ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗА 2021 ГОД

Москва, 2022 г.

УДК 551.5
ББК 26.2
Д 63

Д 63 Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. – Москва, 2022. – 104 стр.

ISBN 978-5-906099-58-7

В Докладе представлены результаты мониторинга климата Российской Федерации за 2021 г., выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе. Приводятся данные о наблюдавшихся в 2021 г. аномалиях различных климатических переменных, об агроклиматических условиях и опасных гидрометеорологических явлениях года, а также о тенденциях современных изменений климата на территории России, в Северной полярной области и над Северным полушарием (температура свободной атмосферы). Доклад является официальным изданием Росгидромета.

УДК 551.5
ББК 26.2

© Росгидромет, 2022

RUSSIAN FEDERAL SERVICE FOR HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING
(ROSHYDROMET)

A REPORT
ON CLIMATE FEATURES
ON THE TERRITORY
OF THE RUSSIAN FEDERATION
IN 2021

Moscow, 2022

Настоящий ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ», головной)	М.Ю. Бардин, С.А. Громов, Е.Н. Козлова, Т.В. Платова, Э.Я. Ранькова, О.Ф. Самохина
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»)	Г.В. Алексеев, Е.И. Александров, Н.Е. Иванов, В.Ф. Радионов, В.М. Смоляницкий
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)	Т.В. Дементьева, С.Г. Давлетшин, Н.Н. Коршунова, Л.К. Клещенко, А.С. Лавров, А.М. Стерин, А.В. Хохлова, А.Б. Шерстюков
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии» (ФГБУ «ВНИИСХМ»)	А.Д. Клещенко Н.М. Аржанова 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
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
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
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)	Т.Р. Жемчугова

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

СОДЕРЖАНИЕ **Стр.**
TABLE OF CONTENTS

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО……...…… 6
OPENING ADDRESS

ВВЕДЕНИЕ ……...…….…..... 8
INTRODUCTION

1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА ……..……..… 11
SURFACE AIR TEMPERATURE

2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ ……...….…. 18
PRECIPITATION

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2019/2021 гг. ….…….……..……. 26
SNOWCOVER IN WINTER 2019/20

4. ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ……... 33
GLAZE-ICE AND RIME DEPOSITION

5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ ….……....…… 38
NORTH POLAR REGION

6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА ……..……. 47
PERMAFROST

7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ …….……..…..... 50
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS

8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ……..……... 54
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS

9. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ...……..…….. 57
SOLAR RADIATION

10. ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА В 1957-2020 ГГ..... 62
DYNAMICS OF GLACIERS OF THE CENTRAL CAUCASUS IN 1957-2020

11. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ……..……... 65
SUNSHINE DURATION

12. ТЕМПЕРАТУРА В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ…….…….…….. 75
TEMPERATURE IN FREE ATMOSPHERE

13. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА……..….. 81
WIND

14. ВЕТЕР В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ …….…….….. 85
WIND IN FREE ATMOSPHERE

15. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ ……... 90
GREENHOUSE GASES

16. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ …….…..…… 95
SOIL TEMPERATURE

17. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ ..…….…….……..…...… 97
OZONE LAYER

ВЫВОДЫ ……..……..…….. 101

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ…...……..…..… 109

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Последние десятилетия прошли под знаком глобальной проблемы, вставшей перед человечеством в результате индустриальной революции: потепления, связанного с изменением концентрации парниковых газов в атмосфере при сжигании ископаемого топлива. Важной особенностью глобального потепления является его пространственная и сезонная неоднородность: так, скорость роста среднегодовой температуры на территории Российской Федерации после середины 1970-х почти втрое превышает среднюю по земному шару, а весеннее потепление в Западной Сибири втрое быстрее, чем зимнее. Изменения климата потенциально характеризуются как негативными последствиями (рост частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений; деградация вечной мерзлоты с последующим нарушением построенных на ней объектов; увеличение ареала насекомых-вредителей и др.), так и позитивными (увеличение вегетационного периода и теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, продолжительности навигации в районе Северного морского пути, и др.).

Чтобы успешно ориентироваться в этой проблеме и решать возникающие задачи, необходима надежная и своевременная информация о состоянии и изменениях климата. Представленные в настоящем Докладе оценки аномальности текущего состояния и тенденций изменения характеристик климатической системы на территории Российской Федерации получены по данным Государственной наблюдательной сети, осуществляющей гидрометеорологические наблюдения на территории страны и являющейся основой мониторинга климата РФ. Некоторые характеристики, охватывающие в целом Северное полушарие (температура и ветер в свободной атмосфере) или Северную полярную область, используют данные Глобальной наблюдательной сети, принимаемые и обрабатываемые учреждениями Росгидромета.

Результаты анализа данных и выводы о состоянии и изменении климата составляют информационную основу государственной политики в области климата, в том числе, для выявления климатической уязвимости и выработки мер по адаптации, базу для формирования позиции Российской Федерации в международном переговорном процессе по климатической повестке и для подготовки материалов, необходимых для выполнения обязательств Российской Федерации по линии ВМО и РКИК ООН. Данные мониторинга

климата широко используются при подготовке документов, связанных с природоохранной деятельностью. Результаты мониторинга климата, создаваемые и регулярно обновляемые в его рамках базы данных наблюдений и обобщенных климатических характеристик, играют важную роль в научных исследованиях климатической изменчивости и антропогенных изменений климата, валидации физико-математических моделей климатической системы, используемых для сценарных прогнозов изменения климата.

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, экономики, 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 2021 г. В частности, приводятся данные о климатических аномалиях температуры и осадков, об особенностях режима солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния, агроклиматических условий, о состоянии снежного покрова, о сроках вскрытия и замерзания рек, об экстремальных погодных и климатических явлениях. Представлены данные о современном состоянии вечной мерзлоты и озонового слоя, о тенденциях изменения содержания в атмосфере двуокиси углерода и метана. Рассмотрены особенности климатических условий в Северной полярной области и Северном Ледовитом океане. Добавлены сведения о наблюдавшихся в теплый период засухах. Данные приводятся для различных масштабов временного и пространственного осреднения (в целом за год и по сезонам) поля локальных значений и их региональные обобщения).

Для характеристики климатических изменений в Докладе приводятся временные ряды климатических переменных (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова, протяженность морского льда и др.) за достаточно длительный период времени (как правило, несколько десятилетий), заканчивающийся 2021 г. Временные ряды приводятся, в основном, для средних годовых и сезонных аномалий рассматриваемых величин, осредненных по всей территории России и по территории избранных физико-географических регионов: рисунок 1, федеральных округов (ФО): рисунок 2, квази-однородных климатических регионов: рисунки 3, 4 и границы районов СПО: рисунок 5.

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 1961-1990 гг.; в некоторых случаях, когда это было по тем или иным причинам нецелесообразно или невозможно, выбор базового периода специально оговорен в тексте). В качестве дополнительных характеристик аномалий используются показатели, основанные на функции распределения (вероятности непревышения, процентили) и порядковые статистики (ранги, т.е. порядковые номера в упорядоченном ряду значений); периоды для оценки этих статистик специально оговариваются в каждом случае.

Рисунок 2 – Федеральные округа Российской Федерации.

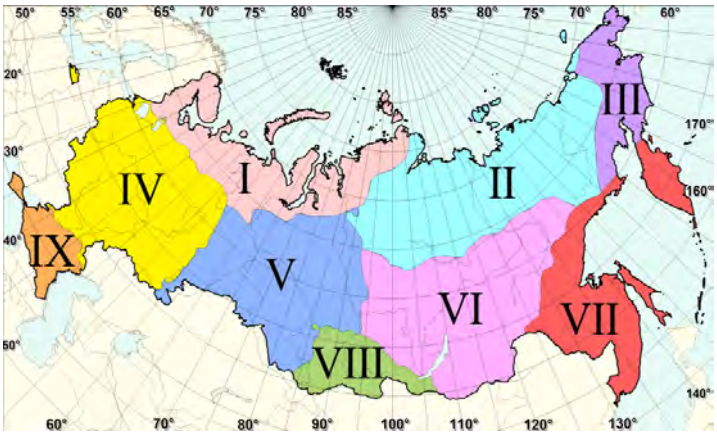


Рисунок 3 – Квази-однородные климатические регионы (используются в разделах: «Снежный покров», «Продолжительность солнечного сияния», «Режим приземного ветра»): **I** – Север ЕЧР и Западной Сибири, **II** – Северная часть Восточной Сибири и Якутии, **III** – Чукотка и север Камчатки, **IV** – Центр ЕЧР,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

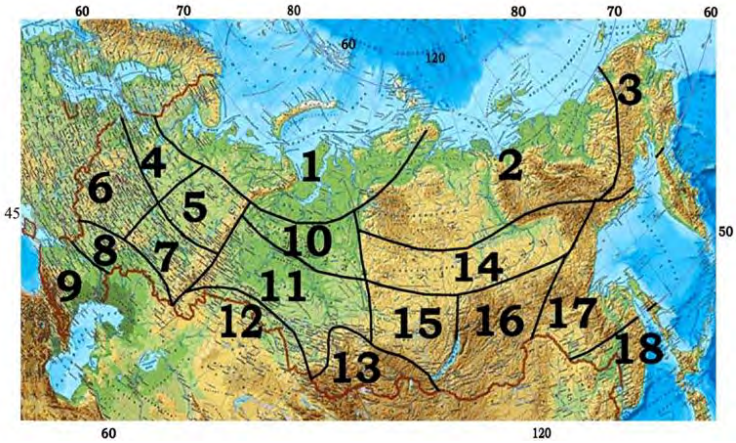


Рисунок 4 – Квази-однородные климатические регионы (используется в разделе «Гололедно-изморозевые отложения на территории России»): 1, 2, и 3— атлантическая, сибирская и тихоокеанская Арктика, соответственно; 4, 5, 6, 7, и 8— северо-запад, северо-восток, юго-запад. юго-восток и степная часть Восточно-Европейской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

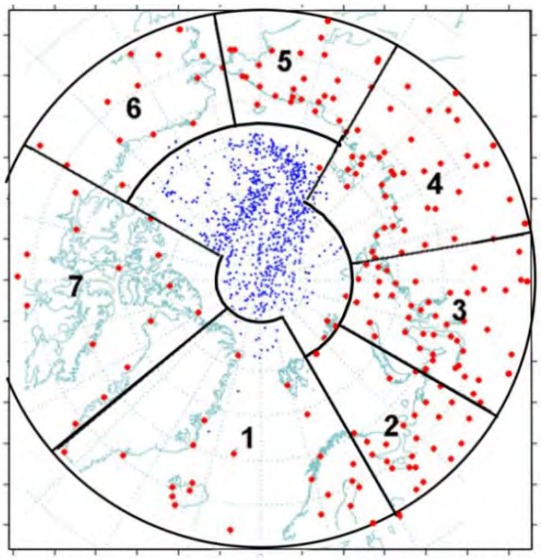


Рисунок 5 – Положение метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) в СПО и границы рассматриваемых районов:

1 – Атлантический
2 – Североевропейский
3 – Западносибирский
4 – Восточносибирский
5 – Чукотский
6 – Аляскинский
7 – Канадский.

Доклады за предыдущие годы представлены на Интернет-сайте Росгидромета http://www.meteorf.ru и ФГБУ «ИГКЭ»: http://climatechange.igce.ru. Дополнительная информация о состоянии климата на территории России и бюллетени оперативного мониторинга климата регулярно размещаются на веб–сайтах НИУ Росгидромета: ФГБУ «ИГКЭ» (http://climatechange.igce.ru/), ФГБУ «ААНИИ» (http://www.aari.ru/main.php), ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (http://www.meteo.ru/climate), ФГБУ «ВНИИСХМ» (http://www.agromet.ru), ФГБУ «Гидрометцентр России» (http://meteoinfo.ru), ФГБУ «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://climatechange.igce.ru, архив T3288), из которых 577 станций расположены на территории России. Приводятся оценки показателей аномальности текущего состояния и изменений климата в точках расположения станций и региональные обобщения для России и регионов (рисунки 1-5 Введения) для календарных сезонов и года (январь-декабрь); месячные аномалии анализируются для детализации. Более подробная информация, включая данные для всех месяцев, доступна в сезонных бюллетенях на http://climatechange.igce.ru. Осреднение станционных аномалий по площади выполняется с весами, учитывающими неравномерную плотность сети (обратно пропорциональными плотности в окрестности станции). Выделены станции с экстремальными значениями температуры: ниже 5-го 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 1936-2020 гг. Ранги приведены для ряда 1936-2021 гг.

Особенности температурного режима в 2021 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.

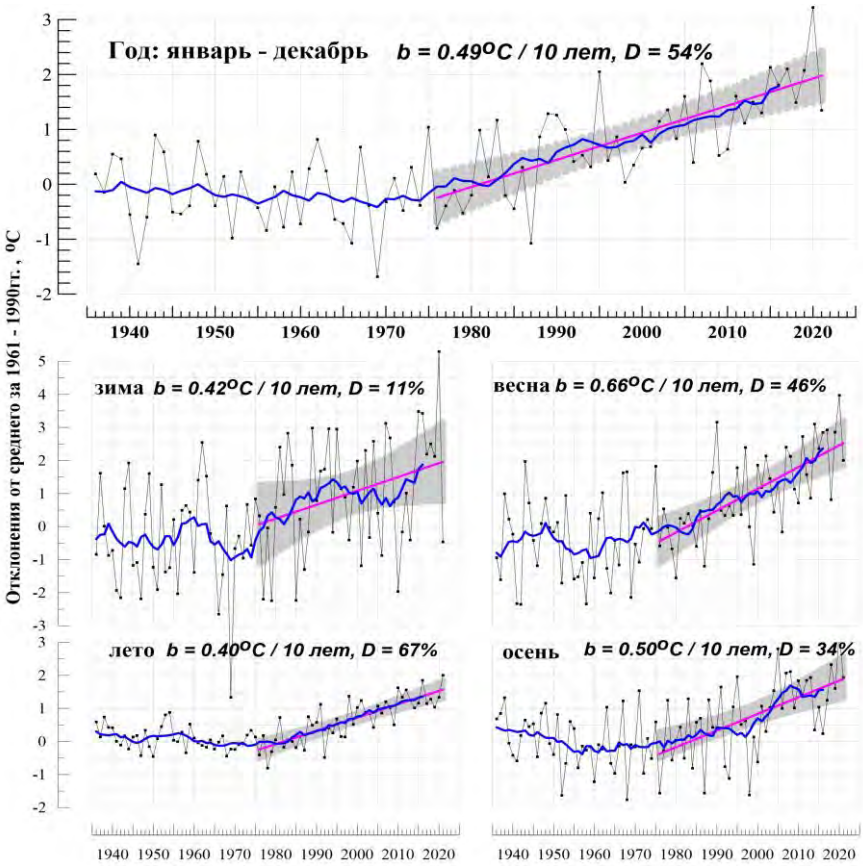


Рисунок 1.1 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха (°C), осредненные по территории России, 1936-2021 гг.
Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Показаны также 11–летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976-2021 гг. с 95%-й доверительной полосой; b - коэффициент тренда (°C/10 лет), D% – вклад тренда в суммарную дисперсию.

2021 год для России в целом занял 15-е место в ранжированном по убыванию ряду среднегодовых температур с 1936 года, аномалия среднегодовой температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-90 гг.) составила +1.35°C. Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны (кроме Чукотки). Доля площади страны с аномалиями более 80-го процентиля составила 54%. 95%-е экстремумы отмечены на юге ЕЧР и ДФО (средняя по Приамурью и Приморью аномалия 1.69°C – ранг 5).

Аномально теплым сезоном было лето: осредненная по РФ аномалия температуры составила +2.00°C – максимальная величина в ряду. Также самой теплой была АЧР (+1.66°C), а ЕЧР

с аномалией +2.92ºС – ранг 2.

Аномальное летнее тепло компенсировалось холодной ***зимой 2020/21 гг.*** средняя по России аномалия составила -0.46ºС. Температуры ниже нормы наблюдались в центре и на востоке ЕЧР, в центральных районах АЧР, наиболее холодные условия сложились в Западной Сибири (осредненная по региону аномалия составила -2.38ºС).

Температуры выше нормы наблюдались лишь в узких зонах на западе и юге ЕЧР, на юге АЧР, на азиатском побережье Северного Ледовитого океана.

Декабрь 2020 г. Средняя по РФ аномалия температуры составила +0.51ºС. Температуры выше климатической нормы наблюдались в северных районах страны (аномалии более +3ºС), Крупные области температур ниже нормы сформировались в ЮФО и ПФО (до -5ºС и ниже) на востоке УФО и западе СФО, в Хабаровском крае.

