахалине и в северо-восточных районах Якутии. Наиболее значительные отрицательные коэффициенты линейного тренда зимой получены на севере Таймыра, в северо-западных и центральных районах Якутии, а также летом на ЕЧР. Однако коэффициенты линейного тренда, как положительные,

так и отрицательные, во все сезоны невелики и составляют 0,2-0,7 балла/10 лет. Максимальный коэффициент линейного тренда 1,1 балла/10 лет получен на метеорологической станции Змеиногорск (Алтайский край). При региональном осреднении наибольшие значимые коэффициенты линейного тренда получены зимой в I квази-однородном районе (север ЕЧР и Западной Сибири) и весной в III районе (Чукотка и север Камчатки)

Значительно больше изменяется средний бал нижней облачности, особенно в переходные сезоны (рисунок 20.5).

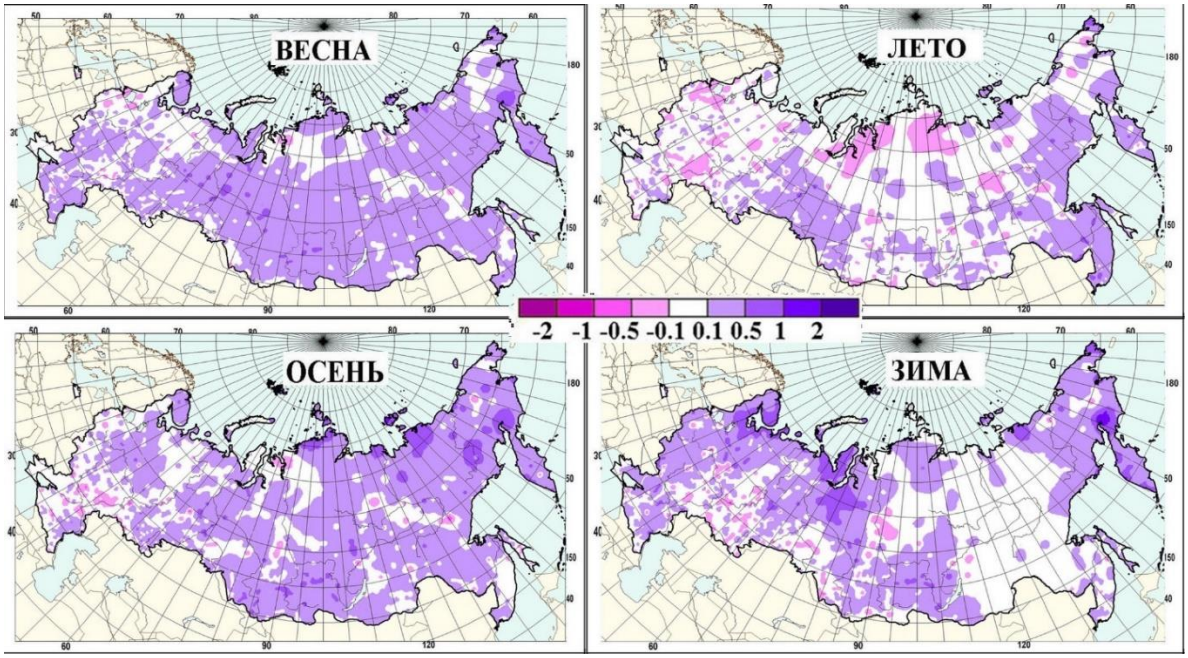

Рисунок 20.5 - Коэффициенты линейного тренда (балл/10 лет) среднего балла нижней облачности (значимые на 5% уровне)

На большей части страны весной и осенью выявлена тенденция увеличения среднего бала нижней облачности, коэффициенты линейного тренда составляют 0,2-0,6 балла/10 лет. И только на отдельных станциях весной и осенью отмечаются коэффициенты линейного тренда 0,9-1,1балла/10 лет. Тенденция уменьшения среднего балла нижней облачности выявлена весной в северо-западных, а осенью – в южных и юго-западных областях ЕЧР. Весной наиболее значительное увеличение среднего балла нижней облачности наблюдается на северо-востоке АЧР (район III) – районе, который находится в зоне активной циклонической деятельности.

Тенденции изменения числа пасмурных дней по общей облачности во многом согласуются с изменением среднего балла общей облачности. Тенденция увеличения пасмурных дней по общей облачности выявлена зимой на западе и севере ЕЧР, севере Западной Сибири, весной - на большей части Западной Сибири и Южном Урале, осенью – в центральных областях ЕЧР, на юге Западной Сибири, на побережье морей Карского и Лаптевых, а также на Камчатке (рисунок 20.6). Максимальный положительный коэффициент линейного тренда 59,3 дня/10 лет получен весной в Змеиногорске Алтайского края.

Наиболее существенное уменьшение пасмурных дней по общей облачности наблюдается зимой и весной в северо-западных и центральных районах Якутии, отдельных районах Красноярского края и Иркутской области, летом – в центральных районах ЕЧР, Красноярского края, Саянах и Верхнеленских районах Иркутской области. Наибольший по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда за год -37,1дня/10 лет получен на метеорологической станции Муторай в Эвенкии. При этом во все сезоны на территории страны преобладают «белые области», т.е. территории, где число пасмурных

дней по общей облачности практически не меняется. Тем не менее, при региональном осреднении за год получены значимые отрицательные тренды как по России в целом, так в пяти квази-однородных районах (таблица 20.5). Это в значительной степени обусловлено уменьшением облаков среднего яруса. Отрицательные коэффициенты линейного тренда зимой и летом получены в большинстве квази-однородных районах (таблица 20.6)

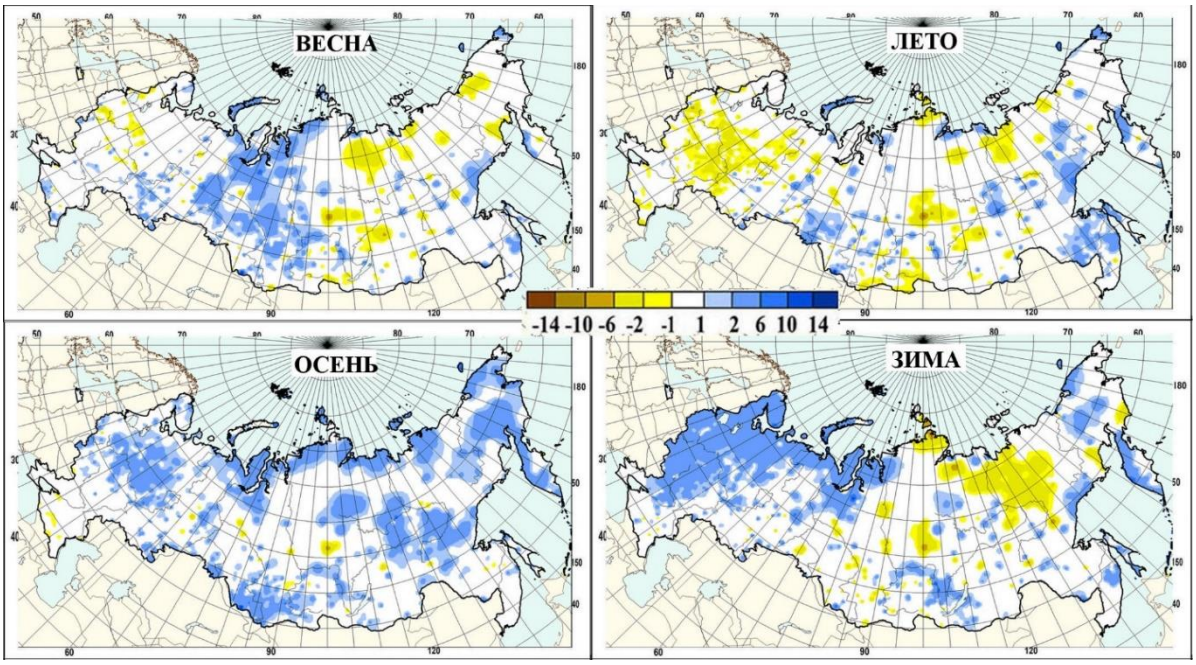

Рисунок 20.6 - Коэффициенты линейного тренда (дни/10 лет) числа пасмурных дней (8-10 баллов) по общей облачности (значимые на 5% уровне)

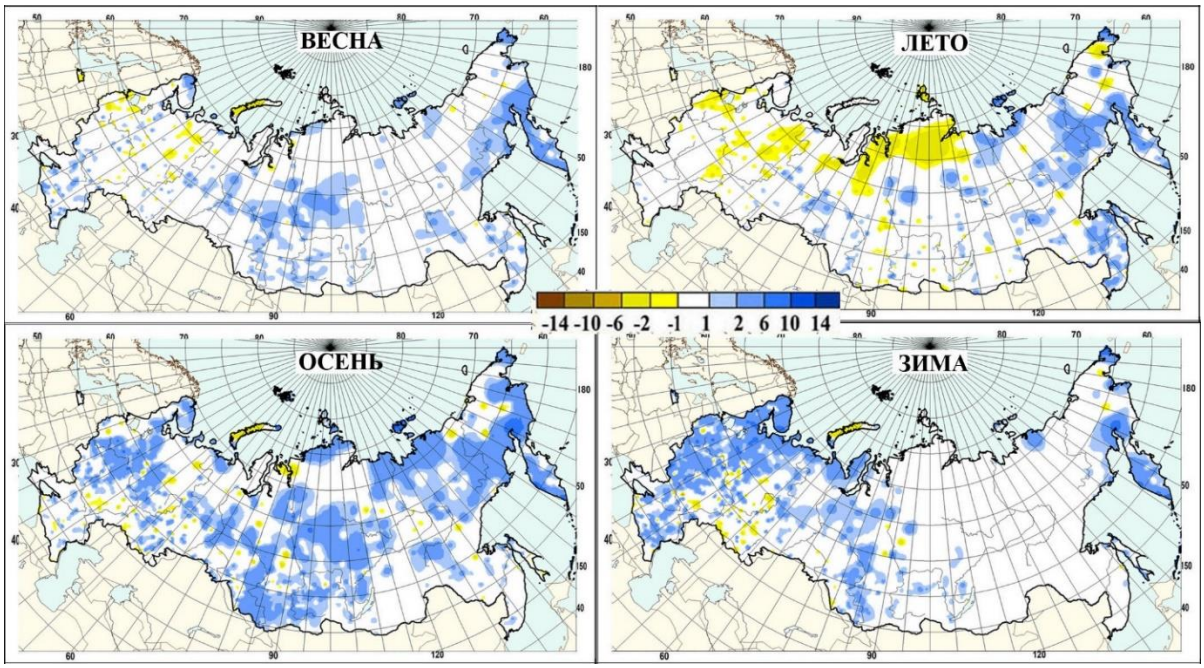

Рисунок 20.7 - Коэффициенты линейного тренда (дни/10 лет) числа пасмурных дней (8-10 баллов) по нижней облачности (значимые на 5% уровне)

Число пасмурных дней по нижней облачности, в отличие от среднего балла, изменяется гораздо меньше, поскольку средний балл хоть и растет, но не всегда превышает 8 баллов. Тенденция увеличения пасмурных дней по нижней облачности выявлена зимой на большей части ЕЧР и севере Западной Сибири, осенью – на северо-западе и в центре

ЕЧР, на юге Западной Сибири и севере Дальневосточного ФО (рисунок 20.7). Тенденцию уменьшения пасмурных дней по нижней облачности можно отметить летом на Таймыре и Гыданском полуострове, а также весной и летом в отдельных районах ЕЧР. При региональном осреднении значимые положительные тренды получены зимой и за год для всех квази-однородных районов и России в целом (таблица 20.5). Слабая тенденция уменьшения числа пасмурных дней по нижней облачности выявлена только летом в центре ЕЧР (IV район).

Таблица 20.5 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-уровне значимости) годовых и сезонных значений числа ясных и пасмурных дней общей и нижней облачности. *Nd_{0-2}, дни/10лет*- число ясных дней; *Nd_{8-10}, дни/10лет*- число пасмурных дней

Регион	***Nd_{0-2}, дни/10лет***					***Nd_{8-10}, дни/10лет***				
	год	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень
Общая облачность										
Россия	-1,4		-0,6			2,8	1,4	0,4		1,0
Север ЕЧР и Западной Сибири	-1,4	-0,8	-0,5		-0,2	5,0	3,8			1,6
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии					-0,6	1,8				2,0
Чукотка и север Камчатки					-0,6					1,3
Центр ЕЧР						3,0	2,5		-1,3	
Центр и юг Западной Сибири	-2,3		-1,1	-0,4		4,2		1,7		1,2
Центр и юг Восточной Сибири	-1,4		-0,6		-0,6	1,6				1,1
Дальний Восток	-1,9			-0,5	-0,6	4,1	1,2		1,5	1,0
Алтай и Саяны										1,4
Юг ЕЧР										
Нижняя облачность										
Россия	-6,4	-1,8	-2,6	-0,8	-1,2	2,8	1,3	0,5		1,1
Север ЕЧР и Западной Сибири	-6,5	-3,7	-1,7		-1,2	3,6	3,1			1,2
Сев. часть Восточной Сибири и Якутии	-9,5	-2,4	-2,8	-1,1	-3,4	3,1	0,3	0,5	0,8	1,8
Чукотка и север Камчатки	-10,6	-4,5	-2,7		-3,1	8,1	1,9	1,6	1,7	3,1
Центр ЕЧР			-1,8			2,0	1,7		-0,6	
Центр и юг Западной Сибири	-7,4		-3,6	-1,8		2,9	1,0	0,8	0,5	1,2
Центр и юг Восточной Сибири	-8,7	-1,7	-3,5	-1,1	-2,7	2,5	0,3	0,6	0,5	1,2
Дальний Восток	-7,1	-2,2	-2,0	-1,6	-1,7	4,7	1,1	1,2	1,4	1,2
Алтай и Саяны	-8,1	-1,7	-3,5		-2,5	2,4	0,6	0,7		1,4
Юг ЕЧР			-1,9				1,2			

Таблица 20.6 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-уровне значимости) сезонных значений повторяемости основных форм облачности

№ района	зима									лето								
	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc
I	-0,8	0,1	-0,4		-0,3	-0,1	0,6		3,0		0,2	0,2		-0,3	-0,5	0,7	-0,5	1,1
II	-1,7		-0,9	-0,9			0,3	0,1	1,4		0,1	0,2	-0,9		-0,3	0,9	-0,5	1,2
III	-1,1		-0,7	-1,5	-0,5	0,1	1,4		2,7				-1,5	-0,5	-0,9	2,8	-1,0	1,7
IV					-0,3		0,5		2,6	0,7	0,2	0,3		-0,3	-0,5		-0,2	1,0
V		0,2			-0,2		1,1		1,3		0,2	0,2		-0,2	-1,0	0,8	-0,1	1,2
VI	-0,4	0,1		-0,7	-0,2		0,6		0,5		0,1	0,3	-0,7	-0,2	-0,5	1,1	-0,2	0,3
VII		0,2		-0,4	-0,3	-0,1			1,6		0,2		-0,4	-0,3	-0,7	1,1	-0,4	1,6
VIII		0,1		-0,2	-0,2	-0,1	1,1		1,0	0,9	0,2		-0,2	-0,2	-1,3	0,5	-0,2	1,1
IX	0,3	0,1	-0,1		-0,3		1,1	-1,1	3,1	0,9	0,2	0,1		-0,3	-0,9		-0,1	1,0

21. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Климатические изменения влияют не только на хозяйственную деятельность человека, но и на природные сообщества. С изменением климата происходят изменения в природных сообществах, в их числе изменения синхронности природных процессов у растений и животных, изменение сроков и продолжительности периода вегетации и сроков размножения. Эти изменения могут отразится на условиях жизни и хозяйствования людей. Мониторинг последствий климатических изменений для биоты необходим для выработки мер по адаптации к изменению климата. В связи с этим с 2024 года в Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации включен новый раздел, в котором будут представлены результаты мониторинга воздействия климата на биоту по фенологическим наблюдениям.

Данные. Систематические фенологические наблюдения (наблюдения за сроками наступления сезонных жизненных фаз) растений и животных в России ведутся добровольными наблюдателями Русского географического общества (РГО), а также на сети особо охраняемых природных территорий федерального значения в рамках ведения Летописи природы, в ботанических садах, на агро- и метеостанциях. В публичном Банке данных «Временные ряды фенологических данных Северной Евразии», который основан и поддерживается ФГБУ «ИГКЭ» при участии Института географии Российской академии наук (http://fenolog.igce.ru/), собрано более 600 тыс. записей (строк) о природных фенологических явлениях в границах СССР, преимущественно в Европейской части России. Добровольными вкладчиками данных в Банк являются корреспонденты РГО https://fenolog.rgo.ru/page/nablyudeniya, сотрудники заповедников и национальных парков Минприроды России. Данные собираются по унифицированной методике Русского географического общества и программе Летописи природы (https://fenolog.rgo.ru/sites/default/files/upload/metodika_vedeniya_fenologicheskih_nablyudeniy.pdfи https://ncr-journal.bear-land.org/article/305). Методики ведения фенологических наблюдений направлены на унификацию явлений и признаков их определения, сохранение преемственности методических подходов и обеспечение тем самым сопоставимости и достоверности первичных данных.

Нами рассматривались виды и сроки наступления фенологических явлений у растений и животных (птиц), по которым ведутся наиболее массовые наблюдения и накоплены продолжительные ряды данных по многим сотням пунктов. В качестве таких модельных фенологических явлений для ежегодного отражения в Докладе выбраны следующие: 1. начало развертывания листьев (первые листья) и 2. полное изменение окраски листьев (полное пожелтение) у березы повислой (*Betula pendula* Roth) и берёзы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), без разделения на виды; 3. начало цветения черемухи обыкновенной (*Prunus padus* L.) и 4. липы сердцелистной (*Tilia cordata* Mill.); 5. весенний прилет, первая песня (кукование) кукушки (*Cuculus canorus* L.); 6. весенний прилет, первая встреча деревенской ласточки (*Hirundo rustica* L.). Для березы рассчитывалась продолжительность вегетационного периода как разность дат полного пожелтения и начала развертывания листьев.

Средние многолетние значения и долговременный тенденции изменений фенологических сроков

На рисунке 21.1 представлены средние многолетние значения анализируемых явлений и тенденции их изменений. Рассчитывались и строились картограммы коэффициентов линейных трендов за период 1991–2024 гг., (1991 – начальный год базового климатического 30–летнего периода), где также отмечались отклонения от средних многолетних значений за 2024 г. В связи с недостатком фенологических данных за последние 30 лет, был расширен период вычисления средних многолетних значений до

1971–2020 гг. Рисунки построены с помощью программы Golden_SURFER (13.0.383), куда встроен алгоритм кригинговой интерполяции.