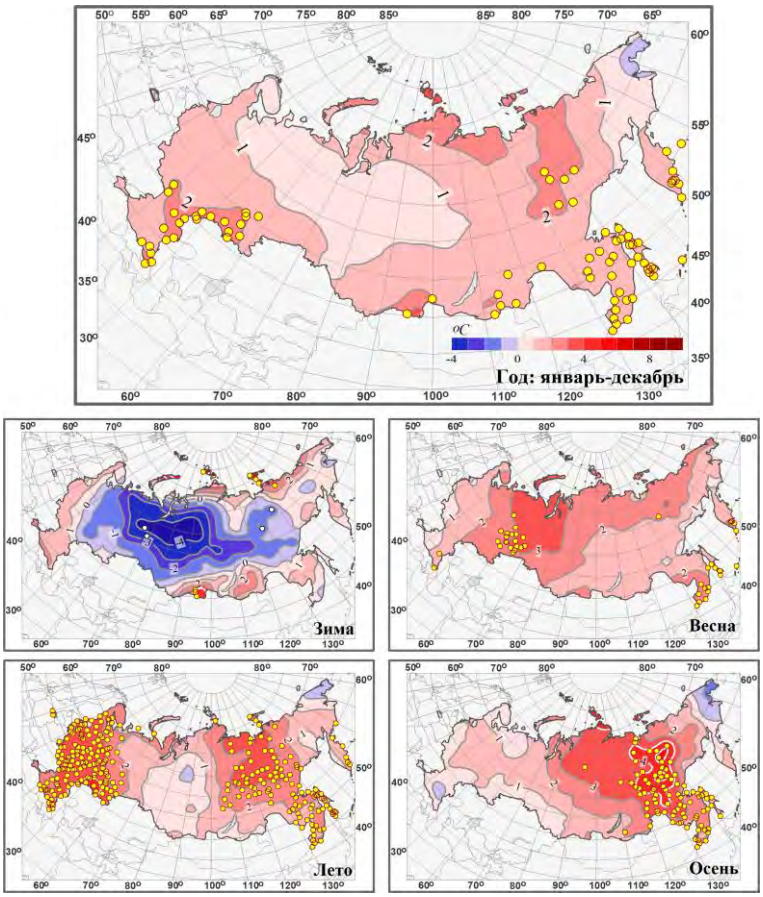


Рисунок 1.2 – Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2021 г. (отклонения от средних за 1961-1990 гг.) с указанием локализации 95%-х экстремумов (желтые кружки).

Январь. Осредненная в целом по России аномалия температуры составила -1.28ºС – самый холодный январь последнего десятилетия, Набольшей части АЧР (кроме Таймыра, Саян и Забайкалья) и на северо-востоке ЕЧР наблюдались температуры ниже климатической нормы (аномалии до -7-8ºС), при этом на многих станциях Урала, Якутии, Хабаровского края температуры были ниже 5-го процентиля (рисунок 1.3).

На большей части ЕЧР аномалии температуры были положительными, на станциях юга ЮФО и СКФО отмечались 95% экстремумы температуры (аномалии до +5.8ºС).

Февраль. Осредненная в целом по России аномалия температуры составила -0.62ºС, по ЕЧР -3.20ºС (последний раз так холодно было в феврале 2012 года) с аномалией -3.18ºС). Температуры ниже нормы наблюдались от западных границ (не захватывая южные округа ЕЧР) до течения Лены. На многих станциях севера ЕЧР фиксировались 5%-е экстремумы холода, осредненная по СЗФО аномалия температуры -5.69ºС – среди пяти самых холодных февралей в ряду (рисунок 1.3).

Температуры выше нормы наблюдались на юге ЕЧР, на юге СФО и на большей части ДФО.

Весной средняя по РФ аномалия составила +2.00ºС (ранг 13). На всей территории страны температуры были выше климатической нормы. Экстремально тепло (аномалии температуры выше +3ºС, на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) на Южном Урале, в Приморье, на юге Камчатки3цц2.

В марте средняя по РФ аномалия составила +1.25ºС. Температуры ниже климатической нормы наблюдались на востоке ЕЧР и, далее, на севере Западной Сибири и на севере Средней Сибири, на Чукотке (на Таймыре аномалии достигали -4.5ºС).

Температуры выше климатической нормы наблюдались на западе и в центре ЕЧР, в центре и на юге АЧР. Экстремально теплые условия сложились лишь в Приамурье и Приморье, где на большинстве станций фиксировались 95%-е экстремумы, аномалии на станциях до +5.6ºС).

Таблица 1.1 – Средние годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2021 г. ***vT*** – отклонения от средних за 1961-1990 гг.; ***s*** – среднее квадратическое отклонение за 1961-1990 гг. Красной заливкой выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранг 1, 2 или 3), розовой – имеющие ранг 4 или 5.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT, ºC	*s, ºC*	*vT, ºC*	*s, ºC*	*vT, ºC*	s, ºC	*vT, ºC*	*s, ºC*	*vT, ºC*	*s, ºC*
Россия	1.35	*0.76*	-0.46	*1.81*	2.00	*1.20*	**2.00**	*0.34*	1.94	*0.90*
Физико-географические регионы										
ЕЧР	1.34	*0.96*	-0.16	*2.35*	1.95	*1.45*	**2.92**	*1.01*	0.88	*1.04*
АЧР	1.35	*0.80*	-0.57	*1.86*	2.01	*1.86*	**1.66**	*0.34*	2.33	1.09
Западная Сибирь	0.92	*1.09*	-2.38	*2.92*	2.97	*1.65*	1.04	*0.80*	1.35	*1.53*
Средняя Сибирь	1.30	*1.14*	-1.62	*2.81*	1.77	*1.69*	**2.10**	*0.65*	**3.35**	*1.82*
Прибайкалье и Забайкалье	1.71	*0.76*	1.32	*1.80*	1.48	*1.36*	1.34	*0.54*	2.12	*1.20*
Приамурье и Приморье	**1.69**	*0.81*	0.64	*1.51*	1.70	*1.17*	**1.98**	*0.72*	**2.63**	*0.89*
Восточная Сибирь	1.44	*0.62*	0.54	*1.37*	1.80	*1.24*	**1.81**	*0.53*	2.16	*0.94*
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	0.86	*1.19*	-0.91	*2.82*	2.48	*1.62*	**2.41**	*1.22*	0.98	*1.28*
Центральный	1.50	*1.05*	0.77	*2.72*	1.18	*1.69*	**3.42**	*1.21*	1.09	*1.13*
Приволжский	1.70	*1.02*	-0.69	*2.58*	2.16	*1.68*	**3.33**	*1.18*	1.02	*1.27*
Южный	1.83	*0.88*	1.44	*2.08*	1.05	*1.48*	**3.12**	*1.03*	0.39	*1.04*
Северо-Кавказский	1.72	*0.69*	1.83	*1.63*	1.32	*0.99*	**2.84**	*0.78*	0.11	*0.89*
Уральский	0.90	*1.16*	-2.85	*3.09*	3.34	*1.79*	1.47	*1.02*	1.56	*1.65*
Сибирский	1.14	*1.04*	-0.67	*2.53*	1.99	*1.54*	1.02	*0.52*	2.05	*1.61*
Дальневосточный	1.58	*0.71*	0.18	*1.43*	1.70	*1.22*	**2.05**	*0.44*	**2.65**	*0.98*

Апрель. Средняя по РФ аномалия составила +2.29ºС. На всей территории страны (кроме юга Якутии и некоторых районов Приамурья) температуры были выше климатической нормы. Аномальное тепло (на большинстве станций фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдалось на севере ЕЧР (осредненная по СЗФО аномалия составила +4.07ºС – пятая величина в ряду).

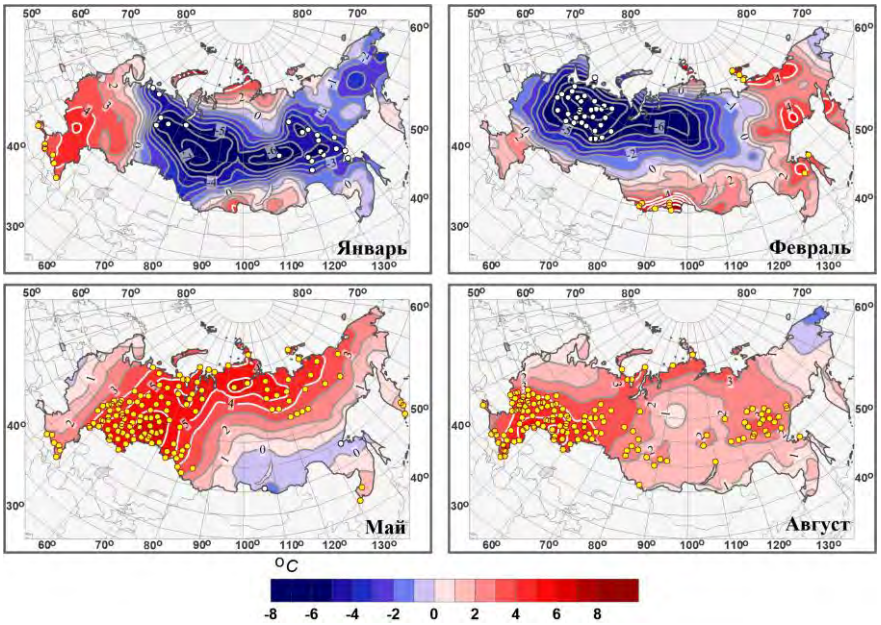


Рисунок 1.3 – Аномалии температуры приземного воздуха на территории России в январе, феврале, мае и августе 2021.

Май. Средняя по РФ аномалия составила +2.44ºС – вторая величина в ряду. Осредненная по ЕЧР аномалия температуры составила +2.98ºС (ранг 2), по АЧР: +2.24ºС (ранг 5). Температуры

выше климатической нормы наблюдались на большей части страны. Крупные очаги аномалии тепла сложились на востоке ЕЧР, на Урале (ПФО: +3.90ºС — максимум в ряду; УФО: +3.99ºС, ранг 2), и на западе Сибири, а также на севере АЧР (рисунок 1.3).

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в районе Байкала и в бассейне Амура (аномалии до -2ºС).

Лето было рекордно теплым: осредненная по РФ в целом аномалия температуры составила +2.00ºС, также рекордная аномалия в АЧР: +1.66ºС, а в ЕЧР +2.92ºС, ранг 2. 95%-е экстремумы отмечались на большей части ЕЧР (кроме северо-востока), на юге Западной Сибири, в западных областях ДФО (средняя по ДФО аномалия +2.05ºС – ранг 3). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на Чукотке (аномалии до -0.9ºС).

Во все месяцы сезона наблюдались обширные области с экстремальными температурами (в ЕЧР и в ДФО во все месяцы сезона, в Западной Сибири – в августе).

Июнь. Осредненная по РФ аномалия температуры составила +2.32ºС – вторая величина в ряду.

Температуры на 2-3ºС выше климатической нормы (на станциях повсеместно отмечались 95%-е экстремумы) наблюдались в ЕЧР (+3.59ºС – рекордная величина в ряду регионально осредненных аномалий, температуры в СЗФО, ЦФО, ПФО – среди четырех самых высоких в соответствующих рядах), и к востоку от реки Енисей (аномалия температуры, осредненная по ДФО: +2.71ºС – рекордная величина в ряду). Аномалии связаны с малоподвижными областями антициклонической циркуляции, сформировавшимися на юге ЕЧР — Урала и на востоке АЧР во второй половине месяца.

Температуры ниже климатической нормы наблюдались в южной половине Сибири (аномалии до -1.3ºС на Алтае и в предгорьях Саян).

В ***июле*** осредненная по РФ аномалия температуры составила +1.57ºС – третья величина в ряду. Экстремальные температуры (95%-е экстремумы) отмечались на западе и юге ЕЧР (в ЮФО аномалия температуры составила +3.33ºС (ранг 4)), а в АЧР (+1.36ºС – ранг 4) – всюду восточнее 90º в. д. (кроме части Чукотки). В среднем по ДФО аномалия температуры составила +1.99ºС (ранг 4). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке ЕЧР и, далее, в нижнем и среднем течении Оби и Енисея.

Август. Осредненная по РФ аномалия температуры составила +2.11ºС: максимум в ряду; в АЧР также максимум – +1.76ºС, а в ЕЧР – +3.03ºС – пятая величина в ряду. Экстремальные температуры (95%-е экстремумы) отмечались в центре и на юге ЕЧР, в центральных районах СФО и ДФО. Во всех федеральных округах ЕЧР, кроме СЗФО, и в Западной Сибири региональные аномалии температуры были среди пяти самых крупных, экстремальные аномалии в ЕЧР и на востоке АЧР определялись блокирующими антициклоническими режимами, сформировавшимися в начале месяца и просуществовавшими почти три недели

Температуры ниже климатической нормы наблюдались на северо-востоке страны (аномалии до -1.8ºС) (рисунок 1.3).

Осень. Средняя по РФ аномалия составила +1.94ºС – 7-8-я величина в ряду. Положительные аномалии наблюдались всюду на территории страны, кроме крайнего северо-востока страны и предгорий Кавказа. Аномально тепло (на большинстве станций фиксировались 95%-е экстремумы) было в восточной части ДФО (в целом по округу аномалия +2.65ºС – ранг 3, станционные аномалии выше 2ºС), а также в центре ЕЧР (аномалии здесь около 2ºС).

Сентябрь. Средняя по РФ аномалия составила +0.42ºС. Отрицательные аномалии температуры наблюдались в ЕЧР, на юге Западной и Средней Сибири, на северо-востоке страны. Температуры выше климатической нормы наблюдались на севере Западной и Средней Сибири, в течении Лены, в Приамурье и Приморье (региональная аномалия +1.99ºС – ранг 5, на многих станциях зафиксированы 95%-е экстремумы температуры).

Октябрь. Средняя по РФ аномалия составила +2.27ºС. Теплее климатической нормы было на большей части страны (кроме юга ЕЧР и северо-востока страны). На многих станциях центра АЧР фиксировались 95%-е экстремумы, осредненная по региону Средняя Сибирь аномалия составила +4.43ºС – пятая величина в ряду.

Ноябрь. Средняя по РФ аномалия составила +3.33ºС – шестая величина в ряду. Экстремально тепло (аномалии до +9ºС, повсеместно фиксировались 95%-е экстремумы) в ДФО (в целом по округу аномалия +4.70ºС – ранг 2). Очень теплые условия (аномалии выше +2ºС) наблюдались также в СФО и в центре ЕЧР. Температуры ниже климатической нормы наблюдались лишь на Чукотке и в Мурманской области.

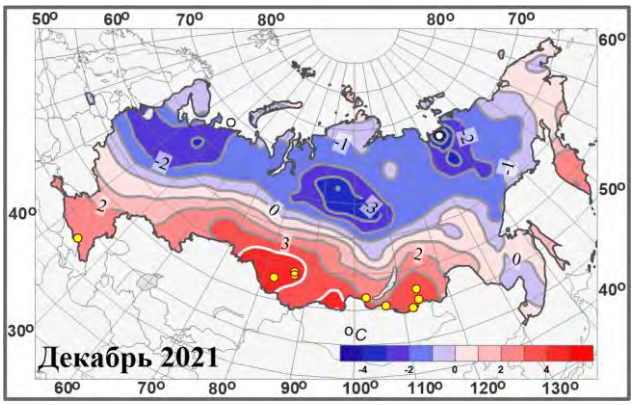


Рисунок 1.4 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2021 г.

Декабрь 2021 г. (рисунок 1.4). Средняя по РФ аномалия составила +0.21ºС. Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге страны, особенно на юге Красноярского края и в Забайкалье (до +6ºС). Холодно было на севере страны (аномалии на севере ЕЧР до -4.0ºС, на Среднесибирском плоскогорье (до – 6.2ºС), на побережье Восточно-Сибирского моря (до -9.7ºС).

Тенденции изменений температуры воздуха

Региональные оценки трендов, полученные по временным рядам пространственно осредненных аномалий температуры за 1976-2021 гг., приведены в таблице 1.2 для всех рассматриваемых регионов: территория России, физико-географические регионы, федеральные округа.

Таблица 1.2 – Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за год и по сезонам по территории России, её регионов и федеральных округов за 1976-2021 гг.: *b* – коэффициент линейного тренда (ºС/10 лет), *D* - вклад тренда в дисперсию (%); цветом выделены тренды, не значимые на 1%-м уровне.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*	*b*	*D*
Россия										
Россия	0.49	54	*0.42*	*11*	0.66	46	0.40	67	0.50	34
Физико-географические регионы										
ЕЧР	0.53	51	0.64	14	0.46	27	0.50	38	0.53	30
АЧР	0.48	50	*0.34*	*7*	0.73	45	0.37	67	0.50	29
Западная Сибирь	0.39	25	*0.24*	*1*	0.78	31	0.25	14	*0.31*	*7*
Средняя Сибирь	0.56	39	*0.45*	*5*	0.85	39	0.46	49	0.49	14
Прибайкалье и Забайкалье	0.41	39	*0.30*	*4*	0.64	33	0.45	49	*0.27*	*9*
Приамурье и Приморье	0.38	49	*0.39*	*12*	0.42	25	0.25	22	0.45	31
Восточная Сибирь	0.57	60	*0.32*	*10*	0.76	42	0.41	53	0.82	52
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	0.55	41	*0.77*	*13*	0.49	20	0.42	30	0.55	25
Центральный	0.59	50	0.76	16	0.45	21	0.59	35	0.57	30
Приволжский	0.48	41	*0.49*	*7*	0.47	20	0.44	20	0.53	23
Южный	0.57	52	0.56	16	0.47	25	0.74	53	0.49	24
Северо-Кавказский	0.49	54	0.49	22	0.40	29	0.63	55	0.41	22
Уральский	0.46	27	*0.37*	*3*	0.78	26	0.31	14	*0.38*	*9*
Сибирский	0.42	28	*0.29*	*3*	0.82	39	0.32	39	*0.27*	*6*
Дальневосточный	0.52	62	0.37	16	0.67	42	0.40	62	0.64	49

На рисунке 1.5 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 1.5).

Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила +0.49ºС/10 лет (вклад в общую изменчивость 54%). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур (0.66°С/10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0.40°С/10 лет: описывает 67% суммарной дисперсии).

Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: (0.74°С /10 лет для ЮФО). Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой все еще наблюдается область убывания температуры, хотя и на существенно меньшей территории и значительно более слабого, чем в период 1976-2014 гг. Потепление зим 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 (осенью также в центре) очень слаб.

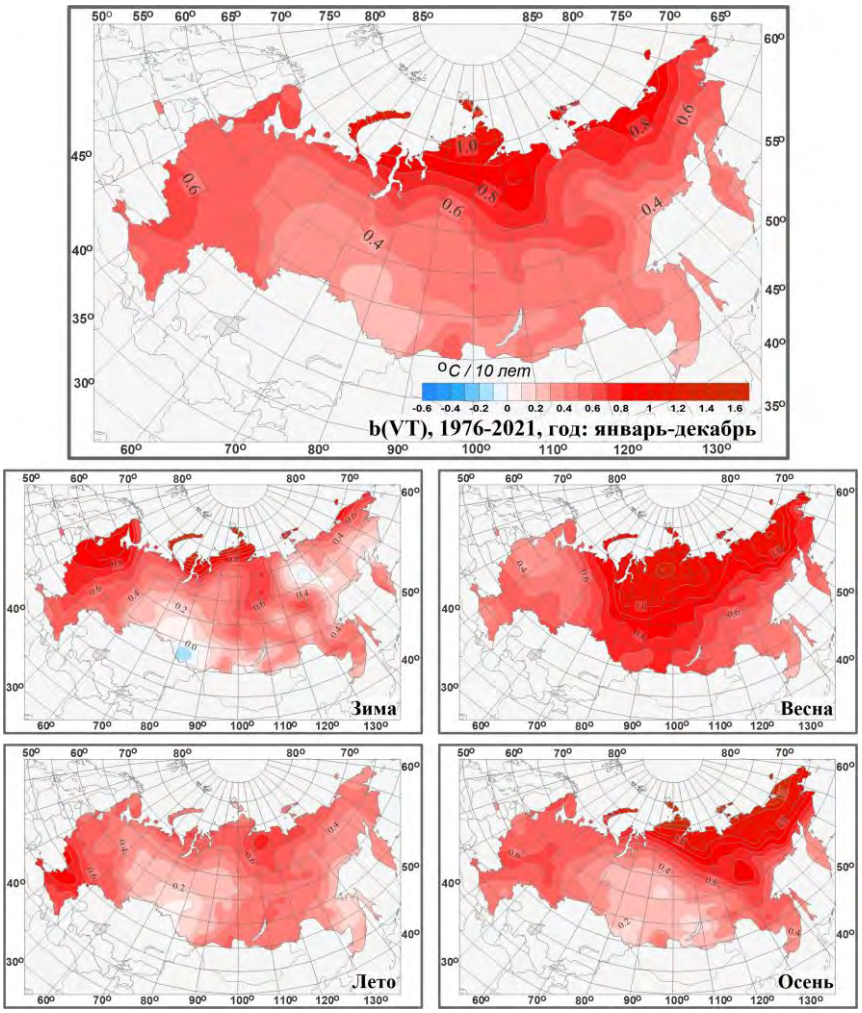


Рисунок 1.5 – Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2021 гг. (ºС/10 лет).

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). 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. Кроме того, необходимо отметить следующие особенности: весной интенсивное потепление наблюдается в Западной (+0.78ºС/10 лет) и Средней Сибири (+0.85ºС/10 лет); а также в Восточной Сибири весной (+0.76ºС/10 лет) и осенью +0.82ºС/10 лет; летом в ЮФО, ЦФО и СКФО (+0.74ºС/10 лет и +0.59ºС/10 лет и +0.63ºС/10 лет).

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

Еще раз заметим, что в Сибири зимой наблюдается область похолодания, впервые проявившаяся за период 1976-2010 гг. и достигшая максимума за период 1976-2014 гг.

(значение тренда в центре достигало -0.54ºС/10 лет); в настоящее время похолодание значительно менее выражено (-0.2ºС/10 лет на юге Западной Сибири).

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 2019/20г. – на 1.5°С выше предыдущего (2014/15 гг.). Достаточно холодные условия зимы 2020/21 привели к уменьшению оценок тренда зимней температуры по сравнению с предыдущим годом, но он остается значимым на уровне 5%

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

Аномалии температуры и тенденции изменений температурного режима районов Северного Кавказа

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

Таблица 1.3 – Среднегодовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии температуры и индексы[1] минимальной и максимальной за сутки температуры приземного воздуха для станций юга ЕЧР в 2021 г.: *vT* – отклонения от нормы (средние за 1961-1990 гг.); σ – стандартное отклонение за 1961-2021 гг., розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ, оранжевым – более 1,69σ (5 и 95%-е экстремумы при Гауссовом распределении).

	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	2.4	0.88	2.5	1.87	2.2	1.25	3.4	1.11	0.3	1.25
Теберда	1.4	0.81	1.7	1.81	0.8	0.92	2.4	1.03	0,2	1.03
Терскол	0.8	0.67	1.3	1.63	0.2	0.92	1.9	0.91	-0.7	1.03
Нальчик	1.9	1.0	2.0	1.85	1.9	1.20	3.0	1.24	0.1	1.19
Прохладная	1.8	0.97	2.7	1.89	1.8	1.17	3.0	1.21	0.0	1.14
	Абсолютный максимум температур									
Ахты	2.7	2.58	1.8	2.34	1.8	2.19	3.1	2.54	2.2	2.84
Теберда	0.8	2.14	0.6	2.26	-0.7	1.94	2.5	2.15	-0.3	2.41
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	2.4	1.8	3.1	2.9	2.2	2.39	2.9	1.83	1.2	2.4
Прохладная	2.7	1.95	1.1	3.3	2.1	2.51	3.3	1.98	1.0	2.41
	Абсолютный минимум температур									
Ахты	0.7	2.73	1.4	2.92	-0.2	3.66	2.1	2.29	0,7	3.09
Теберда	1.0	3.14	2.2	3.05	0.8	4.0	2.5	1.79	1.5	3.75
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	1.4	4.49	1.4	4.62	1.0	4.37	3.2	2.08	0.9	3.59
Прохладная	1.9	4.73	4.7	5.0	0.6	4.28	3.7	2.67	0.5	3.39

В таблице 1.3 приведены данные об аномалиях температуры в 2021 г. В Кавказском регионе во все сезоны 2021 гг. наблюдались положительные аномалии **средних** температур, за исключением осени на станции Терскол.

В целом за год и летом для всех станций, в *зимний* и *весенний* сезоны исключая Теберда, Терскол, имели место положительные аномалии **средних** температур превышающие стандартное отклонение (за год и летом в Ахты — 95%-е экстремумы).

Параметры линейных трендов средних годовых и сезонных температур (таблица 1.4, рисунок 1.7) указывают на продолжение потепления на территории Кавказского региона. На предгорной м/станции Нальчик и степной м/станции Прохладная с 1976 года

1 Индексы максимальных температур рассчитаны как осредненное за сезон (год) значение абсолютного месячного максимума (т.е. максимума из максимальных за сутки температур), выраженного как отклонение от его климатического среднего (за 1961-1990 гг.). Индексы минимальных температур рассчитаны аналогично для минимальных за сутки температур.

наблюдались максимальные скорости роста среднегодовой температуры: 0.56ºС/10лет (*D*=56%) и 0.51ºС /10лет (*D*=52%) соответственно.

Наиболее высокие темпы роста средних температур (тренд значим на уровне 1%) наблюдаются летом во всех климатических зонах (включая высокогорную станцию Терскол, на которой в остальные сезоны тренд практически отсутствует) и зимой в Ахты, Нальчике и Прохладной. Небольшой отрицательный тренд имеет место в Ахты для весенней (-0.26°С/10 лет, *D*= 3%) и осенней (-0.01°С/10 лет, *D*= 0%).

Из таблицы 1.4 видно, что рост *минимальных* температур наиболее заметен *весной* во всех климатических зонах; тренды статистически значимы. В Нальчике (предгорная) и Прохладной (степная) наибольший рост наблюдался для *летних и осенних максимумов*.

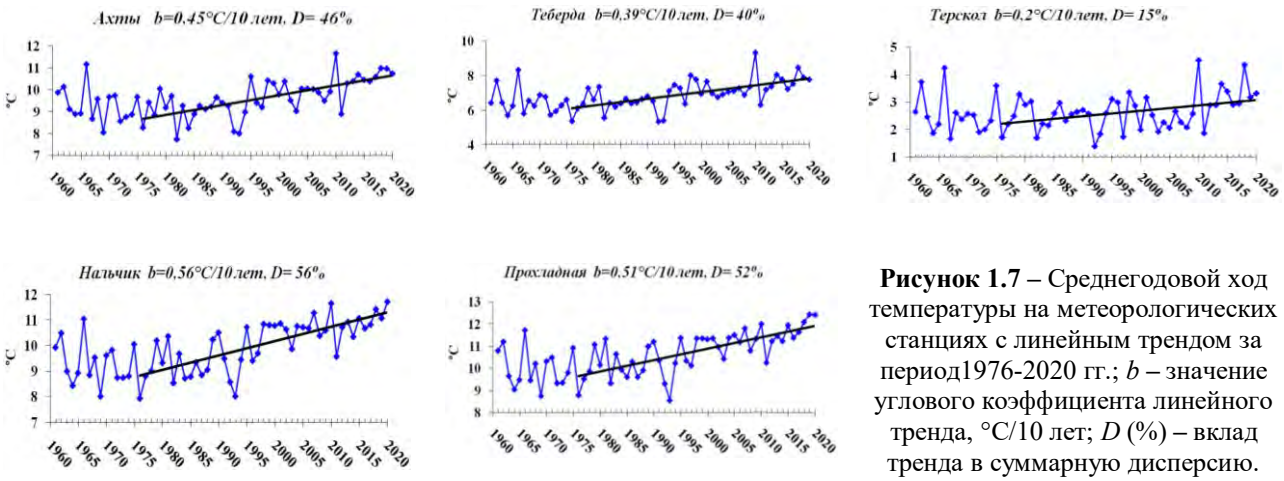


Рисунок 1.7 – Среднегодовой ход температуры на метеорологических станциях с линейным трендом за период1976-2020 гг.; *b* – значение углового коэффициента линейного тренда, °С/10 лет; *D* (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию.

Таблица 1.4 – Характеристики линейного тренда ***b*** (***D***) за 1976-2020 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***	0.45	46	0.39	40	0.2	15	0.56	56.0	0.51	52.0
	Min	0.7	14	0.7	8.0	-	-	0.73	5.0	0.8	5.0
	Max	1.1	14	0.3	5.0	-	-	0.68	24.0	0.93	36.0
Зима	***T***	0.53	18.0	0.42	10.0	0.19	3.0	0.59	22.0	0.54	23.0
	Min	0.55	7.0	0.6	7.0	-	-	0.64	4.0	0.64	3.0
	Max	0.56	10.0	0.3	3.0	-	-	0.32	3.0	0.54	50
Весна	***T***	0.4	16.0	0.3	17.0	0.18	5.0	0.49	30.0	0.46	29.0
	Min	1.2	19.0	1.3	19.0	-	-	1.4	22.0	1.12	15.0
	Max	-0.26*	3.0	0.3	3.0	-	-	0.3	3.0	0.51	9.0
Лето	***T***	0.53	50.0	0.52	50.0	0.42	41.0	0.68	56.0	0.66	56.0
	Min	0.2	1.3	0.7	27.0	-	-	0.51	10.0	0.47	6.0
	Max	0.38	4.0	0.31	4.0			0.68	23.0	0.93	35.0
Осень	***T***	0.4	15.0	0.39	22.0	0.19	14	0.49	20.0	0.35	14.0
	Min	0.06	0.0	1.0	13	-	-	0.14	0.2	0.18	0.5
	Max	-0.01	0.0	0.19	1.0	-	-	0.72	17.0	0.71	16.0

**серым цветом выделены отрицательные тенденции переменной.*

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 2021 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 1961-1990 гг.

Особенности режима атмосферных осадков в 2021 г.

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 временных рядах показаны 11-летние скользящие средние, линейные тренды за 1976-2021 гг. с 95%-й доверительной полосой. В табл. 2.1 приведены данные об аномалиях пространственно осредненных осадков для России, ее физико-географических регионов, федеральных округов (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 ***2021 г.*** средняя по России годовая сумма осадков составила 107% нормы (ранг 7-12). Доля площади с значительным избытком осадков (более 80-го процентиля) составила 23%, с дефицитом осадков – 10%. Значительный избыток осадков (рисунок 2.3) наблюдался в Забайкалье, (значительный избыток осадков зимой и весной), на юге ЕЧР (в ЮФО: 126% нормы – ранг 2-3, в СКФО: 132% – ранг 1, значительный избыток осадков зимой и летом), в Карелии, в нижнем течении Оби и Енисея. Сильный дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на Южном Урале (за счет осадков весны и лета), а также в Хабаровском крае.

Из сезонов выделяется «влажная» **весна**: в целом по РФ выпало 112% нормы – третья величина в ряду (особенно «влажно» в АЧР (112% - ранг 2)); «сухое» **лето**: в целом по РФ выпало 93% нормы – среди трех-четырех самых «сухих» летних сезонов с 1936 года (особенно «сухие» условия сложились в Восточной Сибири (79% в целом по региону) и в ПФО (71%)). Кроме того, следует выделить экстремально «снежную» зиму в Прибайкалье и Забайкалье (159% - ранг 2).

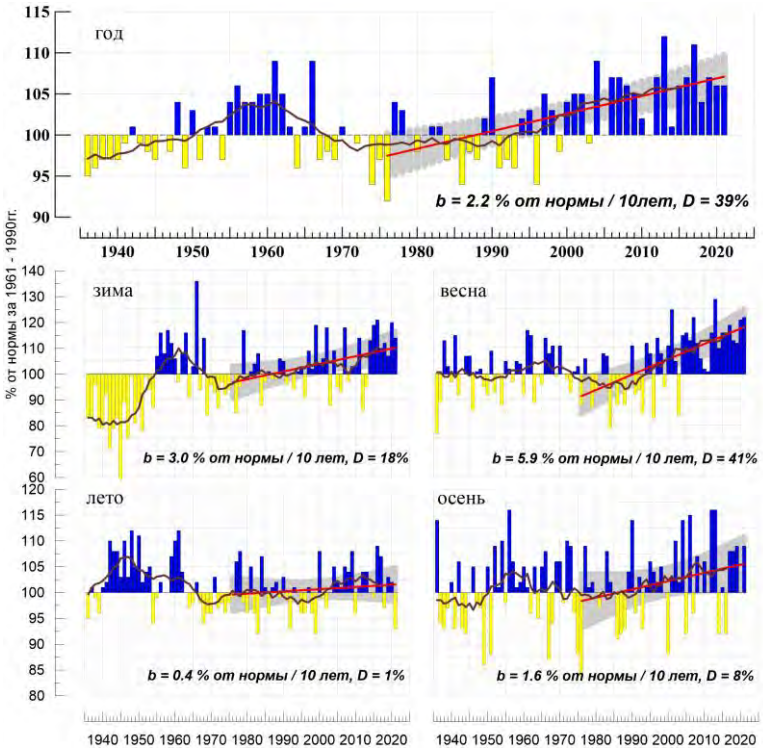


Рисунок 2.1 – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (мм/месяц), осредненные по территории России, 1936-2021 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд оценен за 1976-2021 гг.; b – коэффициент тренда (% от нормы /10 лет), D – вклад тренда в суммарную дисперсию (%).

Зимой 2020/21 гг. осадки, осредненные в целом по РФ, составили 114% нормы (ранг 12-13), по ЕЧР – 115% нормы (ранг 15-16), по АЧР – 112% (ранг 13)). Значительный избыток осадков (на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы) отмечался в центре и на юге страны, дефицит осадков – на севере. В среднем по Прибайкалью и Забайкалью осадки составили 159% нормы (ранг 2), по СФО – 148 (ранг 4).

Декабрь 2020 г. характеризовался преимущественно дефицитом осадков: осредненные по РФ осадки 88% нормы. Сильный дефицит осадков (менее 60% нормы) наблюдался в центральных и южных районах ЕЧР (в ПФО и ЮФО выпало лишь 46%

нормы), на севере Урала и Западной Сибири, на юге СФО и ДФО, в Восточной Сибири. В Бурятии и Читинской области, на юге Приморского края количество выпавших осадков составило около 20% нормы и ниже.

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

Январь. Осредненные по РФ осадки: 113% нормы, а по ЕЧР – 129%. Избыток осадков наблюдался на большей части ЕЧР: на многих станциях северо-запада и центра, фиксировались 95%-е экстремумы. Экстремально снежно было на Урале. Значительный избыток осадков наблюдался также в Прибайкалье и Забайкалье (в целом по региону 198% нормы – максимальная величина в ряду).

Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался в районе Обской губы, на Среднесибирском плоскогорье, на Дальнем востоке страны (особенно в Хабаровском крае – на ряде станций выпало менее 40% нормы).

Февраль. Осредненные по РФ осадки 157% нормы – вторая величина в ряду, а по АЧР – 154% - также вторая величина в ряду (рисунок 2.2).

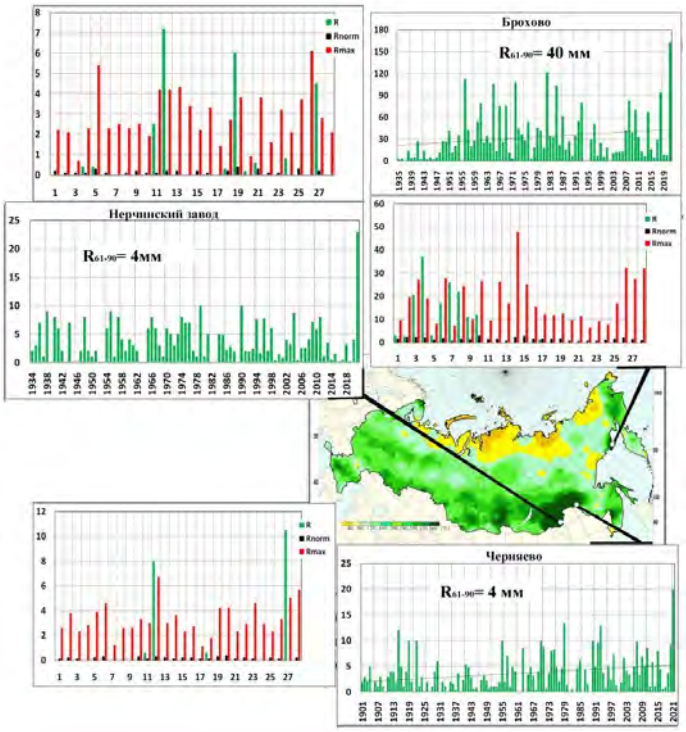


Рисунок 2.2 – Аномалии осадков в феврале.

Значительный избыток осадков наблюдался в центральных и южных областях страны, на многих станциях центра и юга ЕЧР, на юге АЧР фиксировались 95%-е экстремумы, осредненные по Западной Сибири осадки составили 174% (ранг 3), по Прибайкалью и Забайкалью – 242% (ранг 2), по Приамурью и Приморью – 175% (ранг 5), по ПФО – 177% (ранг 5), по СФО – 187% (ранг 1). Распространение Сибирского антициклона в феврале было очень ограниченным. Погоду в Сибири определяли атлантические циклоны, особенно мощные на юге региона, что приводило к сильным снегопадам и метелям. В результате месячные суммы осадков в отдельных районах были превышены в 4 раза. На многих метеорологических станциях Забайкалья и Амурской области месячные суммы осадков стали рекордными (см. врезки рисунок 2.2). На метеорологической станции Нерчинский завод сильные снегопады прошли 12, 19 и 27 февраля, при этом за сутки превышались месячные нормы осадков. Северо-восточные районы Дальневосточного ФО находились под влиянием тихоокеанских циклонов. Наиболее снежной оказалась первая декада. Так, на метеорологической станции Брохово вся месячная сумма осадков, которая в 4 раза превысила норму, выпала за первую декаду, а суточные максимумы обновлялись трижды – 4, 7 и 9 февраля

Дефицит осадков (40-80% нормы) наблюдался на севере страны, наиболее значительный на Новой Земле и в районе Обской губы.

Весна. Осредненные по территории РФ осадки составили 122% нормы (ранг 3). В ЕЧР выпало 122% (ранг 12), а в АЧР (121% – ранг 3), особенно много осадков выпало в Прибайкалье и Забайкалье (140% нормы – ранг 3) и в ДФО (118% нормы – ранг 3). Дефицит осадков наблюдался на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало 87% сезонной нормы), на юге Западной Сибири, на Алтае, на востоке Среднесибирского плоскогорья.

Март. Осредненные по РФ осадки 135% нормы. Избыток осадков (более 120% нормы, на многих станциях фиксировались 95%–е экстремумы) наблюдался на юге ЕЧР (в СКФО выпало 177% – ранг 3), на юге Западной и Средней Сибири (в СФО выпало 166% нормы – ранг 5), на востоке ДФО.

Дефицит осадков (менее 80% нормы, местами 40-60%) наблюдался в центре ЕЧР, в районе Байкала, на севере АЧР от полуострова Ямал до Чукотки (рисунок 2.4).

Апрель. Осредненные по РФ осадки 116% нормы. Значительный избыток осадков (более 120% нормы, на ряде станций фиксировались 95%-е экстремумы) в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 145% нормы – ранг 8), на Алтае, в ДФО (133% – ранг 6).

Дефицит осадков (60-80% нормы) наблюдался на северо-востоке ЕЧР, на юге Западной Сибири, на Алтае.

Май. Осредненные по РФ осадки: 119% нормы – десятая величина в ряду. Избыток осадков наблюдался на большей части ЕЧР (кроме ПФО, в СЗФО выпало 167% месячной нормы – ранг 2, в ЦФО – 162% – ранг 5)) и, далее, на севере Западной Сибири, на западе Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье (167% нормы – ранг 3), в Приамурье и Приморье, на востоке Якутии.

Сильный дефицит осадков (40-80% нормы, на многих станциях фиксировались 5%-е экстремумы) наблюдался в ПФО (за месяц выпало лишь 87% нормы), на юге Западной Сибири, на Алтае, на западе и юге Якутии, на Чукотке и Камчатке.

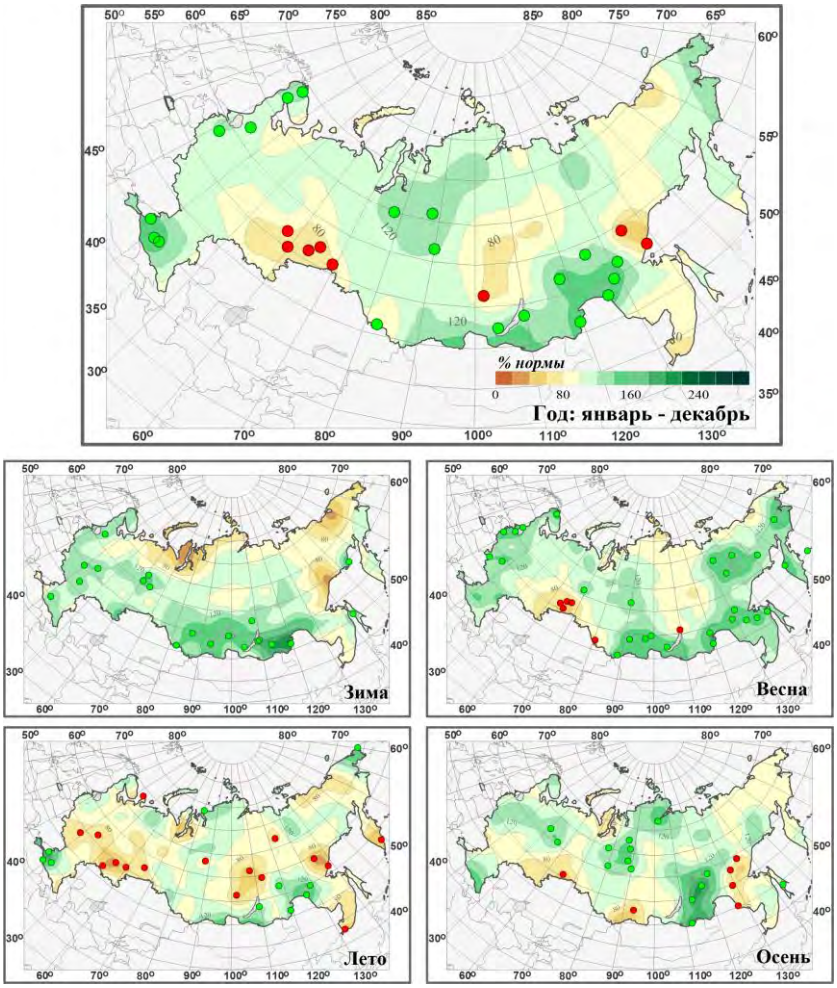


Рисунок 2.3 – Аномалии осадков на территории России в 2021 г., с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки).

Летом осредненные по территории РФ осадки составили 93% (ранг 3-4 в ранжированном по возрастанию ряду).

Сильный дефицит осадков наблюдался в центре и на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало лишь 71% нормы, в ЦФО – 76%), а также в центральных областях СФО и ДФО (в Восточной Сибири выпало 79% нормы – пятое самое «сухое» лето). Избыток осадков наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО (136%) и СКФО (142% – ранг 4)), в Саянах, в Забайкалье и в бассейне Амура. Во все месяцы сезона наблюдались большие области с сильным дефицитом осадков, особенно сильный дефицит наблюдался в июле и в августе.

Летом атмосферные засухи наблюдались во многих областях ПФО, в ряде областей ЦФО, на Южном Урале. Этому способствовал сильный дефицит осадков летом и

экстремальные температурные аномалии: летние аномалии, составили для ЦФО 3.42ºС (3-я величина в ряду), для ПФО 3.33ºС(2–я).

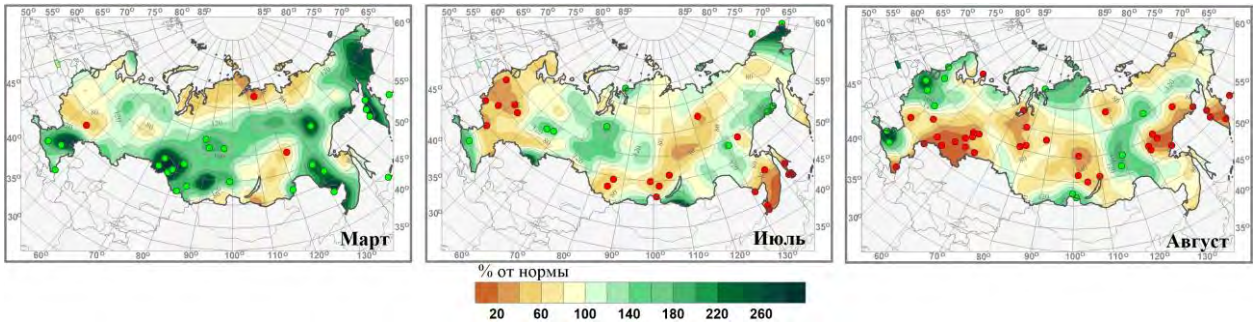


Рисунок 2.4 - Осадки на территории России в марте, июле и августе 2021 г.

Июнь. Осредненные осадки по РФ – 100% нормы. Избыток осадков наблюдался на большей части СФО и на юге ДФО. Дефицит осадков наблюдался в ЕЧР (кроме ЮФО, в целом по ЕЧР выпало 87% месячной нормы), в Западной Сибири (93%), в Восточной Сибири (выпало 77% – среди шести самых «сухих» июней).

Июль. Осредненные осадки по РФ – 89% нормы – среди 4-5-ти самых «сухих» июлей. Сильный дефицит осадков (5%-е экстремумы на станциях) наблюдался на западе и в центре ЕЧР (в ЦФО выпало 46% нормы – ранг 6), на Алтае, в Саянах, в Якутии, в Приморье. Избыток осадков наблюдался в Западной Сибири, в Забайкалье, на большей части Восточной Сибири (рисунок 2.4).

Таблица 2.1 – Годовые и сезонные суммы осадков (в % от нормы 1961-90 гг.) для физико-географических регионов и федеральных округов России в 2021 г. Зеленым цветом выделены значения, попавшие в число трех наибольших (ранги 1-3), светло-зеленым цветом – попавшие в число пяти наибольших (ранг 4 или 5), оранжевым - в число трех наименьших (ранги 83-85), желтым – в число пяти наименьших – в ранжированных по убыванию рядах с 1936 г.

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	107	114	**122**	**93**	109
Физико-географические регионы					
Европейская часть России	110	115	122	91	109
Азиатская часть России	106	112	**121**	93	108
Западная Сибирь	103	120	108	91	101
Средняя Сибирь	106	112	112	90	119
Прибайкалье и Забайкалье	119	**159**	**140**	107	122
Приамурье и Приморье	109	109	135	99	102
Восточная Сибирь	98	91	**128**	**79**	102
Федеральные округа РФ					
Северо-Западный	111	106	162	96	116
Центральный	110	125	162	76	109
Приволжский	95	112	87	71	93
Южный	**126**	108	108	136	108
Северо-Кавказский	**132**	**148**	116	**142**	140
Уральский	102	113	107	85	101
Сибирский	106	128	106	94	108
Дальневосточный	107	99	**118**	95	110

Август. Осредненные осадки по РФ составили 91% (ранг 5-8 в упорядоченном по возрастанию ряду с 1936 года), а по АЧР – 85% нормы (ранг 3-4 в аналогично упорядоченном ряду). Сильный дефицит осадков (на станциях отмечались 5%-е экстремумы) наблюдался на юго-востоке ЕЧР (в ПФО выпало 41% нормы – август среди пяти самых «сухих), на Южном Урале (в УФО выпало 56% нормы– среди двух самых «сухих», в центральных районах СФО, в Хабаровском крае, на Камчатке (в целом по Восточной Сибири выпало 61% – второй самый «сухой» август). Значительный избыток осадков наблюдался на западе и юге ЕЧР (в ЮФО выпало 175% нормы, в СКФО – 212% (ранг 2), в среднем течении Лены (рисунок 2.4).

Осень. Осредненные по РФ осадки 109% нормы. Значительный избыток осадков (более 120%, на многих станциях отмечены 95%-е экстремумы) наблюдался на севере СФО, в Забайкалье. Дефицит осадков наблюдался на Южном Урале, в Западных Саянах, в нижнем течении Амура.

Сентябрь. Осредненные по РФ осадки составили 115% нормы. Избыток осадков (более 120% нормы) наблюдался в центре и на юге ЕЧР (в ЮФО выпало 183% нормы – (ранг 3), в СКФО – 195% (ранг 2)), в среднем течении Енисея, в Забайкалье (осредненные

осадки по Прибайкалью и Забайкалью – 156% нормы (ранг 2)). Дефицит осадков (менее 80% нормы, на ряде станций фиксировались 5% экстремумы) отмечался в центре Сибири (в СФО выпало 138% нормы – максимальная величина в ряду), в СЗФО (118%).

Октябрь. Осредненные по РФ осадки 88% нормы. Дефицит осадков наблюдался в основном на юге страны, особенно сильный (на ряде станций фиксировались 5%-е экстремумы) в ЦФО (54%), в ЮФО (53%), ПФО (51%), в Прибайкалье и Забайкалье (66%). Значительный избыток осадков (на ряде станций отмечались 95%-е экстремумы) наблюдался на севере АЧР от дельты Оби до дельты Лены.

Ноябрь. Осредненные по РФ осадки 124% нормы. Избыток осадков (более 120% нормы, на многих станциях фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдался в центре и на севере ЕЧР (в СЗФО выпало 142% нормы – ранг 2), на востоке страны вдоль побережья Охотского моря (в Приамурье и Приморье выпало 198% нормы – ранг 1).

Дефицит осадков наблюдался на побережье Северного Ледовитого океана (кроме Таймыра), особенно значительный (40-80%) на северо-востоке страны; на юге ЕЧР, на Южном Урале, в Западных Саянах.

Декабрь 2021 г. Осредненные по РФ осадки 117% нормы (ранг 8). Значительный избыток осадков (более 120%) наблюдался в УФО (168% нормы – ранг 2), на северо-востоке страны. Дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на большей части СФО (в среднем выпало 98%) и на западе ДФО (рисунок 2.5).

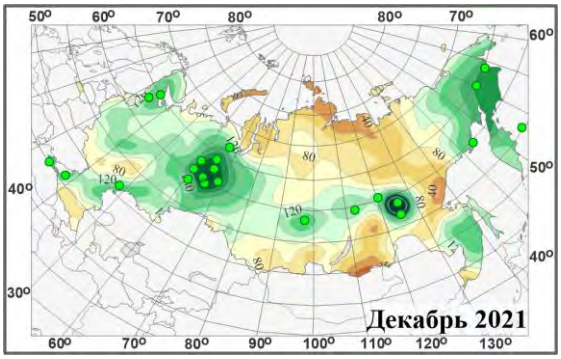


Рисунок 2.5 – Аномалии осадков в декабре 2021 г.

Тенденции изменений режима осадков

Географическое распределение коэффициента линейного тренда атмосферных осадков на территории России для 2021 г. в целом и для сезонов представлено на рисунке 2.6. Оценки получены по станционным временным рядам годовых и сезонных аномалий осадков за 1976-2021 гг. Численные оценки трендов для регионов приведены в табл. 2.2 (в % нормы за 10 лет: иногда сокращенно %/10 лет).