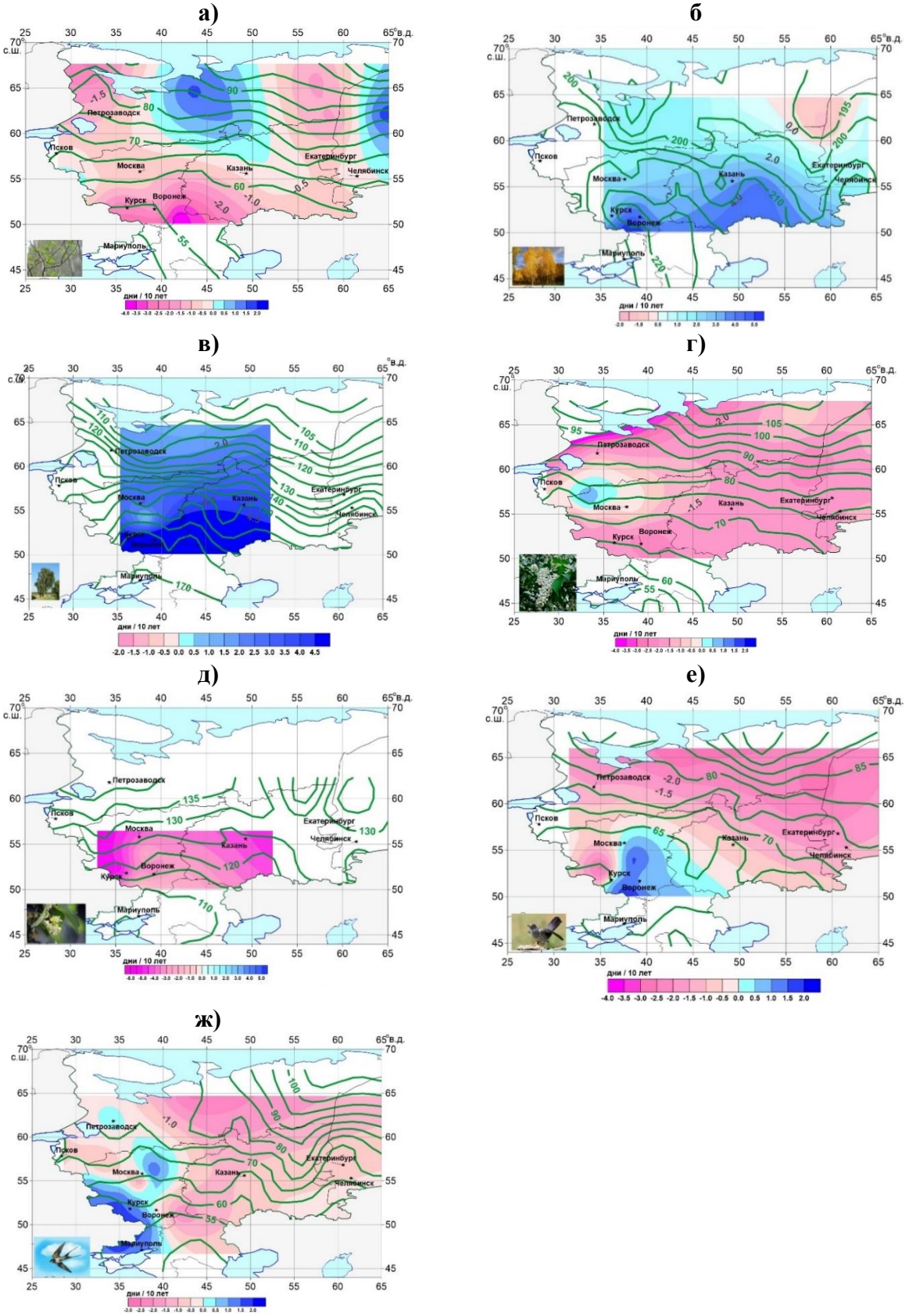

Рисунок 21.1 – Средние многолетние значения сроков наступления феноявлений за период 1971–2020 гг. (изофены, дни, отсчет от 1 марта); коэффициенты линейного тренда за период 1991–2022 гг. (цветная заливка, дни/10 лет). ***Береза:*** *а) начало развертывания листьев; б) полное пожелтение листьев; в) продолжительность вегетационного периода (дни); г) начало цветения* ***черемухи обыкновенной****; д) начало цветения* ***липы сердцелистной****; е) первое кукование* ***кукушки****; ж) весенний прилет* ***деревенской ласточки***

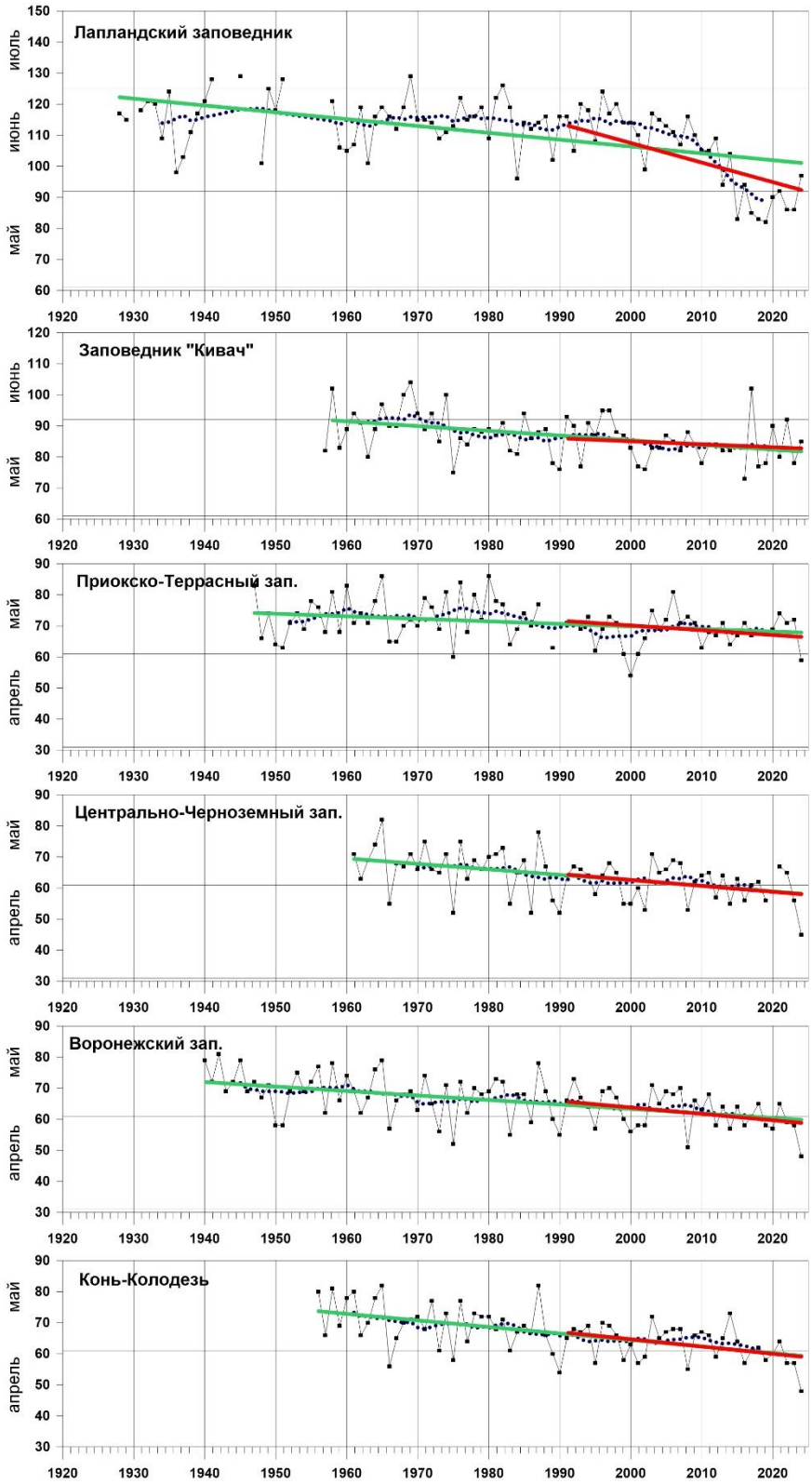

Рисунок 21.2 - Динамика дат начала цветения черемухи с линиями трендов за весь период наблюдений (зеленая линия) и за 1991-2024 гг. (красная линия). Пунктирной линией показано 11–летнее скользящее среднее. Заповедники: Лапландский, Кивач, Приокско-Террасный, Центрально-Черноземный, Воронежский; пункт Конь-Колодезь (Липецкая обл.)

Продолжительность наблюдений в пунктах разная, так как объединены данные разных сетей и разных наблюдателей.

Средние за 50 лет считались, если в этот период было не менее 5 лет наблюдений. Период расчета трендов не менее 27 лет (допускалось не более 5 пропусков наблюдений,

из них не более трех пропусков в начале и в конце периода оценки тренда). Для расчета средних многолетних из общей базы в выборке использованы данные: первые листья у березы – 329 пунктов, полное пожелтение березы – 271, продолжительность вегетационного периода березы – 214, начало цветения черемухи – 413, липы – 350, первое кукование кукушки – 415, прилет деревенской ласточки – 431. В связи с отсутствием актуальных данных за последние 10 лет при расчете трендов использовались данные меньшего количества пунктов.

Область изолиний средних многолетних значений ограничена ареалами видов и доступными данными. Заливка трендов ограничивается распределением пунктов, по которым проводились расчеты. В связи с недостатком актуальных фенологических данных по АЧР, в разделе приводится оценка только по ЕЧР.

Вегетация у березы

Сроки вегетации березы определяются нами от развертывания листьев до полного пожелтения их окраски. На рисунке 21.1 (а, б, в) изофены средних многолетних значений дат начала развертывания листьев, пожелтения листвы и продолжительности вегетационного периода имеют широтное расположение, только в южной полосе изолинии идут с северо-запада на юго-восток. Скорость продвижения «зеленой волны» распускания листьев березы снижается от 1 дня и менее на 1 градус широты на юге до 2–3 дней на 1 градус в северо-восточных районах ЕЧР.

Практически на всей территории преобладают тренды с отрицательными значениями.

Наибольшие значения многолетних трендов более раннего распускания листьев березы отмечаются на юге ЕЧР, в Воронежской и Курской областях, а также на севере в Мурманской области. В этих регионах смещение сроков превышает 2 дня/10 лет. В остальных регионах отрицательные тренды выражены слабо или не проявляются совсем. Исключениями стали географические пункты наблюдений в Архангельской области (особенно Пинежский заповедник) и заповедник «Малая Сосьва» (Тюменская область), где отмечена тенденция более позднего распускания березы, связанная, вероятно, с волнами холода весной.

Поле изолиний средних многолетних значений дат наступления полной осенней окраски отличается от картины с первыми листьями: полная осенняя окраска листьев березы стала наступать в большинстве регионов позже, но изолинии носят более ломанный характер. Более активно этот процесс проявляется на юге ЕЧР (до 4,0 дней/10 лет), но на севере Урала отмечается слабый отрицательный тренд.

Средняя продолжительность периода вегетации имеет четкую закономерность возрастания с севера на юг, тенденция его удлинения проявляется на всей рассматриваемой территории, с более сильным проявлением в южной части (3,5–4,5 дней/10 лет).

Таким образом, за период с 1991 г. по 2024 г. период вегетация березы на юге ЕЧР, южнее Московской области, продлился на 10–14 дней что, учитывая значительное распространения березы, должно найти отражения на сезонной динамике и продуктивности лесов и природной растительности в целом.

Зацветание черемухи и липы

Зацветание определяет начало генеративной фазы сезонной жизни растений. Черемуха начинает цвести через 10–15 дней после развертывания первых листьев у березы. Поля изолиний средних многолетних значений имеют сходную с березой конфигурацию и скорости продвижения (рисунок 21.1г). Имеют сходство и поля коэффициентов трендов. Но более активно изменения в сторону потепления проявляются на севере (тренд менее -2,0 дней/10 лет), а в западном секторе, почти до Московской области, отмечается очаг противоположных тенденций (до 1,0 дней/10 лет). На графиках многолетней динамики

(рисунок 21.2) по всем пунктам смещения на более ранние сроки, но на севере наклон тренда больше.

Можно предположить, что черемуха представлена на ЕЧР несколькими популяциями, которые по-разному адаптированы и реагируют на изменения климата. Западная локально адаптированная популяция (или популяции) демонстрирует устойчивость к температурным трендам, в то время как остальные проявляют большую пластичность по отношению к климатическим изменениям.

Изолинии средних значений дат начала цветения липы имеют преимущественно широтное расположение, волна цветения идет с юга на север и ограничена с севера границей зоны смешанных лесов. Скорость продвижения в западной и центральной части составляет около 3 дней на градус широты, на востоке, в Предуралье – менее 1 дня. Смещение сроков в сторону весны усиливается на западе и востоке юга ЕЧР, где коэффициент достигает -4 – -5 дней/10 лет.

Таким образом, тенденции изменений сроков наступления сезонных явлений у рассмотренных видов деревьев отражают общую реакцию на потепление. Однако полного соответствия нет. Очевидно, есть территориальные особенности проявления реакций, обусловленные как спецификой ландшафтов (предгорья, горы, склоны разной экспозиции, речные долины, характер почвогрунтов, гидрологический режим), так и эволюционно сформированной популяционной структурой видов в тех или иных ландшафтах, наличием локальных адаптаций в ней в связи с разной историей развития.

Прилет птиц

На рисунках 21.1е и 21.1ж показаны средние значения дат прилета кукушки и деревенской ласточки, а также многолетние тенденции изменений. Изолинии дат первого кукования кукушки отражают общий характер продвижения кукушки с юго-запада на северо-восток и север со скоростью от 1 и менее дней на градус широты на юге до 3 и более дней на градус на северо-востоке, как у березы и черемухи. Как в случае с черемухой, коэффициенты трендов на более раннее кукование повышаются с юга, где отмечается тенденция задержки прилета до 2 дней/10 лет, до более раннего прилета на севере и востоке (-2,0 – -2,5 дней/10 лет).

Скорость продвижения деревенской ласточки замедляется от одного дня на юге до 3–5 дней на градус широты на северо-востоке. Хорошо проявляются прилет в бассейне Волги, по которому ласточки, очевидно, продвигаются раньше, чем на прилегающих территориях. С запада на восток чередуются области с отрицательными и положительными небольшими по абсолютной величине значениями коэффициентов трендов (±1,5 дней/10 лет).

В целом, тенденции изменений сроков прилета у выбранных видов перелетных птиц схожи. Важно учитывать: оба вида преимущественно насекомоядные, дальние мигранты из Африки, появляются в местах гнездования, когда там сформировались условия, благоприятные для обитания и размножения. Различия проявляются в связи с сельскохозяйственной деятельностью человека, так как деревенская ласточка тесно связана с сельскими поселениями, а кукушка приурочена преимущественно к природным ландшафтам. Задержка прилетов у обоих видов свидетельствует о том, что на зимовках, при перелетах возникают определенные обстоятельства (погодные, кормовые), препятствующие продвижению и которые пока трудно объяснить. Но более ранние прилеты определяются готовностью кормовой базы экосистем к приёму мигрантов. В северных широтах благоприятные условия для них стали наступать раньше, что и определило сдвиг дат прилета, особенно у кукушки, на -2,5 дня/10 лет. Здесь очевидное следование климатическим изменениям, которые стимулируют и более ранее развитие кормовой базы. Для деревенской ласточки ограничением может являться кризис сельского хозяйства и депопуляция в Нечерноземье.

Фенологические особенности 2024 года

На рисунке 21.3 цветом показаны отклонения в 2024 г. сроков наступления модельных фенологических явлений от средней многолетней, что характеризует особенности фенологии 2024 г. в ЕЧР.

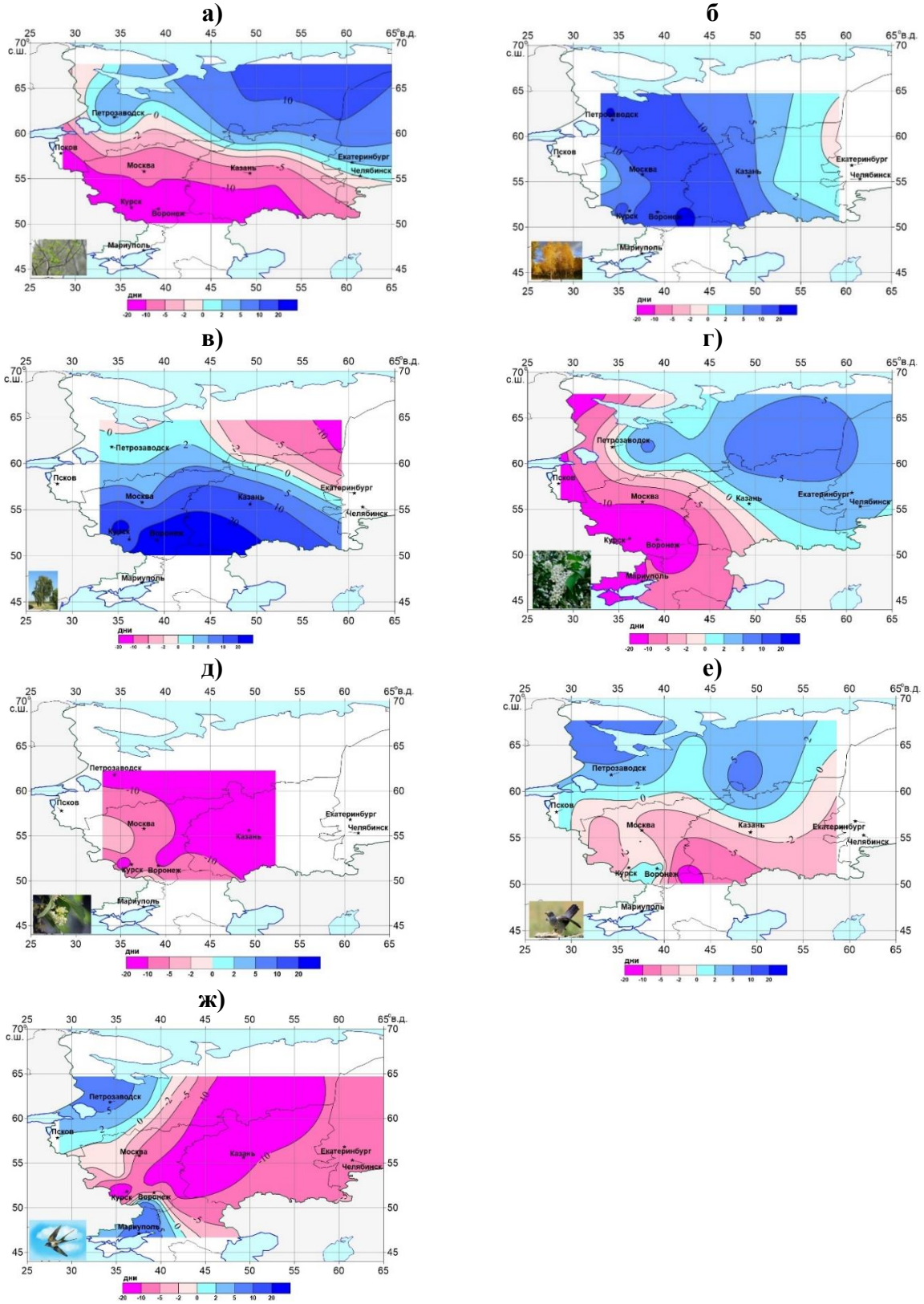

Рисунок 21.3 *- Отклонения (дни) сроков наступления событий в 2024 г. от средних многолетних значений (1971–2020 гг.).*

Береза: а) начало развертывания листьев; б) полное пожелтение листьев; в) продолжительность вегетационного периода; г) начало цветения черемухи обыкновенной; д) начало цветения липы сердцелистной; е) первое кукование кукушки; ж) весенний прилет деревенской ласточки

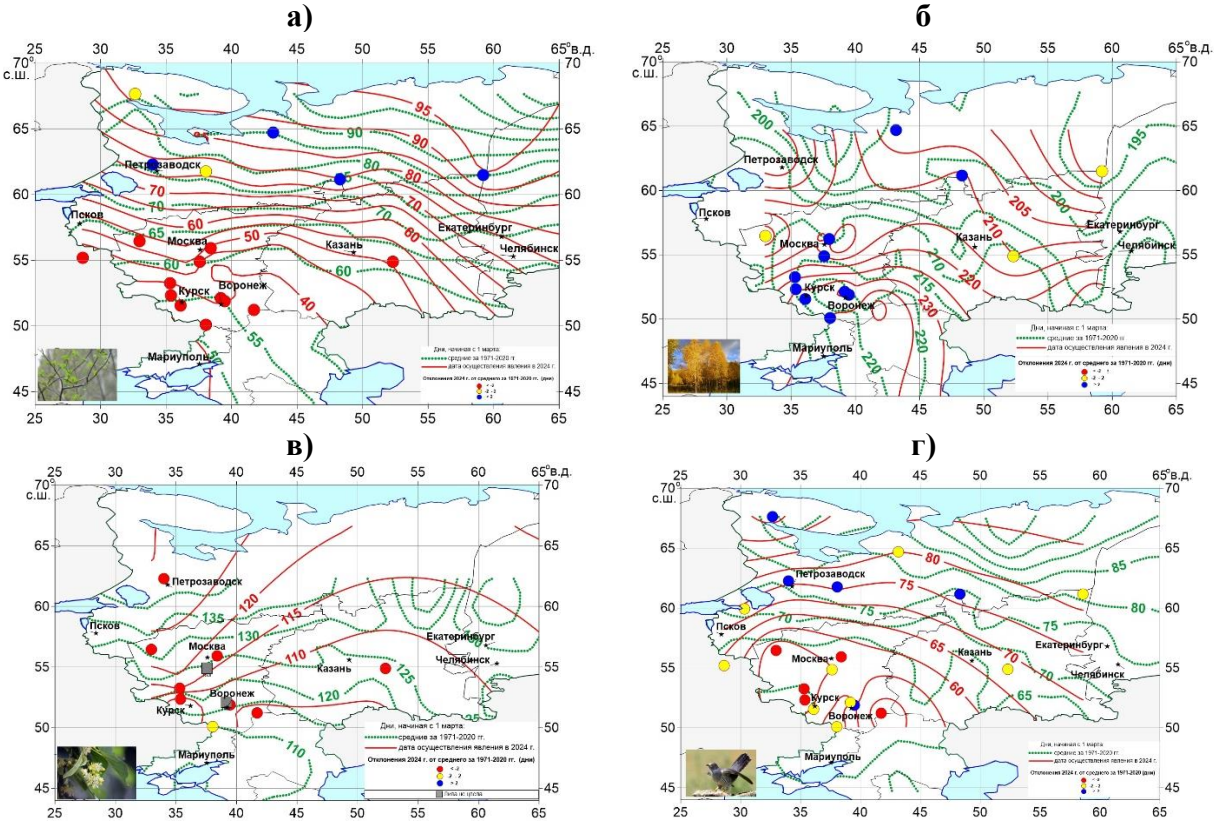

Рисунок 21.4 – Географическая изменчивость сроков наступления наиболее представительных фенологических событий в 2024 г., изофены за период усреднения 1971-2020 гг., кружками обозначены географические пункты и отклонения (цветом кружков) от средних сроков.
Береза: а) начало развертывания листьев; б) полное пожелтение листьев; г) начало цветения черемухи обыкновенной; е) первое кукование кукушки

Вегетация у березы

Отклонения сроков развертывания листьев в 2024 г. совпадают с ходом изменений температурных показателей весны этого года. На севере и северо-востоке ЕЧР, по условной линии от Санкт-Петербурга до Челябинска наблюдается позднее развертывание листьев, обусловленное задержкой схода снежного покрова и температурами ниже климатической нормы в марте-апреле. На северо-востоке задержка сроков достигает 10 дней. На юге ЕЧР, напротив, ранний сход снега и теплый март и апрель привели к тому, что весна наступила в среднем на 10 дней раньше среднемноголетнего срока. Годовые аномалии географической изменчивости сроков распускания листьев березы иллюстрирует рисунок 21.4а, на котором внемасштабными символами показаны отклонения сроков распускания листьев березы текущего года от среднего многолетнего значения в данном географическом пункте, а также вычисленные изофены средних многолетних и сроков распускания листьев березы в 2024 г.