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

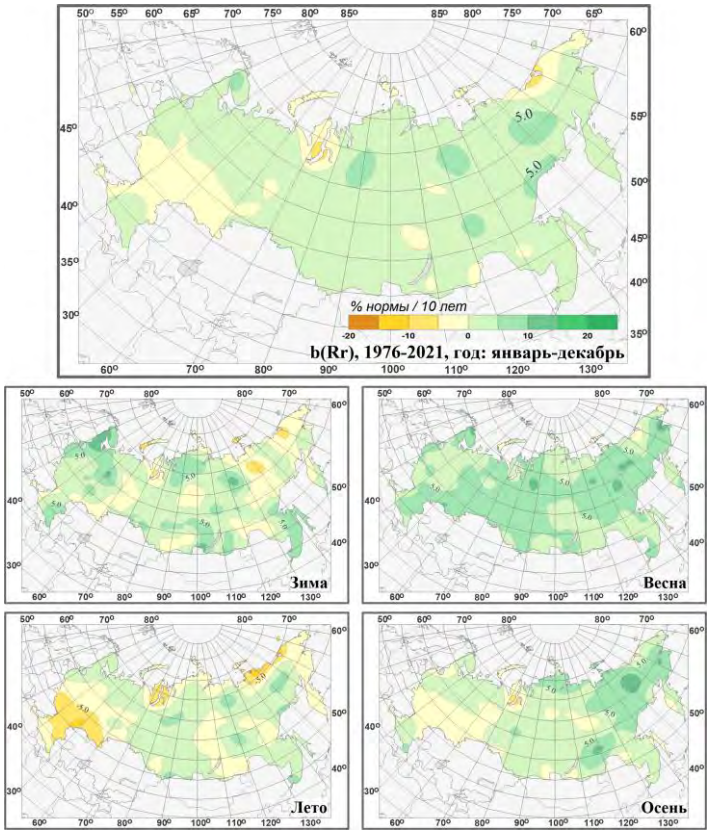


Рисунок 2.6 – Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2021 гг. на территории России (% /10 лет).

(таблица 2.2) наблюдаются в регионах Средняя Сибирь (3.1%/10 лет, вклад в дисперсию 29%) и Восточная Сибирь (2.6%/10 лет; 13%), и, соответственно, в СФО (2.8%/10 лет, 30%) и ДФО (2.7%/10 лет, 26%).

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

Таблица 2.2 – Оценки линейного тренда осредненных за год (январь-декабрь) и по сезонам месячных сумм атмосферных осадков для регионов России за 1976-2021 гг. **b** %/10 лет – коэффициент линейного тренда, **D%** – вклад тренда в дисперсию. Выделены значения тренда, значимые на 1%-м уровне.

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	*D%*	*b*	*D%*	*b*	*D%*	*b*	*D%*	*b*	*D%*
Россия	2.2	39	3.0	18	5.9	41	0.4	1	1.6	8
Физико-географические регионы России										
Европейская часть России	1.0	4	3.0	11	5.2	22	-1.9	4	-0.2	0
Азиатская часть России	2.6	46	2.8	13	6.3	42	1.2	8	2.6	20
Западная Сибирь	2.4	13	1.8	2	7.8	31	1.1	1	1.0	2
Средняя Сибирь	3.1	29	3.3	8	6.4	38	2.1	6	2.6	9
Прибайкалье и Забайкалье	2.1	8	5.3	15	3.6	6	0.9	1	3.5	8
Приамурье и Приморье	2.3	10	4.9	6	5.0	9	2.3	4	0.8	1
Восточная Сибирь	2.6	13	1.8	2	6.6	29	-0.8	1	5.4	24
Федеральные округа РФ										
Северо-Западный	3.0	20	5.4	18	4.6	16	1.6	1	1.6	2
Центральный	0.0	0	3.4	5	5.5	11	-4.3	9	-1.1	0
Приволжский	-0.9	1	1.4	1	5.5	10	-4.5	9	-2.6	3
Южный	-0.4	0	0.1	0	5.0	9	-4.1	5	-1.5	1
Северо-Кавказский	2.0	5	3.0	4	4.6	9	-1.1	0	2.4	2
Уральский	2.1	9	1.0	1	7.7	25	0.8	1	0.4	0
Сибирский	2.8	30	3.5	10	6.1	24	1.9	7	2.1	8
Дальневосточный	2.7	26	2.8	8	5.9	35	0.9	2	3.4	24

Рост осадков наблюдается во все сезоны. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается ***весной*** (5.9% 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 14-17% за десятилетие). Значимый на 1%-м уровне тренд отмечен в УФО, СФО и ДФО.

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

Зимой осадки уменьшаются на северо-востоке страны. ***Летом*** осадки убывают в центральных и южных регионах ЕЧР, особенно в ПФО: -4.5% нормы за десятилетие. ***Летние*** осадки убывают также на арктическом побережье АЧР. ***Осенние*** осадки незначительно убывают в центральных районах ЕЧР и Западной Сибири, а также в районе Обской губы.

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

Аномалии осадков и тенденции изменений режима осадков районов Северного Кавказа

Аномалии показателей режима осадков (сумм осадков, максимума суточных осадков, числа дней с осадками не менее 5 мм), по данным 2021 г., представлены в таблице 2.3.

В 2021 году имело место превышение суммы осадков относительно нормы (среднее за 1961-1990гг.) более чем на 1σ на всех метеорологических станциях в *зимние* сезоны (за исключением Ахты– превышение осадков в пределах межгодовой изменчивости); такое же превышение было в *весенний* сезон и *в году в целом* на горных

метеорологических станциях Теберда и Терскол. За последние 60 лет В Теберде выпала наибольшая за последние 60 лет годовая сумма осадков – 1073.2 мм.

В таблице 2.4 и на рисунке 2.6 представлены характеристики линейного тренда *b (D)* за 1976-2020 гг. некоторых показателей среднегодового и среднесезонного режима осадков на станциях Кавказского региона.

Таблица 2.3 – Годовые (январь-декабрь) и сезонные аномалии сумм осадков для метеорологических станций юга ЕЧР в 2021 г.: Δ, *мм* – отклонения от нормы (средних за 1961-1990 гг.); *σ* – стандартное отклонение за 1961-2021 гг. Розовым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1σ.

	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ, *мм*	*σ, мм*	Δ, *мм*	*σ, мм*	Δ, *мм*	*σ, мм*	Δ, *мм*	*σ, мм*	Δ, *мм*	*σ, мм*
	Суммы осадков									
Ахты	70.0	71.08	4.3	15.75	-5.5	39.39	25.4	44.05	12.0	35.52
Теберда	301.9	130.3	87.7	80.67	114.4	64.44	-0.9	53.9	-6.3	80.56
Терскол	411.1	171.5	93.9	85.3	193.8	79.6	-44.8	64.,4	29.1	92.5
Нальчик	7.2	107.46	25.7	20.16	-49.8	55.06	35.9	67.95	92.1	53.55
Прохладная	6.8	91.7	38.6	19.5	1.7	45.3	-2.2	56.4	28.0	44.5
	Максимум суточных осадков									
Ахты	4,6	9,28	0.7	6.25	1.0	7.27	7.1	10.7	3.8	9.22
Теберда	4.0	13.68	-0.2	14.73	6.0	13.49	-1.1	11.94	1.5	13.1
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	3.4	11.31	5.1	5.39	-8.3	10.90	10.6	10.66	9.7	14.62
Прохладная	1.0	15.9	4.4	4.2	-7.1	14.15	3.2	15.2	5.8	13.2
	Число дней с осадками не менее 5 мм									
Ахты	0,3	4,3	0.6	1.6	-0.7	2.8	0.2	3.2	0.5	2.4
Теберда	2.1	7.99	3.0	3.68	2.5	4.09	0.8	3.92	0.4	4.35
Терскол	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нальчик	0.7	6.82	0.7	1.93	-1.0	3.53	0.0	3.92	3.3	3.56
Прохладная	0.4	5.6	0.7	2.0	-0.3	2.81	-0.3	3.27	2.3	2.7

Общая тенденция во всех климатических зонах – незначительное увеличение *летних и осенних сумм осадков* (за исключением Терскола). Статистически значимый тренд в *весенний* сезон для сумм осадков и числа дней с осадками не менее 5мм имел место в Теберде. Статистически устойчивые тренды суточных максимумов осадков имели место на степной м/станции Прохладная *в летний* (*b*=3.88мм/10 лет, *D*=10%) сезон и в *году* в целом (*b*=4.1 мм/10 лет, *D*=10%).

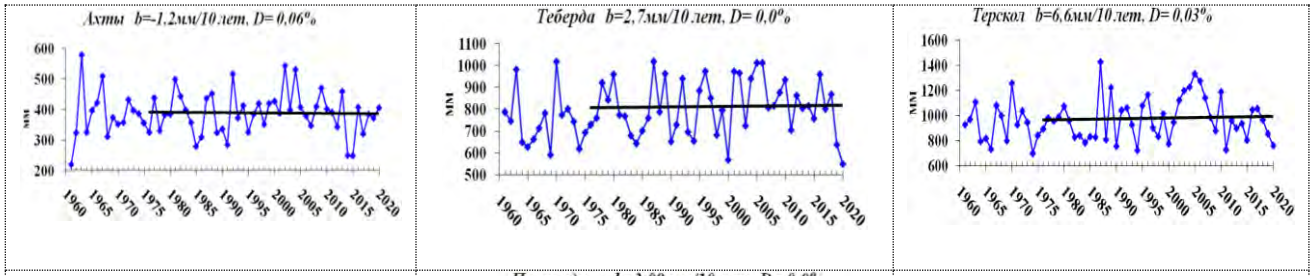
Незначительно уменьшались *зимние суммы осадков* в Ахты и Нальчике; в Теберде, Терсколе имел место их рост, тенденции

Таблица 2.4 – Характеристики линейного тренда ***b (D)*** за 1976-2020 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*	-1.2	0.1	2.7	0.0	6.6	0.3	-6.90	0.6	3.09	0.002
	Max	1.5	4.0	-0.4	0.0	-	-	0.52	0.4	**4.1**	**10.0**
	NR5	-0.1	0.0	1.7	11.0	-	-	0.53	1.0	0.29	0.5
Зима	*R*	1.7	2.0	-3.1	0.3	-6.06	1.1	-0.76	0.3	2.66	3.0
	Max	1.1	5.0	-2.9	6.0	-	-	-0.37	3.0	0.56	4.0
	NR5	0.19	2.0	0.2	1.0	-	-	0.25	3.0	0.36	5.0
Весна	*R*	0.76	0.1	**15.0**	**10.0****	14.78	5.0	2.33	0.4	4.24	2.0
	Max	0.3	0.4	-0.02	0.0	-	-	-0.80	1.0	0.9	0.6
	NR5	-0.19	0.8	**1.0**	**11.0**	-	-	0.44	3.0	0.27	2.0
Лето	*R*	-1.9	0.3	-4.0	1.0	-3.62	0.6	-6.60	2.0	-9.23	4.0
	Max	0.5	0.7	-2.5	7.0	-	-	1.56	4.0	**3.88**	**10.0**
	NR5	-0.2	1.0	0.6	4.0	-	-	-0.67	5.0	-0.46	4.0
Осень	*R*	-1.4	0.3	-4.1	0.5	13.9	1.0	-2.10	0.3	2.28	0.4
	Max	-1.0	2.0	0.46	0.2	-	-	-2.06	4.0	1.77	3.0
	NR5	0.19	1.0	-0.18	0.3	-	-	0.53	4.0	0.17	0.8

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

незначимы. За период 1976-2020 гг. на высокогорной станции Терскол наблюдался рост *среднегодовых, весенних* и *осенних* сумм осадков (статистически незначимый). В этот же период *зимние* и *летние* суммы осадков незначительно уменьшались.



ббю

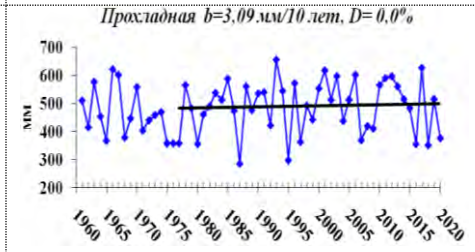


Рисунок 2.6 – Среднегодовой ход сумм осадков на метеорологических станциях с линейным трендом за период 1976-2020 гг., *b (мм/10 лет)* – значение углового коэффициента линейного тренда, мм/10 лет; *D* (%) – вклад тренда в суммарную дисперсию.

3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2020/2021 гг.

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

В таблице 3.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий характеристик снежного покрова зимой 2020-2021 гг. для регионов России и их ранги по данным за 1967-2021 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 2020-2021 гг.

Первый снег зимой 2020-2021 гг. на большей части европейской территории выпал позже среднеклиматических сроков на 5-10 дней, за исключением части Южного и Северо-Кавказского ФО (рисунок 3.1б). На азиатской территории раньше климатических сроков на 5-15 дней снежный покров появился на юге Сибири и в Забайкалье. В Хакасии первый снег выпал в последний день сентября, в Алтайском крае, южных районах Красноярского края и Тыве – в первой декаде октября. Первый снег во второй декаде октября прошел в Новосибирской, Томской и Кемеровской областях. На остальной территории АЧР снежный покров установился позже климатических сроков. Особенно значительным сдвиг сроков появления снежного покрова оказался на побережье Таймыра

и арктических островах (более 40 дней), что связано с очень теплой погодой в сентябре-октябре.

На большей части страны сход снежного покрова наблюдался в более ранние сроки (рисунок 3.1в) из-за необычно теплой погоды, которая преобладала в марте и апреле, что привело к быстрому таянию снега. Не смотря на теплую погоду, снежный покров задержался дольше климатических сроков в Нижнем Поволжье, Забайкалье, на юге Хабаровского края, отдельных районах Якутии и Чукотки. Это обусловлено сильными снегопадами, которые прошли в этих районах в феврале-марте.

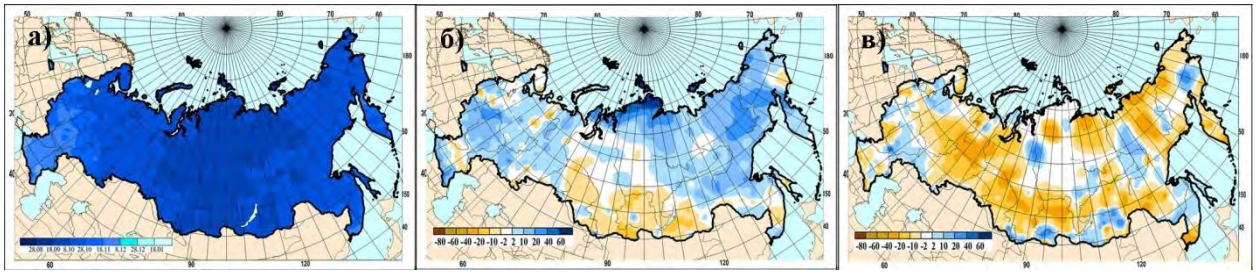


Рисунок 3.1 – а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2020-2021 гг. б) Аномалии в датах появления первого снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2020-2021 гг. (от норм 1971-2000 гг.) в) Аномалии в датах схода снега (положительные аномалии соответствуют более поздним датам) на территории России в зимний период 2020-2021 гг. (от норм 1971-2000 гг.)

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России оказалась значительно меньше климатической нормы (таблица 3.1) и вошла в десятку наибольших отрицательных значений. На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова. Максимальные по абсолютной величине отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова отмечены на севере ЕЧР, севере Сибири и Дальневосточного ФО (рисунок 3.2а). Во всех квази-однородных районах, за исключением Алтая и Саян (район VIII), снег лежал меньше климатических сроков. Отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова в I, II и III квази-однородных районах стали рекордными.

В зимний период 2020-2021 гг. ***максимальная высота снежного покрова*** в среднем по России оказалась значительно выше климатической нормы и попала в десятку наибольших значений в ранжированном ряду (таблица 3.1.). Максимальная высота снежного покрова превысила норму в центре ЕЧР, на арктическом побережье и Чукотке, в центральных районах Якутии, на юге Западной Сибири и Красноярского края (рисунок 3.2б). Аномалии максимальной высоты снежного покрова в квази-однородных районах II, III, V, VI и VIII

Таблица 3.1 – Средние за зимний период (2019-2021 гг.) аномалии характеристик снежного покрова, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России:
Δ – отклонения от средних за 1971-2000 гг.; R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик зимнего периода за 1967-2021 гг.;
σ – среднеквадратическое отклонение.

Регион	Максимальная высота			Число дней со снегом		
	Δ	R	σ	Δ	R	σ
Россия	4.20	**9**	2.85	-8.48	**49**	5.17
Север ЕЧР и Западной Сибири	-4.18	39	8.13	-26.82	**55**	9.67
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	4.89	**8**	5.11	-22.15	**55**	8.10
Чукотка и север Камчатки	10.21	**7**	10.86	-63.07	**55**	13.65
Центр ЕЧР	4.51	20	7.02	-11.73	42	10.45
Центр и юг Западной Сибири	6.43	**10**	6.96	-4.52	38	8.30
Центр и юг Восточной Сибири	4.63	**10**	5.68	-0.58	34	6.11
Дальний Восток	2.32	26	7.09	-7.19	46	6.94
Алтай и Саяны	12.93	**3**	6.48	5.54	20	9.25
Юг ЕЧР	1.69	20	4.51	-5.05	36	21.13

Примечание: жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за зимы 1967-2021 гг.

попали в десятку наиболее крупных положительных аномалий в ранжированном ряду. Дефицит снега отмечался только на севере ЕЧР и Западной Сибири.