Благодаря мягкой теплой осени на большей части ЕЧР осеннее пожелтение наступило существенно позже средней многолетней даты (рисунок 21.3б). В результате общий период вегетации березы на юге от линии Санкт-Петербург – Челябинск увеличился до 20 дней на юге, в Курской и Воронежской областях, а на севере остался равным среднегодовой или незначительно сократился в УФО (заповедник «Малая Сосьва» в ХМАО-Югра).

Сроки зацветания черемухи обыкновенной и липы в 2024 г.

Изолинии отклонений дат начала цветения черемухи в 2024 г. от среднемноголетних идут параллельно с юго-запада на северо-восток (рисунок 21.3г).

На сроки зацветания черемухи большое влияние оказали аномалии апреля, когда на юге отмечены аномалии выше климатической нормы, а на севере и северо-востоке ЕЧР существенно ниже. В итоге на юге смещение сроков на более раннее цветение достигло 10 дней, а в Карелии и УФО задержка цветения составляла около 5 дней.

Цветение липы в июне происходит также с опережением, как и у черемухи, до 10 дней, отклонения дат цветения липы в 2024 г. показаны на рисунке 21.3д). Следует отметить, что в некоторых географических пунктах (например, Приокско-Террасный заповедник в Московской области, Конь-Колодезь в Липецкой) в результате майских заморозков были повреждены цветочные почки липы и цветения не было или оно проявлялось очень слабо, пункты с отсутствием сезонного цветения липы показаны серыми квадратами на рисунке 21.4в.

Сроки прилета птиц в 2024 г.

Прилет и начало кукования кукушки в 2024 г. радикально отличаются от общей многолетней тенденции более раннего прилета птиц на севере и задержки на юге ЕЧР, что показано на рисунке 21.3е. В 2024 г. в связи с аномально теплой ранней стадии весны появление кукушки на юге произошло в более ранние сроки, чем обычно. Но аномально холодная весна на севере, особенно в Карелии и северо-востоке, привела к задержке продвижения птиц на север (рисунок 21.4г).

Общая картина прилета деревенской ласточки в 2024 г., напротив, повторяет в целом картину долговременной тенденции (рисунок 21.3 ж). На юге и северо-западе прилет был в срок или с незначительной задержкой.

На большей части ареала гнездования деревенской ласточки прилет был на 5–10 дней раньше средних многолетних дат. Вероятно, тесная связь деревенской ласточки с сельскохозяйственной деятельностью и сельскими поселениями существенно сглаживают воздействие климатических аномалий.

В целом, весна 2024 г была аномально холодной на северо-востоке, а май – практически на всей территории ЕЧР. Однако весенние явления на большей части наступали раньше средних многолетних значений на 5–10 дней, лишь на северо-востоке сроки либо совпадают, либо наступали позже. Осенью напротив, мягкая теплая погода способствовала продлению вегетации на большей части ЕЧР, но на севере сроки пожелтения примерно соответствовали норме. Таким образом, метеорологические условия отразились на фенологии растений и птиц.

Выводы

Выявленная для всех рассмотренных природных фенологических явлений закономерность – смещение средних многолетних значений дат наступления весенних и летних фенологических явлений с юга на север на более поздние сроки и обратное направление для осенних явлений свидетельствует о едином обусловливающем климатическом факторе. В первую очередь это характер распределения поступающей от Солнца энергии по широтам и по времени года, который определяет и сходный режим функционирования живой природы.

Наступление весенне-летних явлений за 1991–2024 годы практически по всей рассматриваемой территории смещается на более ранние сроки. Полное пожелтение листвы смещается на поздние сроки и, соответственно, возрастает продолжительность периода вегетации. Таким образом, тенденции изменений сроков наступления сезонных явлений у рассмотренных видов отражают общую положительную реакцию биоты на потепление. Пространственная неоднородность фенологических реакций на изменения климата может определяться как наличием локальных адаптаций в популяционной структуре видов, так и физико-географическими особенностями территорий, а также особенностями экологии биологических видов.

ВЫВОДЫ

• 2024 год в России был в целом очень тёплым. Среднегодовые температуры воздуха в среднем по РФ, ЕЧР, АЧР были на 1,21°С, 1,36°С,1,16°С выше нормы — вторые величины в соответствующих рядах. Осредненные по всем федеральным округам аномалии температуры среди пяти самых крупных в соответствующих рядах.

Очень тепло было летом (на 0,97°С выше нормы - вторая величина с 1936 года), особенно тепло в АЧР: 0,78°С – вторая величина в ряду (рекордно тепло в АЧР было в июле: +1.14°С).

Теплой была и осень (на 1,80°С выше нормы - третья величина с 1936 года); очень тепло как в ЕЧР (аномалия +2,43°С – рекордное значение, особенно тепло в СЗФО и в ЦФО (+3,18°С и +2,18°С – максимальные величины)); так и в АЧР (+1,57°С – ранг 4, особенно тепло в УФО (2,82°С – ранг 2)). Сентябрь был рекордно тёплым в ЕЧР (аномалия +3.54°С), в ноябре очень тепло в АЧР (+3,36°С- ранг 3).

В целом по РФ зимняя аномалия температуры составила -0,31°С (ранг 33), Температуры ниже климатической нормы наблюдались большей части ЕЧР (кроме юга), на юге СФО и большей части ДФО. Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге ЕЧР (в СКФО аномалия составила +2,39°С – ранг 4), в центре и на севере Западной и Средней Сибири.

Весенняя аномалия температуры составила: +0,84°С (ранг 12). Очень тепло в ЦФО (1,73°С – ранг 4), ЮФО (1,85°С – ранг 1) и СКФО (1,52°С – ранг 2), на большей части ДФО (1,75°С - ранг 5). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на севере страны от востока Кольского полуострова и Тиманского кряжа (на западе) до течения Енисея (на востоке) (аномалии до 3°С), а также на Чукотке (аномалии до 1°С).

На всех станциях Северного Кавказа наблюдались положительные аномалии среднегодовых температур более 1σ (среднеквадратического отклонения), положительные аномалии наблюдались на всех станциях во все сезоны. Особенно тепло было летом – на всех станциях аномалии более 1σ, а на станции Прохладная - более 1,69 σ. Весна – тоже теплый сезон – на всех станциях (кроме Ахты) аномалии более 1σ. Зимой аномалии более 1σ наблюдались на станциях Теберда, Нальчик, Прохладная.

Зимой положительные аномалии максимальных температур наблюдались на станциях Нальчик и Прохладная с превышением межгодовой изменчивости от 1,69σ до 3σ; аномалии максимальных температур были выше 1σ весной на станции Теберда, летом и осенью – на станции Прохладная.

Аномалии минимальных температур на всех станциях и во все сезоны, и за год в целом были положительные (исключение – осень на станции Ахты).

• 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°С / 10 лет (вклад в общую изменчивость 60%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной (0,63°С / 10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0,41°С / 10 лет: описывает 71% суммарной дисперсии). Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: (0,73°С /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. 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 осенью.

• В области морской Арктики температура с 1990-х годов повысилась к 2018-2020 гг. зимой более чем на 4°С, а летом – на 2°С. 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 показывают здесь повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2018 год на 6°С, а летней к 2020 году почти на 3°С. В 2021-2023 гг. температура понизилась почти на 3°С, а летом на 1°С, но 2024 году начался рост.

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 Северный морской путь (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^2 до 234 тыс. км^2. В последующие годы площадь колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. км^2 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 Северной полярной области и в Арктике наблюдается отсутствие в 2023-2024 гг. значительной положительной аномалии температуры воздуха, что можно объяснить задержкой распространения аномалий из низких широт.

• В тропосфере Северного полушария с аномалией температуры 1,32ºС 2024 год стал рекордно теплым, превысив предыдущий рекорд 2020 года более чем на 0,4ºС. Рекордно большие аномалии наблюдались и в отдельные сезоны в низких и умеренных широтах, а также по Северному полушарию. Только зимой в умеренных широтах и по Северному полушарию 2024 год уступил 2020 году. В высоких широтах весна, лето и осень вошли / в тройку самых теплых лет, а зима была относительно холодной с аномалией температуры 0,14ºС. Таким образом, 2015-2024 гг. являются самым теплым десятилетием с начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария.

В нижней стратосфере 2024 год был относительно теплым. Зимой и весной в умеренных и высоких широтах наблюдались либо положительные, либо аномалии температуры близкие к нулю. Весна, лето и осень низких широт вошли в пятерку самых холодных. И в целом по Северному полушарию лето и осень 2024 года вошли в шесть самых холодных лет. В целом за год аномалия температуры составила -0,69ºС.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2024 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере.

В тропосфере добавление оценок аномалий за 2024 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2023 года включительно, привело к увеличению оценок трендов практически во всех сезонах и широтных поясах в среднем на 0,02ºС/10 лет. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере всего Северного полушария вырос с 0,22ºС/10 лет до 0,24ºС/10 лет.

В нижней стратосфере по сравнению с 2023 годом в умеренных, высоких и в целом по Северному полушарию зимние, весенние и летние оценки трендов уменьшились по абсолютному значению. В низких широтах летняя оценка увеличилась, а весенняя не изменилась. Осенние оценки не изменились во всех широтных поясах. Среднегодовой тренд температуры в нижней стратосфере всего Северного полушария уменьшился по абсолютному значению и составил -0,41ºС/10 лет.

Осадки в 2024 году в целом по России составили 101% нормы – величина во втором десятке ряда. Много осадков выпало в АЧР (106% нормы - ранг 4-6).

Зимой 2023-2024 гг. отмечен заметный избыток осадков: 111% нормы, ранг 7. В ЕЧР осадков было значительно выше нормы (124%, ранг 3), больше всего осадков выпало в ЦФО (146% - ранг 2). Меньше всего осадков зимой выпало в ДФО (86% нормы), особенно сильный дефицит на Чукотке, на Камчатке, в Приморье.

Весна. Осадки по РФ незначительно выше нормы: 105% - во втором десятке. В ЕЧР – существенный дефицит (86%), дефицит осадков во всех ФО ЕЧР, кроме СЗФО; рекордный дефицит в ЮФО (38%), особенно сильный в апреле (27%, также минимальная величина), а в марте сильный дефицит осадков в ЦФО (40% нормы - второй самый «сухой» март). В АЧР весной избыток осадков (116% - ранг 3), значительный избыток в СФО (123% нормы – ранг 5, особенно много осадков выпало в апреле (127% нормы – ранг 4)).

Летом осадки по РФ близки к норме (101%), ниже нормы в ЕЧР (95%) и выше в АЧР (103%). Значительный дефицит осадков в ЮФО (61%).

Осенью осадки по РФ ниже нормы (97%). Дефицит осадков наблюдался практически всюду в ЕЧР (82% нормы) и в УФО (84%). В ЕЧР дефицит особенно сильный в сентябре (38% нормы – минимальная величина в ряду), дефицит осадков наблюдался во всех ФО ЕЧР: в СЗФО (58%), ЦФО (17%), ПФО (13%) – минимальные величины в рядах с 1936 года; а в УФО – в октябре (65% - 5-6-ой самый «сухой» октябрь). Избыток осадков осенью наблюдался восточнее течения Оби, наиболее значительный в СФО (113% нормы - ранг 5).

На Северном Кавказе в 2024 году в среднем за год имел место дефицит осадков (аномалии менее -1σ) на всех станциях, кроме Ахты (на этой станции аномалия осадков была выше 1σ). Наибольший дефицит осадков наблюдался весной и летом. Избыток осадков на станции Ахты наблюдался летом (аномалия ниже -1,69σ) и весной (аномалия ниже -1σ).

Отклонений суточных максимумов осадков и числа дней с осадками не менее 5 мм более, чем на 1σ ни на одной из станций не наблюдалось.

- На территории России в целом преобладает тенденция к ***увеличению годовых сумм осадков***: тренд за 1976-2024 гг. составляет 1,8% / 10 лет, вклад в дисперсию 36%. В ряде областей Сибири и Дальнего Востока тренд превышает 5%/10 лет.

Рост осадков наблюдается во все сезоны. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается ***весной*** (5,1% / 10 лет, вклад в дисперсию 41%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако ***летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают***: в ПФО тренд -4,6% нормы в десятилетие, в ЦФО и ЮФО: -4,3% нормы в десятилетие.

Тренд годовых и сезонных осадков за период 1976-2023 гг. на всех станциях Кавказского региона статистически незначим, кроме станции Теберда, на которой тренд значим на уровне 5% за год в целом (D=10%) и весной (D=9%).

- ***Продолжительность залегания снежного покрова*** в зимний период 2023-2024 гг. была значительно ниже климатической нормы (аномалия -6,63 дней). Отрицательные аномалии в целом по России, в VI, VII и IX квази-однородных районах (центр Сибири, юг ДФО, юг ЕЧР) вошли в десятку наименьших значений в ранжированном ряду с 1967 года, на юге ЕЧР устойчивый снежный покров не образовался. Дольше обычного снег сохранялся на севере ЕЧР, в западных районах автономных округов Западной Сибири, в горных районах Алтая, южных районах Забайкальского края, на арктическом побережье Чукотки и севере Камчатского края.

Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась немного выше климатической нормы. Много снега выпало в северных, западных и центральных областях ЕЧР, на Средней Волге, большей части Западной Сибири и Якутии, а также в горных районах Алтая и Саян (аномалии I и II квази-однородных районов среди в десятку наиболее крупных). Отрицательные аномалии – на юге Таймыра, в северных районах

Красноярского края, в нижнем течении Амура и на Сахалине (аномалии VII и IX квази-однородных районов среди в десятку наименьших).

Максимальный запас воды в снеге оказался ниже климатической нормы в поле, но выше в лесу. На ***лесных маршрутах*** положительные аномалии наблюдались в северных и центральных областях, Поволжье и Якутии (аномалия во II квази-однородном районе среди десяти самых крупных). Отрицательные аномалии отмечены в V, VII, VIII и IX квази-однородных регионах (центр и юг Западной Сибири, Дальний Восток, Алтай и Саяны, юг ЕЧР), отрицательная аномалия по VII району попала в десятку наименьших. В ***поле*** в I квази-однородном районе (север ЕЧР и Западной Сибири) – аномалия максимального запаса воды в снеге стала второй самой крупной, положительные аномалии запаса воды в снеге получены в IV и V районах (центр ЕЧР и центр и юг Западной Сибири). В остальных районах запас воды в снеге в поле ниже нормы (в III, VI и IX районах – запас воды среди десяти наименьших значений).

Как и в предыдущем году, на значительной части страны сохраняется тенденция ***уменьшения продолжительности залегания снежного покрова*** (линейный тренд составляет 1,76 дня за 10 лет), особенно в ЕЧР, севере Восточной Сибири, в центре АЧР. Увеличение продолжительности залегания снежного покрова наблюдается лишь на востоке Тюменской области, в Саянах, на Кольском полуострове.

Сохраняется тенденция ***увеличения максимальной за зиму высоты снежного покрова*** на большей части страны (линейный тренд составляет +1,23 см за 10 лет).

По данным маршрутных наблюдений ***в поле*** преобладают ***тенденции увеличения*** максимального за зиму запаса воды в снеге, тренд составляет +2,54 мм за 10 лет (максимальные положительные коэффициенты линейного тренда получены в районе Обской Губы).

По данным маршрутных наблюдений ***в лесу***, по-прежнему преобладают ***тенденции уменьшения*** максимального за зиму запаса воды в снеге, тренд составляет 1,15 мм за 10 лет, особенно в центре ЕЧР.

- По состоянию на 10 марта 2024 г. ***запасы воды в снежном покрове*** в бассейнах рек ЕЧР оказались в основном ***выше*** среднемноголетних значений. В бассейне реки Волга запас воды в снеге составил 124% нормы; из рек Сибири выделяется Тобол – 166% нормы. В бассейне реки Дон запас воды в снеге составил 79% нормы.
- Сроки начала ледообразования на большинстве рек страны были преимущественно позже нормы на 3-20 дней (из-за очень теплой осени 2023 года) или около нормы. Появление льда началось на северо-востоке страны в первой декаде октября 2023 года (на реках Яна, Индигирка и Колыма), и лишь во второй декаде декабря ледообразование началось на юге ЕЧР (в нижнем течении реки Волга).

Вскрытие ото льда большинства рек России преимущественно произошло около нормы и на 5-24 дня раньше средних многолетних сроков, на отдельных реках до 17 дней позже. Раньше всех (во второй декаде марта) вскрылись нижнее течение реки Волга и верхнее течение реки Дон. Позже всего разрушение ледяного покрова произошло в конце третьей декады мая и в первой декаде июня на реке Енисей.

- Суммарные за холодный период аномалии **числа случаев гололеда** были положительными в ЦФО, Карелии, Мурманской области, ЯНАО, на юге Коми, юго-востоке ПФО, востоке Чукотки, юге Красноярского края и юге Сахалина. Реже, чем обычно, отложения гололеда отмечались на юге ЕЧР, юго-западе СЗФО, юге УФО. Обширный очаг отрицательных аномалий числа случаев **кристаллической изморози** сформировался на большей части ЕЧР, на севере Урала и Сибири, на Дальнем Востоке. Положительные аномалии числа случаев с отложением **мокрого снега** отмечаются на западе ЕЧР. Положительные аномалии продолжительности **отложения мокрого снега** наблюдаются на юго-западе СЗФО, севере ЮФО, юге УФО, юге Камчатского края и в Республике Алтай. Рост **веса гололеда** наблюдался в Ленинградской области, ЦФО, Крыму, на юго-западе

ПФО и востоке Чукотки (1,2-1,6 г/см и более); а в ЮФО и на северо-востоке ЕЧР вес гололеда меньше нормы на 0,4-1,6 г/см.

В аспекте изменений, преобладали положительные тенденции числа случаев с **гололедом (**На многих станциях этот тренд статистически значим на 5% уровне); при региональном осреднении в целом для страны и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд. Значимые положительные тенденции числа случаев с **кристаллической изморозью** получены в дальневосточных регионах страны; а значимые отрицательные тренды выявлены в регионах на западе и севере ЕЧР и севере Западной Сибири. Тенденция увеличения продолжительности **отложения мокрого снега** по-прежнему сохраняется почти на всей ЕЧР, Урале, в Западной Сибири; в целом для территории России и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд продолжительности **отложения мокрого снега** (b= 3,2 и 4,1 ч/ 10 лет соответственно). Тенденция увеличения веса **гололеда** наблюдается на северо-западе ПФО, севере ЦФО, в отдельных районах СЗФО, Приморском крае.

- 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 территории возделывания озимых зерновых культур даты возобновления вегетации (переход через 5°С весной) наблюдались значительно раньше среднемноголетней даты, и аномалии составляли от -21 до -2 суток.

Продолжительность периода вегетации (Т>5°С) и периода активной вегетации (Т>10°С) превышала среднемноголетние значения на всей исследуемой территории, и в среднем аномалия составила +10 суток. Вегетационный период в южных регионах длился на месяц дольше (аномалия +29 суток), а период активной вегетации – на две недели (+14 суток).

В центре и на юге ЕЧР положительные аномалии суммы температур воздуха за период вегетации (Т>5°С) от +460 до +510°С, самый напряжённый термический режим сложился в ЮФО – до +690°С. Менее напряжённый температурный режим сложился в АЧР - ~30-140°С. В УФО наблюдались отрицательные аномалии сумм активных температур воздуха (−97°С).