Максимальный за прошедшую зиму ***запас воды в снеге*** по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался значительно ниже нормы в лесу и вошел в десятку наименьших значений в ранжированном ряду (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Аномалии максимального за зимний период (2019-2021 гг.) запаса воды в снеге, осредненные по территории квази-однородных климатических регионов России.
Δ – отклонения от средних за 1971-2000 гг.; R – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1967-2021 гг; σ – среднеквадратическое отклонение.

Регион	Запас воды в снеге (поле)			Запас воды в снеге (лес)		
	Δ	**ранг**	**σ**	**Δ**	**ранг**	**σ**
Россия	9.25	14	8.76	-13.36	**53**	8.05
Север ЕЧР и Западной Сибири	-10.07	39	18.81	-48.02	**54**	25.31
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	-21.61	**54**	27.21	-11.04	45	14.17
Чукотка и север Камчатки	-60.81	**55**	29.69	-36.83	**51**	31.59
Центр ЕЧР	11.05	19	18.56	-18.05	45	19.47
Центр и юг Западной Сибири	17.82	**10**	17.80	-21.62	46	22.32
Центр и юг Восточной Сибири	6.33	15	6.57	3.40	18	8.01
Дальний Восток	-6.16	40	20.39	-23.86	46	25.31
Алтай и Саяны	35.22	**3**	14.94	28.80	**10**	29.58
Юг ЕЧР	-4.03	32	10.31			

** жирным шрифтом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1967-2021 гг.*

Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены во всех квази-однородных регионах, за исключением VI и VIII, при этом значения в I и III районах также попали в десятку наименьших. Положительные аномалии запаса воды в снеге на лесном маршруте отмечены в центральных районах ЕЧР, в Эвенкии, на Алтае, в Саянах, Приморье и на юго-западе Якутии (рисунок 3.3б). В поле значительные отрицательные аномалии запаса воды в снеге получены на севере ЕЧР и Западной Сибири, севере Восточной Сибири и Якутии, Чукотке и Камчатке (I, II и III районы соответственно), причем значения запаса воды в снеге на полевых маршрутах на Чукотке и Камчатке оказались рекордно низкими. Максимальные положительные аномалии запаса воды в снеге в поле отмечены в VIII квази-однородном районе (Алтай и Саяны). В поле максимальный запас воды в снеге значительно превысил норму в центре ЕЧР, на Южном Урале, в северных и южных районах Западной Сибири, на юге Красноярского Края, Иркутской области, в Приморском крае и на Сахалине (рисунок 3.3а). И в целом для России запас воды в снеге на полевом маршруте оказался выше климатической нормы.

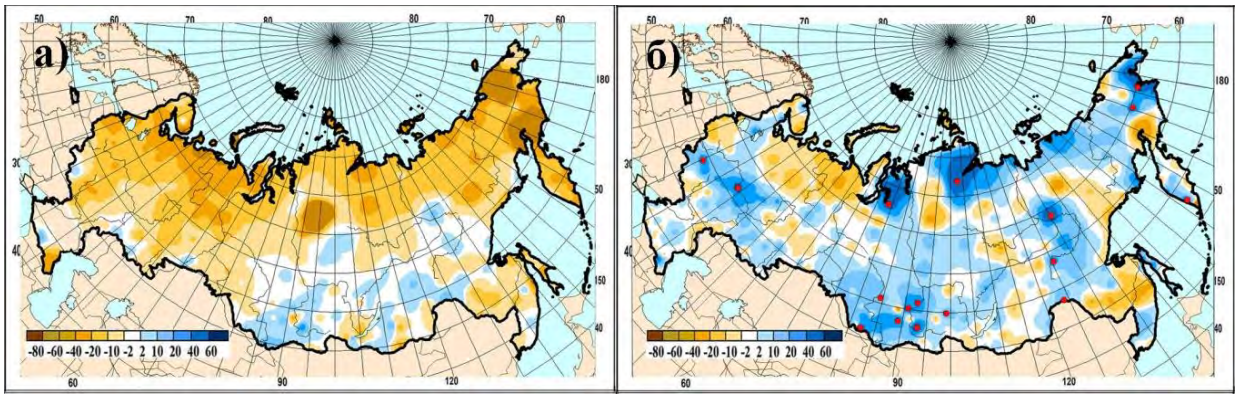


Рисунок 3.2 – а) Аномалии числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеорологической станции зимой 2020-2021 гг. (от среднемноголетних значений за период 1971-2000 гг.); б) Аномалии максимальной высоты снежного покрова зимой 2020-2021 гг. (от средних многолетних значений за период 1971-2000 гг.). Кружками красного цвета показаны станции, на которых зарегистрирован абсолютный максимум высоты снежного покрова.

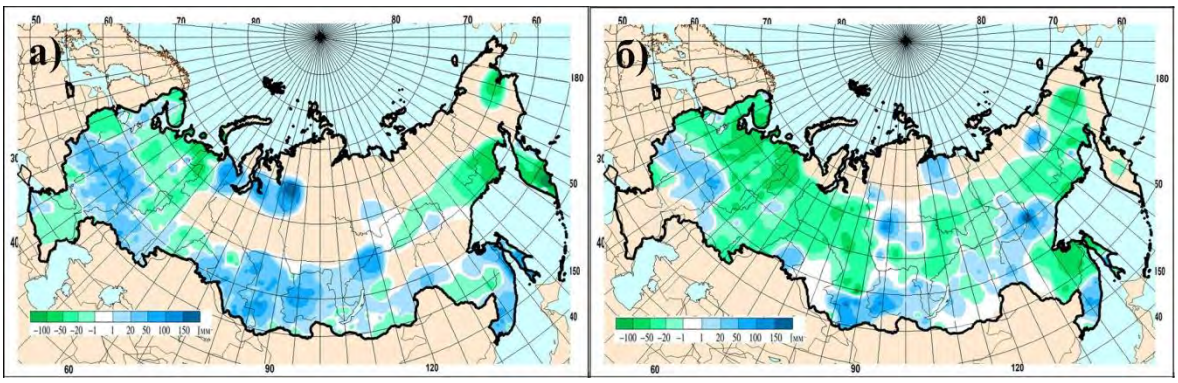


Рисунок 3.3 – Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2020-2021 гг. (от среднемноголетних значений за период 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б).

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

Таблица 3.3 – Сведения о максимальных запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ Российской Федерации весной 2021 г. (в сравнении с нормой и снегозапасами в аналогичные сроки 2020 г.): ***w2020, w2021*** – запасы воды в снеге в 2020 и 2021 гг.

№ п/п	Бассейны рек		Запасы воды в снеге				
			норма	*w2020*	*w2021*		
			мм	мм	мм	% от нормы	% от *w2020*
1	**ВОЛГА, в том числе:**		**113**	**53**	**129**	**114**	**47**
2	до Рыбинского водохранилища		101	11	88	87	11
3	р. Кострома и р. Унжа		124	6	150	121	5
4	р. Москва		93	0	93	100	0
5	р. Ока, включая бассейн р. Москвы		65	0	109	168	0
6	р. Сура		77	10	135	175	13
7	р. Ветлуга		133	38	172	129	29
8	Чебоксарское водохранилище		77	7	123	160	9
9	р. Вятка		148	92	154	104	62
10	Куйбышевское водохранилище		132	53	147	111	40
11	Саратовское водохранилище		87	7	124	143	8
12	Волгоградское водохранилище		57	0	86	151	0
13	р. Кама		179	180	158	88	101
14	р. Белая		137	115	129	94	84
15	**ДОН, в том числе:**		**38**	**0**	**47**	**121**	**0**
16	Хопер		49	0	79	161	0
17	Медведица		47	0	48	102	0
Реки северо-запада							
18	Нарва		47	0	8	17	0
19	Волхов		60	0	34	57	0
Реки севера ЕЧР и Западной Сибири							
20	Северная Двина		121	147	124	102	121
21	Сухона		125	88	128	102	70
22	Вага		124	78	99	80	63
23	Юг		115	119	144	125	103
24	Пинега		101	192	102	101	190
25	Вычегда		139	196	138	99	141
26	Мезень		140	215	123	88	154
27	Верхняя Обь		83	119	118	142	143
28	Тобол		61	50	87	143	82
Реки и водохранилища Сибири. Все данные на 20 марта 2021 г.							
29	Енисей	(Саяно-Шушенское водохранилище)	118	169	168	142	143
30	Енисей	(Красноярское водохранилище)	120	141	188	157	118
31	Ангара	(оз. Байкал)	79	88	101	128	111
32	Ангара	(Братское водохранилище)	70	79	95	136	113
33	Ангара	(Усть-Илимское водохранилище)	117	142	126	108	121

Примечание: все данные приведены на 20 марта 2021 года

В 2021 г. на большей части России зима была в целом холоднее нормы. На азиатской территории страны снег начал таять в экстремально ранние сроки, а на европейской территории – в почти нормальные сроки, поэтому максимальные запасы воды в снеге наблюдались почти повсеместно 20 марта 2021 г.

По состоянию на 20 марта 2021 г. запасы воды в снежном покрове в бассейнах Костромы, Унжи, Оки, Москвы-реки, Суры, Ветлуги, Чебоксарского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ составили 121-175% нормы, на остальных территориях бассейна Волги – 87-111% нормы. Снегозапасы, сформировавшиеся в бассейне Камы оказались на 22 мм меньше, чем на аналогичную дату прошлого года, в остальных бассейнах – на 14-144 мм больше значений 20 марта 2020 года.

В целом в бассейне Волги запасы воды в снеге составили 114% нормы (на 76 мм больше значений аналогичной даты прошлого года). В бассейне Дона (выше Цимлянского водохранилища) и Хопера снегозапасы составили 121-161%, в бассейне Медведицы – 102% нормы и оказались на 47-79 мм больше аналогичных значений прошлого года. Снегозапасы в бассейнах рек севера Европейской территории России составили 80-125% нормы. Запасы воды в снеге в бассейнах Северной Двины, Пинеги, Вычегды и Мезеня оказались меньше прошлогодних значений на 23-92 мм; в бассейнах Сухоны, Ваги, и Юга – на 21-40 мм больше их. На северо-западе, в бассейнах Нарвы и Волхова, снегозапасы составили 17-57% нормы.

В Сибири запасы воды в снеге на 20 марта составили 108-157% нормы. Запас воды в снеге в бассейнах Верхней Оби, Саяно-Шушенского и Усть-Илимского водохранилищ оказался на 1-16 мм меньше значений 20 марта прошлого года; в бассейнах Тобола, Красноярского, Братского водохранилищ и озера Байкал – на 13-47 мм больше аналогичных значений 2020 года. Значительные снегозапасы (от 110 до 200% месячной нормы) наблюдались на севере, северо-востоке и на юге Республики Саха (Якутия) в бассейнах рек Оленек, Яна, Колыма, в верховьях Лены и в самом верхнем, горном участке реки Алдан. На остальной территории снегозапасы оказались в пределах средних многолетних значений и меньше. Запасы воды в снежном покрове по состоянию на начало весны в верхнем течении Колымы составили от 50 до 90%, в бассейнах рек Охотского побережья Магаданской области – 40-60% от среднемноголетних значений.

Многолетние изменения характеристик снежного покрова

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений максимальных за зимний период значений высоты снежного покрова на интервале 1976 - 2021 гг., рассчитанных по данным станционных наблюдений на территории России, показано на рисунке 3.4а. Тренд выражен в см/10 лет.

Как и в период 1976-2020 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова в северных, юго-западных и юго-восточных районах Западной Сибири, на побережье Охотского моря, в центре ЕЧР, на Урале, севере Таймыра, в центре и на юге Красноярского края, востоке Якутии, в Чукотском АО и на юге Камчатки. Уменьшение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается на северо-западе и отдельных станциях на севере ЕЧР, севере Камчатского края, северо-западе Республики Саха-Якутия, юго-западе Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края. Рекордные высоты снежного покрова, отмеченные в прошедшем сезоне на Алтае, замедлили уменьшение в этом районе максимальной высоты снежного покрова. При осреднении по регионам, статистически значимые на 5%-уровне положительные коэффициенты линейного тренда получены как для России в целом, так и для всех квази-однородных районов (таблица 3.4).

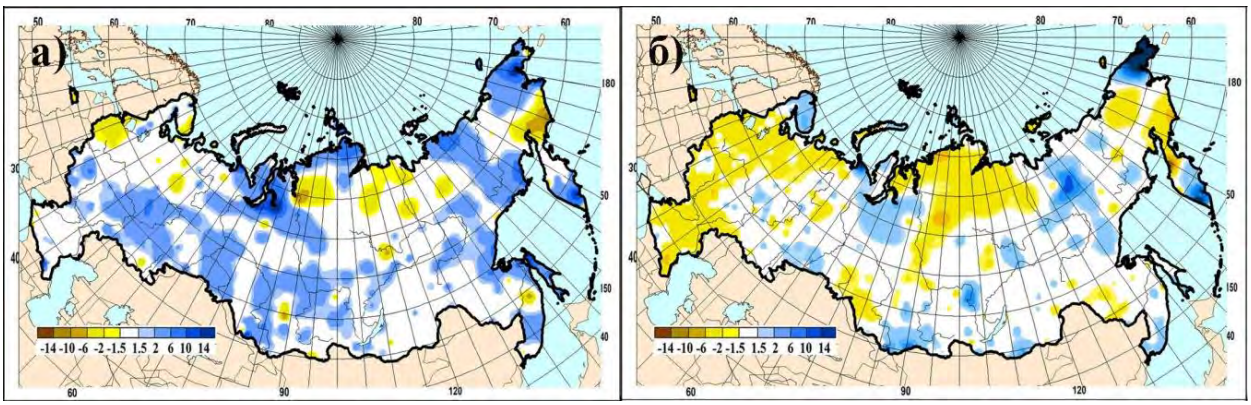


Рисунок 3.4 – а) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова. б) Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2021 гг.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда числа дней с покрытием снегом более 50% территории вокруг метеорологической станции приведено на рисунке 3.4б (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-уровне). В период с 1976 по 2021 гг. на значительной части страны выявлена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова: на большей части ЕЧР, севере Восточной Сибири, юге Западной Сибири, северо-западе Республики Саха-Якутия, севере Камчатского края, западе Чукотского АО и в Амурской области. Сохраняется тенденция увеличения числа дней со снежным покровом на Кольском полуострове, в горных районах Алтая и Саян, на северном и западном побережье Охотского моря, в среднем течении Ангары, востоке Якутии, в южных районах Камчатки. В среднем для России число дней со снегом сокращается на 1.26 дня за 10 лет (таблица 3.4) против 1.17дня/10 лет за прошлый период, то есть аномалия последнего года значительно увеличила скорость сокращения продолжительности залегания снежного покрова.

Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2021 гг. по данным маршрутных наблюдений не претерпели больших изменений по сравнению с периодом 1976-2020 гг. ни в поле, ни в лесу (рисунок 3.5).

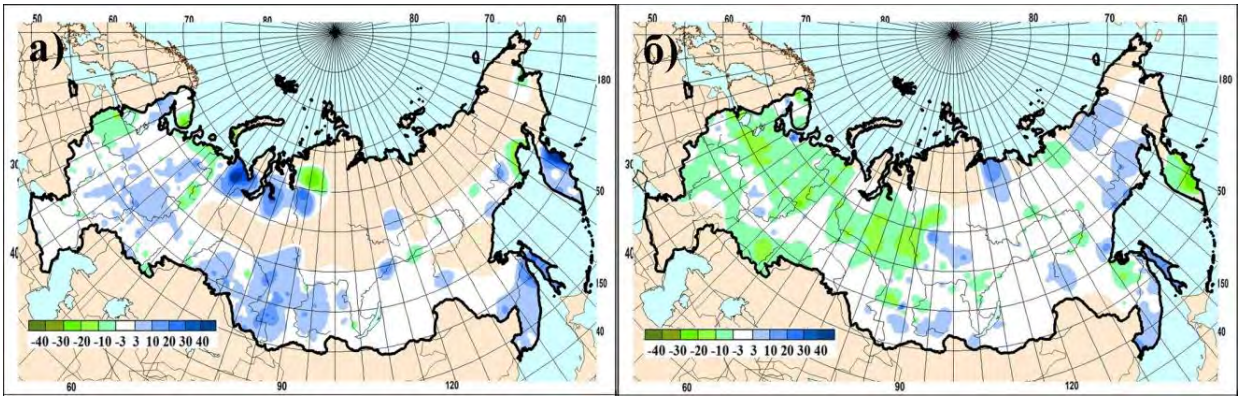


Рисунок 3.5 – Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б). 1976-2021 гг.

По данным на полевых маршрутах наблюдается увеличение запаса воды в снеге в центральных районах ЕЧР, северных и южных районах Западной Сибири, на Камчатке, Сахалине и в Приморье (рисунок 3.5а). Сохраняется тенденция уменьшения запаса воды в снеге в поле на северо-западе и севере ЕЧР, Полярном Урале и в прибрежных районах Магаданской области. Средний для страны в целом запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в поле увеличивается на 2.17 мм за 10 лет.

На Дальнем Востоке (район VII), в горных районах Алтая и Саян (район VIII), в центре и юге Восточной Сибири (район VI), запас воды в снеге в поле увеличивается

(таблица 3.4). По данным маршрутных наблюдений в лесу (рисунок 3.5б) на территории России по-прежнему преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге, причем эта тенденция усилилась.