Количество выпавших осадков за период вегетации яровых зерновых культур в среднем по территории земледельческой зоны России было близко к норме, но значительно различалось по регионам. Благоприятные агроклиматические условия по увлажнённости наблюдались на АЧР, в УФО и СФО, где осадков выпало на 33 и 20% выше нормы соответственно. На всей территории ЕЧР осадков выпало меньше среднемноголетних значений, аномалии составили от −11% в ЦФО до −36% в ЮФО.

Аномалии увлажнённости по показателю ГТК в 2024 году были преимущественно отрицательными на ЕЧР и положительными на АЧР.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2024 году весной на дату возобновления вегетации и до фазы колошения зерновых культур были достаточными во всех сельскохозяйственных районах и колебались в диапазоне от 94 мм (СКФО) до 216 мм (СЗФО). Следует отметить высокий уровень увлажнённости почвы за период с мая по сентябрь в основных зернопроизводящих регионах на ЕЧР – в ЦФО и ПФО, а на АЧР – в СФО и ДФО. Локальная почвенная засуха могла наблюдаться в ЮФО и СКФО в период с июня по август, то есть практически весь вегетационный период зерновых культур.

Условия увлажнённости посевов озимых культур урожая 2025 года осенью 2024 года оцениваются как достаточно благоприятные в центрально-чернозёмных областях и в ПФО в третьей декаде августа и первой декаде сентября.

БКП (биоклиматический потенциал) в 2024 году оценивается в целом по земледельческой зоне на уровне среднего за 2019-2023 гг. (-1%), но при значительном различии по регионам. Максимальные положительные аномалии зафиксированы в УФО

(+27%), а максимальные отрицательные зафиксированы в ЮФО и СКФО -22 и -26% соответственно. В СЗФО, ПФО и СФО оценки БКП близки к среднему за предшествующие пять лет.

Тенденции. Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода (T>5°C) и периода активной вегетации (T>10°C), тенденция к росту весенних осадков в земледельческой зоне (средняя оценка составляет 4,5 мм/10 лет).

По оценкам степень засушливости в земледельческой зоне растёт: за период 1976-2024 гг. оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости Будыко (ИС) за весь тёплый период года (T>5°C) составляют −0,03 и 0,03 ед./10 лет, соответственно.

В основных зернопроизводящих областях ЦФО и ПФО климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы в среднем ниже уровня предшествующего пятилетия на 10%. Исключение составляют Оренбургская область и Республика Башкортостан, где аномалии климатически обусловленной урожайности положительные, +50 и +20% соответственно.

• В 2024 г. на территории России получены данные наблюдений мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты (СТС) с 16 площадок CALM.

На Европейской части России данные трех площадок свидетельствуют о сохранении устойчивой положительной тенденции мощности СТС, однако на острове Кашин мощность СТС по сравнению с прошлым годом уменьшилась на 39 см. По данным четырех площадок Западной Сибири (двух из района Надыма и двух из Уренгоя), в этих районах сохраняется высокий положительный тренд мощности СТС (тренд для двух площадок района Надыма составляет 58 и 45 см/10 лет). Для Центральной Сибири были доступны данные 4 площадок, на самой северной из них – Игарка, тренд СТС составил 30 см/10 лет. Северо-восток криолитозы РФ представлен данными 6 площадок; пять площадок из разных районов Чукотки, мощность СТС на площадках составляла 40-60 см, колебания мощности СТС для всего периода (2005-2024 гг.) сравнительно небольшие, в пределах нескольких см данные свидетельствуют об устойчивом положительном тренде мощности СТС

Анализ данных с 16 площадок CALM показал сохранение положительных трендов СТС практически на всей территории криолитозоны России в 2024 году, близких по значению к трендам 2023 года, что свидетельствует о сохранении устойчивой тенденции увеличения мощности СТС. Наиболее значительное увеличение мощности СТС за последние 20 лет отмечается на Европейской части криолитозоны (район Воркуты) и в западной части Западной Сибири (северная часть полуострова Ямал, район Надыма, Уренгоя и Нового Уренгоя), где расположены основные нефтегазовые районы Западной Сибири.

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.

• 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 2ºC. Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Восточной Сибири.

В период 1976-2024 гг. тенденция повышения минимальной температуры почвы ослабевала с глубиной. На большей части территории России преобладают тренды <0,4ºC/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.

- По данным разновременных космоснимков проводилась оценка динамики отдельных крупных ледников Центрального Кавказа и Западного Кавказа.

Просматривается общая тенденция деградации ледников. Но при современном изменении климата динамика ледников может быть различной в связи с активизацией склоновых процессов, поэтому поведение самых крупных ледников может стать непредсказуемым.

Наибольшая убыль площади за 1957-2023 гг. выявлена у ледников Джикиуганкез на севере Эльбруса и Большой Азау на юге Эльбруса 8,49 и 7,13 км^2 соответственно. Это объясняется наибольшей шириной их языков в области абляции на низких абсолютных высотах и их распадом.

За период 2015-2023 гг. максимально сократились по площади ледники: Большой Азау (2,31 км^2), Джикиуганкез, разделившийся на ледники Бирджалычиран и Чунгурчатчиран (1,35 км^2).

Площадь ледника Колка за 2014-2024 гг. увеличилась на 210 тыс. м^2 (в среднем 21 тыс. м^2 в год). Он наступил на 520 м.

По данным мониторинга озёр в 2023 году был выявлен рост площади озера Южное Бирджалы на севере Эльбруса и уменьшение ширины его ледяной плотины. Непрерывный мониторинг космоснимков показал прочность плотины озера и об отсутствии угрозы прорыва в ближайшем будущем. В 2024 году зафиксировано резкое увеличение притока воды в озеро Башкара, связанное с изменением направления подлёдных каналов стока талых вод с ледника Башкара. Риск нового прорыва не исключён.

- 2024 год в России был аномальным по количеству опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Количество ОЯ составило 1234 в целом по территории России и 493 нанесших значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. В 2024 году было зарегистрировано случаев ОЯ и комплексов метеорологических явлений (КМЯ) на 6% больше, чем в 2023 году. По сравнению с прошлым годом в 2024 году увеличилось: количество очень сильных осадков на 19%; очень сильного ветра на 4%; сильной жары и аномально жаркой погоды на 24 %; а также сильного гололеда на 48%. Уменьшилось только количество случаев града на 17%, заморозков на 5%, метелей и аномально холодной погоды на 42%.

По-прежнему наибольший ущерб хозяйству страны нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер, град, заморозки и чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в период с апреля по октябрь. Заморозки на Европейской части России были столь частыми и сильными, что вновь, как и в 2023 году, погибли завязи плодово-ягодных деревьев.

На территории СФО, ДФО и ЮФО зарегистрировано 55% всех ОЯ и КМЯ. По сравнению с 2023 годом в 2024 году количество ОЯ и КМЯ увеличилось: в ЦФО и ПФО на 40%, в УФО и СФО на 12%. В остальных федеральных округах количество ОЯ и КМЯ уменьшилось от 2 до 13%.

Наибольшая повторяемость ОЯ происходила в теплый период года (с мая по август) – 57%, что связано с активной конвекцией атмосферы.

- В целом радиационный режим 2024 года на территории России был близок к норме в весенний сезон и отличался преобладанием положительных аномалий прямой радиации в зимний и летний сезоны. Наиболее ярко это проявилось летом и особенно в августе, когда область положительных аномалий охватывала всю ЕЧР и северные районы 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 века наблюдается положительная тенденция в изменении прямой радиации. В Средней Сибири

сохраняется тенденция к снижению приходящей радиации, наметившаяся в начале XXI века, которая реализуется на фоне сильной межгодовой изменчивости.

- В 2024 году средняя годовая аномалия продолжительности солнечного сияния (ПСС) в целом для территории РФ - RS=102% с вероятностью P = 81%. для СЗФО RS=112% при P = 97% (среди четырех максимальных), для Севера ЕЧР и Западной Сибири RS=111% при P = 99% (среди трех максимальных).

Зимой 2023-2024 гг. в ЕЧР аномалия ПСС составляла RS=81% P= 5% (среди пяти минимальных), для большей части ЕЧР, Урала и севера Восточной Сибири ПСС была ниже нормы на 20-50%. В АЧР наблюдалась наибольшая положительная аномалия ПСС (RS= 104%, P= 84%), наибольшая величина аномалий ПСС наблюдалось на Чукотке и севере Камчатки (RS до 142% при P=100%, максимальная величина), а также на севере Восточной Сибири и Якутии (RS=130%, P=95%, среди пяти наибольших значений).

Весной 2024 года на территории РФ ПСС в пределах нормы (RS=100%, P=67%). Отклонения от нормы по территории страны не превышали по модулю 8%.

Летом на всей территории РФ наблюдались положительные аномалии ПСС (RS=106%, P=100%, максимальная величина в ряду). Средняя аномалия для ЕЧР составила RS=111% - среди трех максимальных, а для АЧР=102%.

Осенью (RS=99%, P=37%) на территории РФ не доставало солнечного сияния.

В целом на территории РФ наибольшие положительные аномалии отмечались в августе (RS=113%), особенно в ЕЧР (RS=122%). Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался в ноябре (RS=91%).

Изменения ПСС почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом, наблюдается на 75% станций. Средняя скорость роста ПСС для территории России в целом составляет 1,1%/10 лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию – 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 ЕЧР, за исключением южных районов; на АЧР, кроме восточных районов преобладали отрицательные аномалии среднегодовой скорости ветра, по абсолютной величине не превышающие 1 м/с. Средние скорости ветра выше 25 м/с отмечены в 15 пунктах (на арктическом побережье, Чукотке, юге Камчатки, западном побережье Охотского моря). На большей территории РФ число дней с сильным ветром не превышало 5 дней. Наибольшее число дней со средней скоростью ветра ≥15 м/с отмечалось на арктическом и тихоокеанском побережье страны.

Аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с на большей части территории России близки к 0. Наибольшая отрицательная аномалия числа дней с сильным ветром отмечалась на полярной станции Малые Кармакулы (архипелаг Новая Земля) и составила – 2,9 дней, а наибольшая положительная аномалия – на станции Караул (Таймырский АО) близ устья Енисея и составила +2,18 дня.

Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Башкортостан (Мраково) весной и летом – 0,54 м/с и 0,43 м/с за 10 лет соответственно. Наибольшая тенденция уменьшения скорости ветра отмечается в Невельске (Сахалинская обл., единственный пункт, где скорость ветра уменьшалась больше, чем на 1 м/с за 10 лет, во все сезоны).