Таблица 3.4 – Оценки линейного тренда (значимые на 5%-м уровне) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2021 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	1.45	-1.26	2.17	-1.74
Север ЕЧР и Западной Сибири	1.54			
Сев. Восточной Сибири и Якутии		-1.79		
Чукотка и север Камчатки	3.51		-8.08	
Центр ЕЧР		-3.26		-6.09
Центр и юг Западной Сибири	1.83		4.16	
Центр и юг Восточной Сибири	1.14			
Дальний Восток	2.67		6.03	
Алтай и Саяны	1.26		5.04	
Юг ЕЧР				

Средний для страны запас воды в снеге уменьшается на 1.74 мм за 10 лет, что значительно больше, чем в предыдущий период. Наиболее обширная зона положительных коэффициентов линейного тренда охватывает северное и западное побережье Охотского моря, восток Якутии, южные районы Хабаровского края, Приморье и Сахалин. При оценке региональных изменений получены значимые отрицательные тренды запаса воды в снеге по данным снегосъемок на лесных маршрутах в центре ЕЧР (IV район), на полевых маршрутах - на Чукотке и севере Камчатки (район III).

Выводы

Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2020-2021 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы, отрицательная аномалия вошла в десятку наименьших за рассматриваемый период. На большей части страны отмечены отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова. В северных районах страны отрицательная аномалия продолжительности залегания снежного покрова оказалась рекордной. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась значительно выше климатической нормы и попала в десятку наибольших значений в ранжированном ряду, при этом значения максимальной высоты снега в II, III, V, VI и VIII квази-однородных регионах также вошли в десятку самых высоких значений. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался значительно ниже нормы в лесу, но превысил норму в поле. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены во всех квази-однородных регионах, за исключением VI и VIII, при этом значения в I и III районах, как и для России в целом, попали в десятку наименьших. В поле значительные отрицательные аномалии запаса воды в снеге получены на севере ЕЧР и Западной Сибири, севере Восточной Сибири и Якутии, на Чукотке и Камчатке (I, II и III регионы соответственно), причем значения запаса воды в снеге на полевых маршрутах на Чукотке и Камчатке оказались рекордно низкими.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова. Как и в период 1976 - 2020 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. Тенденции изменений максимального за зиму запаса воды в снеге с 1976 по 2021 гг. по данным маршрутных наблюдений в поле не изменились. По данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

4. 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 1984-2013 гг. Анализ проведен по данным 1338 станций. В континентальных районах азиатской территории России на многих метеорологических станциях отсутствует гололедный станок, т.к. на территории этого района в зимнее время в зоне влияния Сибирского антициклона преобладают арктические воздушные массы, которые характеризуются очень низкой температурой и малой влажностью, поэтому условий для образования гололедно-изморозевых отложений практически нет.

Анализ изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений (ГИО) проводился по данным на метеорологических станциях и по рядам средних для 18 квази-однородных климатических регионов характеристик. Осреднение по регионам производилось поэтапно: сначала аномалии, рассчитанные на станциях, арифметически осреднялись по ячейкам регулярной сетки 1°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 2020/2021 г.

На рисунке 4.1 представлено пространственное распределение аномалий гололеда, кристаллической изморози и отложения мокрого снега. Суммарные за холодный период аномалии числа случаев **гололеда** (рисунок 4.1а) были положительными на восточной половине ЕЧР и юге УФО. Это связано с преобладанием циклонического характера погоды и выносом теплого и влажного воздуха с Атлантики в эти районы, когда создавались благоприятные условия для образования гололеда. Отрицательные аномалии числа случаев гололеда отмечались на западе ЕЧР, юге Западной Сибири. Мощный очаг отрицательных аномалий числа случаев **кристаллической изморози** (рисунок 4.1б) сформировался на всей ЕЧР (от 5 до 10 дней), что обусловлено аномально теплой погодой в рассматриваемый холодный период. Менее обширные области отрицательных аномалий наблюдаются на юге Сибири, на Чукотке, Камчатке и в Магаданской области. Положительные аномалии числа случаев кристаллической изморози отмечаются на севере Камчатского края, востоке Магаданской области, западе Чукотки и в Амурской области (от 5 до 10 дней и более). Положительные аномалии преобладали в распределении числа случаев **отложения мокрого снега** (рисунок 4.1в), поскольку сезон 2020-2021 года выдался не только теплым, но и довольно снежным. Реже, чем обычно, отложение мокрого снега отмечалось в Крыму, Псковской и Читинской областях.

Распределение аномалий суммарной продолжительности рассматриваемых отложений представлено на рисунке 4.2.

На ЕЧР распределение продолжительности **гололеда** носит пятнистый характер, однако можно отметить, что на 12-24 часа меньше сохранялся гололед в западных областях и на юге, а также на востоке Архангельской области (рисунок 4.2а).

Отрицательные аномалии продолжительности **кристаллической изморози** отмечаются в западной половине ЕЧР (рисунок 4.2б), на севере Западной Сибири, в Забайкалье, на севере Чукотки и в Камчатском крае (от 12 до 48 часов). Максимальные положительные аномалии наблюдаются на юге Западной Сибири, юге Красноярского края, в Тыве, Амурской области, востоке Якутии, Магаданской области (24-72 ч). На ЕЧР и в Западной Сибири преобладали положительные аномалии продолжительности **отложения мокрого снега** (рисунок 4.2в).

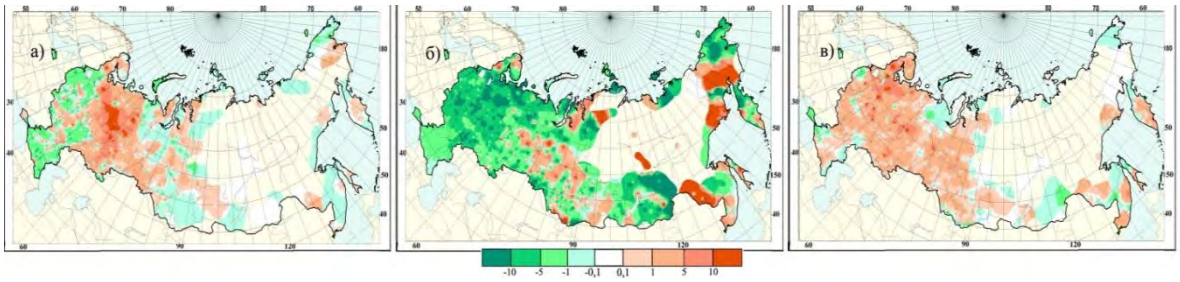


Рисунок 4.1 – Аномалии суммарного за холодный период числа случаев (дни): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега.

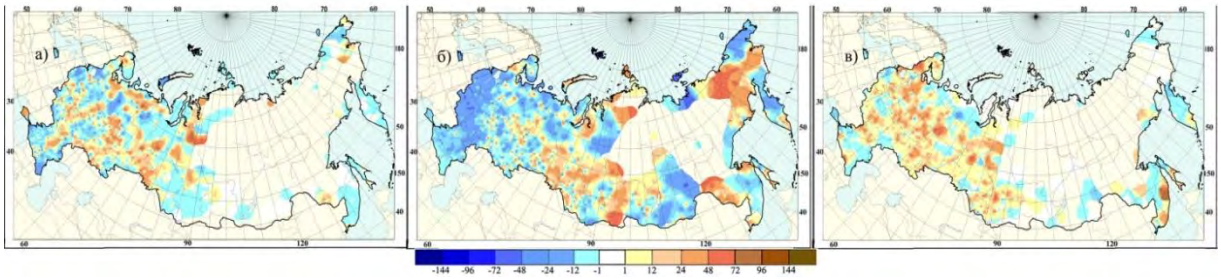


Рисунок 4.2 – Аномалии суммарной за холодный период продолжительности (часы): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега.

Анализ пространственного распределения аномалий веса **гололеда** (рисунок 4.3а) показывает, что преобладали отрицательные аномалии веса гололеда. Максимальные отрицательные аномалии наблюдались на юге ЦФО, западе ЮФО и в Ставропольском крае (0.8-1.6 г/см). Положительные аномалии веса гололеда отмечались на востоке ЕЧР (1.2-1.6 г/см). Отрицательные аномалии веса **кристаллической изморози** преобладают на ЕЧР, севере и юге Западной Сибири, Камчатском крае и на Чукотке (1.2-1.6 г/см и более). Небольшие очаги положительных аномалий веса кристаллической изморози прослеживаются на северо-востоке, юге и в центре УФО (рисунок 4.3б).

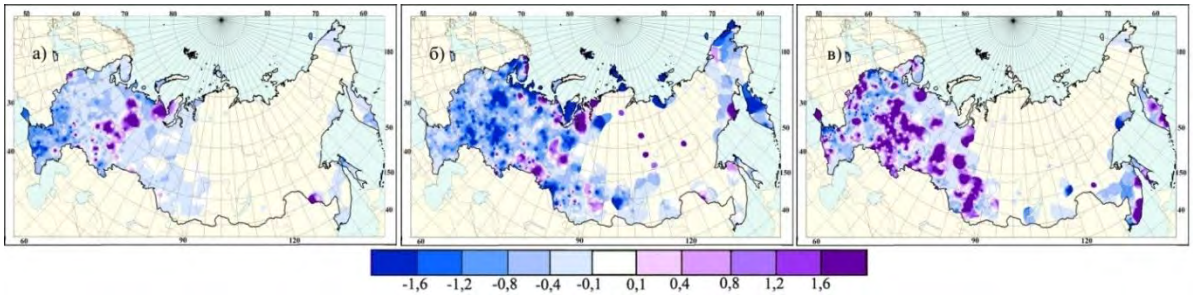


Рисунок 4.3 – Аномалии среднего за холодный период веса (г/см): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега.

Значительные положительные аномалии веса **отложения мокрого снега** (рисунок 4.3в) отмечаются в Крыму, ПФО, на Кавказе, западе ЦФО, юге УФО, востоке Западной Сибири, Приморского и Камчатского краев (1.2-1.6 г/см и более). Наиболее выраженные

отрицательные аномалии веса отложения мокрого снега получены в Краснодарском крае, востоке ЦФО и юго-западе СЗФО.

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

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда суммарного за холодный период числа дней **гололеда** приведено на рисунок 4.4а. В ПФО, на юго-востоке ЦФО, в Краснодарском крае, Калмыкии, Астраханской и Мурманской областях, на юге ЯНАО выявлена тенденция увеличения числа случаев гололеда (1.2-1.6 дней за 10 лет). На многих метеорологических станциях этот тренд статистически значим на 5% уровне. При региональном осреднении (таблица 4.1, номер региона в таблице соответствует номеру на рисунке 4 Введения) в трех регионах получен статистически значимый тренд (5, 7 и 10 регионы).

По данным на метеорологических станциях получены ярко выраженные значимые как отрицательные, так и положительные значения коэффициентов линейного тренда числа случаев **кристаллической изморози** (рисунок 4.4б). В отдельных квази-однородных регионах были получены значимые на 5% уровне тенденции (таблица 4.1). Наибольший коэффициент линейного тренда отмечается в центральной части Восточной Сибири.

Положительный тренд числа случаев **отложения мокрого снега** выявлен для большей части территории России (рисунок 4.4в). Статистически значимые положительные тенденции отмечены в двенадцати регионах (таблица 4.1). Наибольший тренд числа дней отложения мокрого снега фиксируется на северо-западе Восточно-Европейской равнины (1.3 дня /10 лет), где вклад тренда в дисперсию ряда составляет 78%. И в целом по территории России получен статистически значимый тренд числа случаев отложения мокрого снега (b=0.5 дня /10лет, d= 68 %).

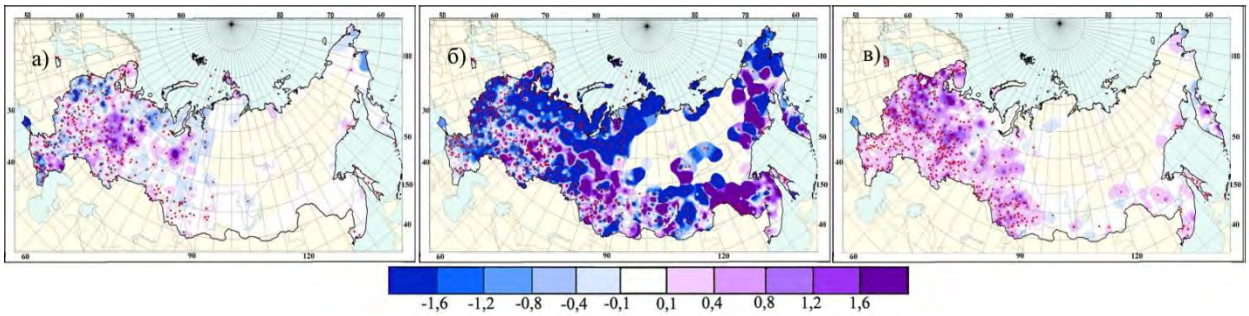


Рисунок 4.4 – Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) суммарного за холодный период числа дней: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. *Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне*.

На рисунке 4.5 представлено пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах суммарной за холодный период продолжительности ГИО. Тенденция увеличения продолжительности **гололеда** (рисунок 4.5а) обнаружена в центральных районах ЕЧР и в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО). При региональном осреднении рост продолжительности гололеда (значимый на 5 % уровне) получен на юго-востоке Восточно-Европейской равнины (b=2.8 ч /10 лет, d=12 %) и севере лесной зоны Западной Сибири (b=3.6 ч /10 лет, d=25 %).

На большей части ЕЧР наблюдается уменьшение продолжительности **кристаллической изморози**, особенно значительное на арктическом побережье, на северо-западе Красноярского края и на востоке Чукотки (более 96 часов). Рост продолжительности кристаллической изморози отмечается в ЯНАО и Амурской области. При региональном осреднении наибольший статистически значимый отрицательный

тренд получен в степной части Восточно-Европейской равнины (b= -3.2 ч /10 лет, d=26%), а наибольший положительный – на Дальнем Востоке между 50N и 60N (b=4.5 ч /10лет, d=23%).

Таблица 4.1 – Оценки линейного тренда аномалий числа случаев ГИО; 1984-2021 гг., *b - коэффициент линейного тренда (дни/10лет), d - вклад тренда в общую дисперсию ряда (%).*

Регионы	№	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
		b	d	b	d	b	d
Атлантическая Арктика	1	0.1	4	**-1.2**	16	**0.6**	66
Сибирская Арктика	2	-0.0	6	0.7	3	0.0	0
Тихоокеанская Арктика	3	0.0	0	-1.0	3	0.0	0
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0.2	2	**-1.4**	16	**1.3**	78
СВ Восточно-Европейской равнины	5	**1.0**	26	0.2	0	**0.7**	61
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0.1	1	**-1.4**	27	**0.7**	54
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	**0.6**	15	.1	0	**0.5**	60
Степная часть Вост.-Европ. равнины	8	0.0	0	**-1.1**	14	**0.2**	22
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0.1	0	-0.4	8	**0.3**	30
Север лесной зоны Западной Сибири	10	**0.3**	12	-1.0	7	**0.1**	14
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0.1	1	0.4	1	**0.2**	25
степная зона Западной Сибири	12	0.2	4	0.0	0	**0.4**	51
Алтай и Саяны	13	0.0	0	0.3	2	**0.4**	34
Центральная часть Восточной Сибири	14	0.0	3	**5.1**	57	0.1	6
Бассейн Ангары	15	0.0	1	0.3	1	0.0	0
Забайкалье	16	0.0	0	0.1	0	0.0	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0.0	0	**3.4**	50	0.2	10
Дальний Восток южнее 50°N	18	0.1	9	**1.7**	51	**0.4**	19
РФ		0,1	5	0.0	0	**0.5**	68
ЕЧР		0,3	10	-0.7	8	0.6	67

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

Тенденция увеличения продолжительности **отложения мокрого снега** выявлена почти на всей ЕЧР и Западной Сибири. Во многих квази-однородных регионах (таблица 4.2) отмечается рост продолжительности отложения мокрого снега, наибольший коэффициент линейного тренда получен на северо-западе Восточно-Европейской равнины b составляет 7.7ч /10 лет, вклад тренда в дисперсию ряда – 75%. В целом для территории России и для ЕЧР получен статистически значимый положительный тренд продолжительности мокрого снега. (b= 3.1 и 4.1ч / 10 лет соответственно).