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с статистически незначим на большей территории РФ.

Во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается. Скорости ветра уменьшаются для России в целом и во всех квази-однородных регионах, за исключением зимнего сезона в центре и на юге Восточной Сибири (район VI), весны и лета на Чукотке и севере Камчатки (район III). Изменения числа дней с ветром более 15 м/с на значительной части квазиоднородных регионов незначимы, а значимые

коэффициенты линейного тренда имеют отрицательные значения. Наиболее заметна тенденция уменьшения количества таких дней на юге Европейской части России – 1,46 дней/10 лет.

• В 2024 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались над Белым морем, на юге Хабаровского края и над Приморским Краем. Наибольшие отрицательные (до -2 м/с) – на отдельных станциях на юге ЕЧР и на северо-востоке Сибири. В отдельные сезоны в некоторых регионах аномалии скорости ветра превышали 3 м/с: зимой – над Астраханской областью и на юге Дальнего Востока, весной – на севере ЕЧР, осенью – на севере ЕЧР и на юге Сибири и Дальнего Востока. Наибольшие отрицательные аномалии наблюдались зимой на Юге России и осенью на юго-западе Сибири. Направление ветра в целом за год соответствовало климатическому. Весной и летом над восточной частью ЕЧР наблюдался северо-западный ветер. Также летом северо-западный ветер наблюдался на северо-востоке Сибири.

В нижней стратосфере в среднем за год в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Большие положительные аномалии скорости ветра наблюдались зимой южнее 60 с.ш., а отрицательные – весной на севере Уральских гор и Чукотки. Над всей территорией России они не превышали 2 м/с по абсолютному значению. В среднем за год и в отдельные месяцы направление ветра в целом соответствовало климатическому. Летом над ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра, а также аномально выраженное северное направление ветра на севере Дальнего Востока.

• Увеличение концентрации как CO_2, так и CH_4 в 2024 г. продолжается.

Среднегодовое значение концентрации CO_2 на станции Териберка достигло значения 426,2 млн$^{-1}$, а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили 433 млн$^{-1}$. Снизившиеся в период 2022-2023 гг. темпы роста концентрации CO_2 стали вновь выше среднеглобальнного значения, составив 2,8 млн$^{-1}$/год для периода 2023-2024 гг.

На станциях, подверженных влиянию региональных источников, значения концентрации CO_2 также достигли новых максимумов (428,9 млн$^{-1}$; 433,9 млн$^{-1}$; 436 млн$^{-1}$; 457,9 млн$^{-1}$для станций Новый Порт, Воейково, Обнинск и Приокско-Террасный Биосферный Заповедник, соответственно).

Рост концентрации CH_4 также продолжается, однако рекордные изменения, наблюдавшиеся в 2019-2022 гг., сменились по данным станции Териберка незначительным увеличением в 2023 г. (4,7 млрд$^{-1}$/год) и близким к среднеглобальным значениям в 2024году (9,8 млрд$^{-1}$/год), при этом среднегодовая концентрация на станции Териберка достигла значения 2032 млрд$^{-1}$. На станциях, подверженных влиянию региональных источников, концентрации CH_4 близки к значению 2100 млрд$^{-1}$.

Тренды концентрации парниковых газов для разных станций, в том числе и подверженных региональным источникам, не сильно отличаются от среднеглобальных значений. 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 11 млрд$^{-1}$, 2,3 млн$^{-1}$ и 1,2 млрд$^{-1}$ в год для CH_4, CO_2, и N_2O соответственно.

• Над территорией Российской Федерации в 2024 году преобладали повышенные значения общего содержания озона. Во втором и третьем кварталах практически над всей территорией РФ среднемесячные значения ОСО были на 5-10% выше средних многолетних значений. В июне, августе и ноябре над территорией России наблюдались положительные аномалии ОСО. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2024 году для всех анализируемых станций лежали в интервале от -7 до +11 %. Практически весь 2024 год (исключение составили дни с 3 по 9 февраля, с 30 ноября по 9 декабря, 15, 17-27 декабря) полярный арктический озон превышал средние многолетние значения 1979-2023 гг.

и 61 раз достигал аномально больших величин. Полярный антарктический озон большую часть года также был выше средних многолетних значений.

• Данные лидарных измерений стратосферного аэрозоля демонстрируют изменчивость его параметров, обусловленную, в первую очередь, нерегулярной последовательностью вулканических извержений взрывного характера. В последние несколько лет наблюдается увеличение оптической толщины сернокислотного аэрозоля в стратосфере. В то же время средняя оптическая толщина перистых облаков демонстрирует тенденцию к снижению. При этом вероятность их появления носит вариативный характер. Отмеченные особенности изменений параметров перистых облаков относятся к отдельно взятому пункту измерений (г. Обнинск). Происходящие изменения требуют дополнительного анализа и изучения, а также указывают на необходимость продолжения мониторинга стратосферного аэрозоля с увеличением числа функционирующих лидарных станций.

• Зимой повторяемость всех форм облаков, за исключением Cc, Ac, Cb и Sc, была ниже климатической нормы. Летом отмечены положительные аномалии повторяемости всех облаков верхнего яруса, кучево-дождевых и слоисто-кучевых, причем аномалия повторяемости слоисто-кучевых облаков стала второй в ранжированном ряду; а отрицательные аномалии облаков среднего яруса (высококучевые Ac, высокослоистые As, кучевые Cu) летом стали рекордными за период с 1985 года.

2024 год для России в целом стал 3-м в ряду ***среднего балла общей*** и ***нижней облачности*** с 1985 года. На Чукотке и севере Камчатки, центре ЕЧР, Дальнем Востоке, Саянах положительная аномалия года стала рекордной по общей и нижней облачности.

Очень малооблачными были ***лето*** и ***осень*** на Европейской территории, где в течение длительного периода преобладал антициклональный характер погоды. ***Средний балл общей и нижней облачности*** оказался ниже климатической нормы. На севере ЕЧР и Западной Сибири ***лето*** 2024 года стало самым малооблачным с 1985 года.

По ***общей облачности*** весной сезонные аномалии для России, регионов Север ЕЧР и Западной Сибири, Центр и юг Западной Сибири, Алтай и Саяны стали рекордными.

По ***нижней облачности*** весенние аномалии во всех районах (кроме: Чукотка и север Камчатки, Центр ЕЧР, юг ЕЧР) вошли в тройку наибольших значений в ранжированном ряду по убыванию с 1985 года, а в Центре и юге Западной Сибири, Дальнем Востоке стали рекордными.

По общей облачности на северо-западе и в центре ЕТР, в Забайкалье, Амурской области, северных районах Якутии наблюдались отрицательные аномалии числа пасмурных дней (максимальная положительная годовая аномалия числа пасмурных дней (222 дня) отмечена в Змеиногорске Алтайского края), а наибольшая по абсолютной величине отрицательная (61 день) – в Бабушкине Республики Бурятия).

Число пасмурных дней ***по нижней облачности*** превысило климатическую норму на юго-западе и юге ЕЧР, на большей части АЧР.

Во все сезоны значительные площади занимают области, где ***средний балл общей облачности*** не меняется. Коэффициенты линейного тренда, как положительные, так и отрицательные, во все сезоны невелики и составляют 0.2-0.7 балла/10 лет.

Тенденция увеличения ***среднего балла общей облачности*** ярко выражена ***зимой*** / в северных и западных районах Европейской территории, в Забайкалье, на Камчатке, Сахалине и в северо-восточных районах Якутии, ***весной*** на Урале и в Западной Сибири. При региональном осреднении наибольшие значимые коэффициенты линейного тренда получены ***зимой*** в I квази-однородном районе (север ЕЧР и Западной Сибири) и ***весной*** в III районе (Чукотка и север Камчатки).

На большей части страны ***весной*** и ***осенью*** выявлена тенденция увеличения ***среднего бала нижней облачности***, коэффициенты линейного тренда составляют 0,2-0,6 балла/10 лет. Тенденция уменьшения среднего балла нижней облачности выявлена весной в северо-западных, а осенью – в южных и юго-западных областях ЕЧР.

Во все сезоны преобладают территории, где число ***пасмурных дней по общей облачности*** практически не меняется. Тенденция увеличения пасмурных дней по общей облачности выявлена ***зимой*** на западе и севере ЕЧР, севере Западной Сибири, ***весной*** – на большей части Западной Сибири и Южном Урале, ***осенью*** – в центральных областях ЕЧР, на юге Западной Сибири, на побережье морей Карского и Лаптевых, а также на Камчатке.

- Выявленная для всех рассмотренных природных фенологических явлений закономерность – смещение средних многолетних значений дат наступления весенних и летних явлений с юга на север на более поздние сроки и обратное направление для осенних явлений свидетельствует о едином обусловливающим климатическом факторе. В первую очередь это характер распределения поступающей от Солнца энергии по широтам и по времени года, который определяет и сходный режим функционирования живой природы.

Наступление весенне-летних явлений за 1991–2024 гг. практически по всей рассматриваемой территории смещается на более ранние сроки. Полное пожелтение листвы смещается на поздние сроки и, соответственно, возрастает продолжительность периода вегетации. Таким образом, тенденции изменений сроков наступления сезонных явлений у рассмотренных видов отражают общую положительную реакцию биоты на потепление. Пространственная неоднородность фенологических реакций на изменения климата может определяться как наличием локальных адаптаций в популяционной структуре видов, так и физико-географическими особенностями территорий, а также особенностями экологии биологических видов.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение	Полное название
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
ОСО	Общее содержание озона
ОЯ	Опасные гидрометеорологические явления
п.	поселок
ПГ	Парниковые газы
пгт.	поселок городского типа
п-ов	полуостров
ПСС	Продолжительность солнечного сияния
ПТБЗ	Приокско-Террасный биосферный заповедник
ПТВ	Приповерхностная температура воздуха
ПФО	Приволжский федеральный округ
р.	река
рп.	рабочий поселок
с.	село
СГДМ	сумма градусодней мороза
СЗФО	Северо-Западный федеральный округ
СКФО	Северо-Кавказский федеральный округ
СЛО	Северный Ледовитый океан
СМП	Северный морской путь
СТС	Сезонно-талый слой
ст-ца	станица
СФО	Сибирский федеральный округ
ТПО	температура поверхности океана
УГМС	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
УФО	Уральский федеральный округ
ч	час (в разделе 12)
ЦФО	Центральный федеральный округ
ЮФО	Южный федеральный округ
CALM	Circum Polar Active-Layer Monitoring
TSI	светимость Солнца