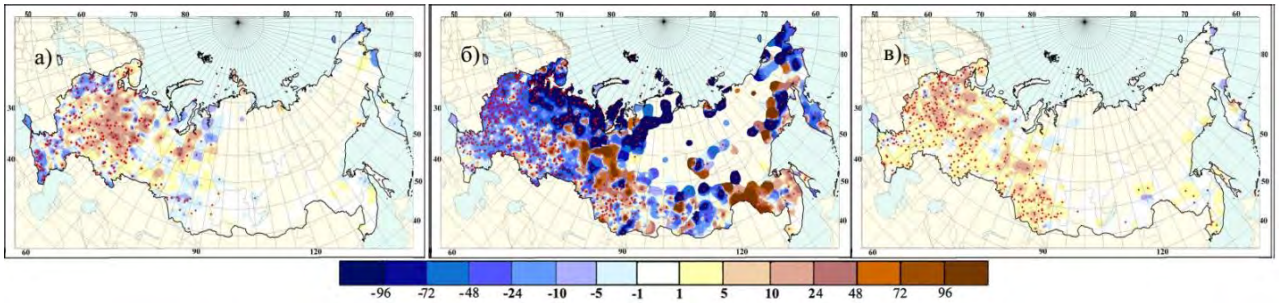


Рисунок 4.5 – Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. *Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне.*

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднего за холодный период веса **гололеда** представлено на рисунке 4.6а. Тенденция уменьшения

веса гололеда выявлена в Южном ФО, на юго-западе Центрального, юге Приволжского ФО, арктическом побережье ЕЧР, севере Урала и востоке Чукотки (0.8-1.6г/см /10лет). Рост веса гололеда отмечается на северо-западе Приволжского, северо-востоке Центрального ФО, северо-западе Коми (0.4-1.2г/см /10лет). При региональном осреднении значимый отрицательный коэффициент линейного тренда веса гололеда получен на юго-востоке Восточно-Европейской равнины (7 регион) (таблица 4.3).

Таблица 4.2 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности ГИО; 1984-2021 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	-1.2	8	3.0	71
Сибирская Арктика	2	-0.5	1	2.8	8	-0.0	0
Тихоокеанская Арктика	3	1.4	5	0.7	0	0.2	2
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	-0.9	1	-0.7	2	**7.7**	75
СВ Восточно-Европейской равнины	5	2.6	11	2.1	10	**4.8**	55
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0.8	1	**-2.6**	19	**4.2**	44
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	**2.8**	12	**2.2**	11	**3.0**	47
Степная часть Вост-Европ. равнины	8	0.9	3	**-3.2**	26	**2.1**	41
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-1.0	3	-2.2	7	**2.0**	28
Север лесной зоны Западной Сибири	10	**3.6**	25	2.4	6	**1.7**	13
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0.2	0	**2.8**	13	3.1	58
Степная зона Западной Сибири	12	-0.2	0	0.8	1	**2.5**	35
Алтай и Саяны	13	0.1	0	1.7	5	**3.0**	55
Центральная часть Восточной Сибири	14	0.3	6	4.5	7	0.3	2
Бассейн Ангары	15	0.0	0	**3.2**	11	0.2	1
Забайкалье	16	-0.0	0	2.0	3	-0.1	0
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	-0.5	6	**4.5**	23	**1.7**	11
Дальний Восток южнее 50°N	18	0.5	3	**4.4**	39	**3.5**	24
РФ		0,5	3	0.7	2	**3.1**	77
ЕЧР		0,6	67	0.2	0	**4.1**	76

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

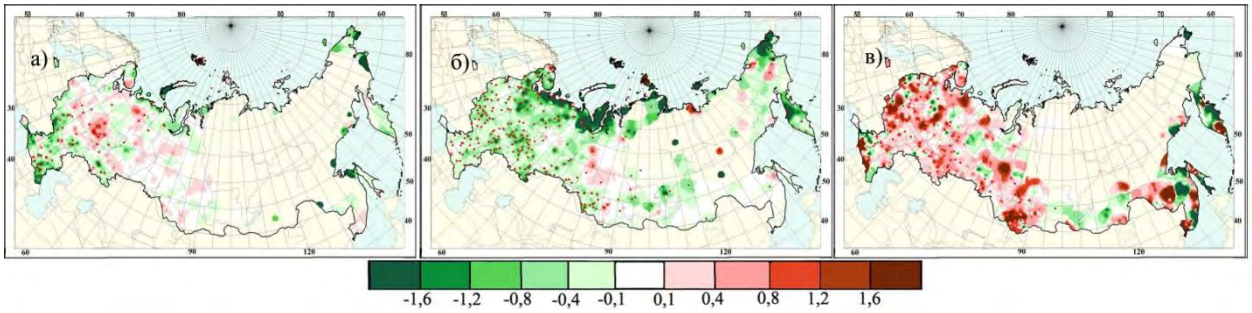


Рисунок 4.6 – Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега. *Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5% уровне.*

На большей части территории России отмечается уменьшение веса **кристаллической изморози** (рисунке 4.6б). Максимальные отрицательные коэффициенты линейного тренда наблюдаются на арктическом побережье ЕЧР, Западной Сибири, Чукотке и западе Камчатки (1.6г/см /10лет и более). При оценке региональных изменений (таблица 4.3) значимые отрицательные тренды получены в семи районах (1, 2, 4, 6, 7, 8, 9) и в целом для ЕЧР.

Тенденция роста **отложения мокрого снега** (рисунок 4.6в) преобладает на ЕЧР, в Западной Сибири, Амурской области, юго-западе и северо-востоке Приморского края (1.2-1.6 г/см /10 лет). При региональном осреднении выявлены положительные тенденции веса отложения мокрого снега в целом для ЕЧР, на северо-западе, северо-востоке и юго-западе Восточно-Европейской равнины, в атлантической Арктике, а также в регионе – Алтайские и Саянские горы и предгорье (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий веса ГИО; 1984-2021 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	0	**-0.3**	21	**0.1**	12
Сибирская Арктика	2	-0.2	10	**-0.3**	15	0.0	1
Тихоокеанская Арктика	3	0.0	1	-0.1	2	0.1	5
СЗ Восточно-Европейской равнины	4	0.0	0	**-0.3**	31	**0.3**	25
СВ Восточно-Европейской равнины	5	0.0	0	-0.1	5	**0.1**	21
ЮЗ Восточно-Европейской равнины	6	0.0	1	**-0.2**	14	**0.3**	38
ЮВ Восточно-Европейской равнины	7	**0.1**	15	**-0.2**	14	0.1	7
Степная часть Восточно-Европейской равнины	8	0.0	0	**-0.3**	22	0.1	5
Степи и предгорье Северного Кавказа	9	-0.0	1	**-0.1**	13	0.1	8
Север лесной зоны Западной Сибири	10	-0.0	1	-0.1	1	0.1	9
Юг лесной зоны Западной Сибири	11	0.0	0	-0.1	3	0.1	7
степная зона Западной Сибири	12	0.0	0	-0.2	7	0.0	4
Алтай и Саяны	13	-0.0	0	0.0	0	**0.3**	30
Центральная часть Восточной Сибири	14	0.0	0	0.2	3	0.1	1
Бассейн Ангары	15	0.0	0	-0.1	1	0.2	3
Забайкалье	16	0.0	0	-0.1	10	-0.1	2
Дальний Восток между 50°N и 60°N	17	0.0	0	-0.1	8	0.1	5
Дальний Восток южнее 50°N	18	0.0	0	0.0	0	0.2	6
РФ		0,0	8	0.0	0	0.1	8
ЕЧР		0,1	5	**-0.1**	13	**0.1**	12

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

5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области ведется как для области в целом, так и для отдельных ее частей (рисунок 5 Введения) на основе постоянно пополняемой базы приземных метеорологических данных для полярных районов (http://www.aari.nw.ru), содержащей данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев МПАБ. Ниже приводятся оценки изменения температуры воздуха и количества осадков СПО за период 1936–2021 гг.

Температура воздуха. Основным методом получения пространственно осредненных по территории северной полярной области и территориям климатических районов аномалий температуры воздуха является метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены относительно рекомендованного ВМО стандартного периода 1961-1990 гг. В качестве сезонов рассматривались: зима (декабрь 2020 г. – февраль 2021 г.), весна (март-май), лето (июнь-август).

Оценка аномалий среднtq сезонной температуры воздуха в 2021 г. по отдельным широтным зонам (70-85, 60-70, 60-85° с. ш.) представлена в таблице 5.1.

Значение пространственно осредненной аномалии температуры воздуха СПО составили: зимней 1.6°С, весенней 2.3°С и летней 1.4°С. Соответственно в ряду наибольших значений зимний сезон стал двенадцатым, весенний восьмым, а летний – пятым за весь период наблюдений с 1936 г. В широтной зоне 70-85° с. ш. наиболее теплым в 2021 г. оказался зимний сезон, в широтной зоне 60-70° с. ш. – летний. Аномалия зимней температуры воздуха в широтной зоне 70-85° с. ш. составила 3.6°С, а летней температуры в зоне 60-70° с. ш. составила 1.5°С.

Таблица 5.1 – Аномалии температуры воздуха (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) на территории СПО и отдельных широтных зон в среднем за сезоны 2021 г., °С.

Широтная зона, °с. ш.	Зима		Весна		Лето	
	ΔT	***R***	***ΔT***	***R***	***ΔT***	***R***
70-85	3.6	4	2.7	9	1.2	7
60-70	0.0	26	1.8	11	1.5	4
60-85	1.6	12	2.3	8	1.4	5

Пространственное распределение аномалий среднесезонных температур воздуха на территории СПО приведено на рисунке 5.1. Значения аномалий, пространственно осредненных в целом по рассматриваемым районам, представлены в таблице 5.2, а характеристики линейного тренда, оцененные за 1936-2021 гг., приведены в таблице 5.3.

Временные ряды пространственно осредненных для районов арктических морей средней за сезоны температуры воздуха, аппроксимированные линейным трендом за весь период, последний тридцатилетний и десятилетний периоды, представлены на рисунках 5.2 – 5.4.

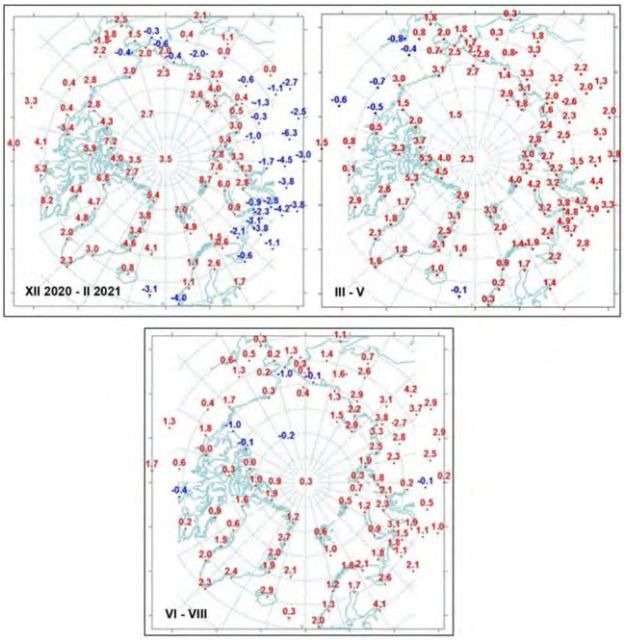


Рисунок 5.1 – Аномалии средних сезонных температур воздуха на станциях СПО, °С.

В зимнем сезоне основная область положительных аномалий температуры воздуха располагалась в атлантикоамериканском секторе СПО. Значения пространственно осредненных по территориям районов аномалий составили: в Атлантическом 2.5°С, Канадском 4.2°С и в Аляскинском 2.4°С. Для Канадского района прошедшая зима оказалась третьей по рангу теплых лет с 1936 г. В евразийском секторе величины аномалий составили от 0.2 до 1.2°С.

Таблица 5.2 – Аномалии (отклонение от нормы за 1961-1990 гг.) температуры воздуха в 2021 г. для отдельных районов СПО в среднем за сезоны, °С.

Климатический район СПО	Зима		Весна		Лето	
	Аномалия	Ранг	Аномалия	Ранг	Аномалия	Ранг
Атлантический	2.5	9	1.7	7	1.7	2
Североевропейский	0.6	34	2.8	8	1.8	4
Западносибирский	0.3	36	3.4	12	1.2	11
Восточносибирский	0.2	25	2.5	13	2.9	1
Чукотский	1.2	19	2.1	16	1.1	10
Аляскинский	2.4	14	1.4	17	0.4	14
Канадский район	4.2	3	2.0	11	0.9	10
Канадский район (северная часть)	4.7	5	2.5	4	1.6	6
Гренландское и Норвежское моря (северная часть) 33	2.8	22	2.6	10	1.2	9
Баренцево море	4.0	19	3.2	16	1.6	7
Карское море	3.6	6	2.3	13	2.6	2
Море Лаптевых	2.7	7	2.7	12	1.4	8
Восточно-Сибирское море	2.1	17	2.6	15	-0.2	24
Чукотское море	3.2	10	2.4	13	0.2	17
Море Бофорта	5.0	1	3.3	4	0.9	20

На метеорологических станциях в районах арктических морей и на территории суши севернее 70° с. ш. отмечались преимущественно положительные аномалии температуры воздуха. Крупные положительные аномалии наблюдались в северной части Канадского района, в северной части Гренландского и Норвежского морей. Пространственно осредненная аномалия в северной части Канадского района составила 5.0°С. Здесь зимний сезон 2020/21 г. оказался наиболее теплым за весь период наблюдений. В районе северной части Гренландского и Норвежского морей аномалия составила 4.7°С, и прошедшая зима стала третьей по рангу теплых лет с 1936 г.

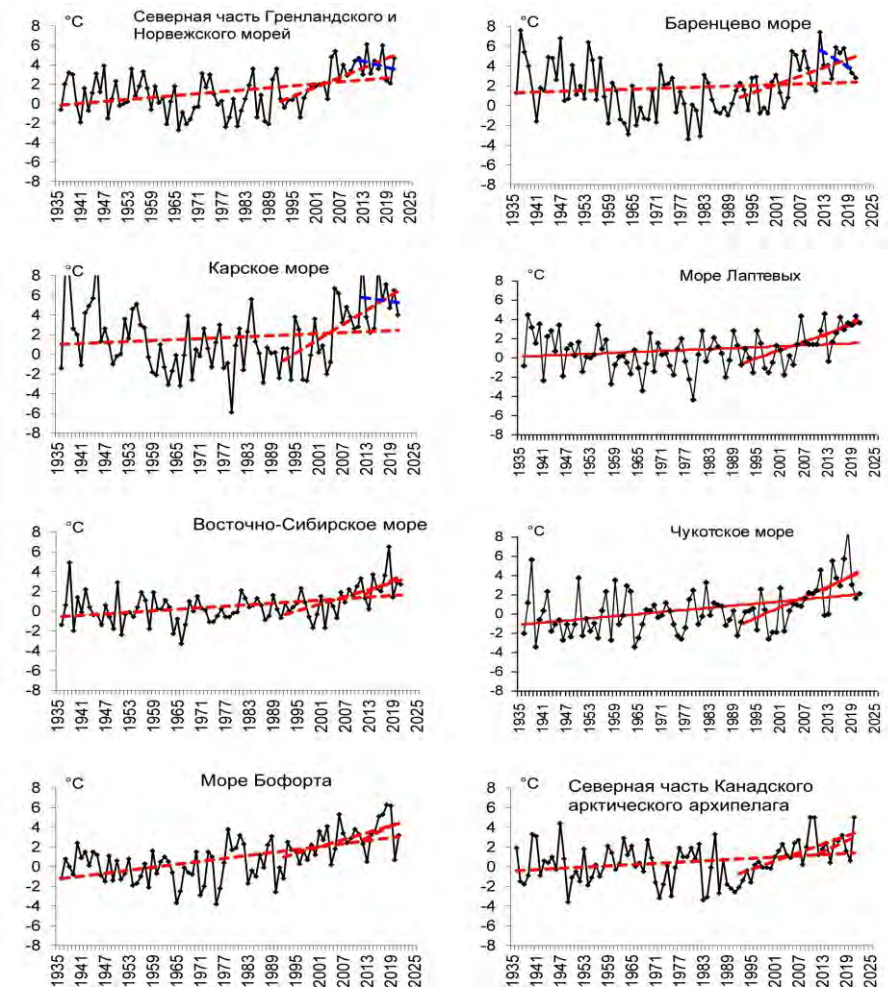


Рисунок 5.2 – Временные ряды аномалий средней за зимний сезон температуры воздуха для районов арктических морей и севера Канадского Арктического архипелага, °С.

В весеннем сезоне область крупных положительных аномалий температуры воздуха отмечалась в евразийском секторе. Аномалия температуры в Североевропейском, Западносибирском и Восточносибирском районах составили 2.8, 3.4 и 2.5°С соответственно. Прошедший сезон в Североевропейском стал восьмым, а в Западносибирском и Восточносибирском – двенадцатым и тринадцатым теплым сезоном по рангу теплых лет с 1936 г.В районах арктических морей наблюдались только положительные аномалии температуры. Наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в районе Карского моря и в северной части Канадского района. В северной части Канадского района прошедший весенний сезон стал четвертым теплым сезоном по рангу теплых лет.

Таблица 5.3 – Коэффициенты линейного тренда средней за сезон температуры воздуха за период 1936-2021 гг. по регионам СПО, ***b***, **°С/10 лет** – коэффициент линейного тренда, ***D*, %** – вклад тренда в дисперсию.

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето	
	b	***D%***	***b***	***D%***	***b***	***D%***
Широтные зоны						
70-85° с. ш.	**0.25**	39.5	**0.30**	56.2	**0.15**	58.3
60-70° с. ш.	**0.23**	45.9	**0.26**	57.8	**0.16**	64.8
60-85° с. ш.	**0.24**	47.8	**0.28**	58.5	**0.15**	63.6
Районы СПО						
Атлантический	0.23	2.8	0.17	45.9	**0.13**	49.6
Североевропейский	0.16	16.0	0.31	48.0	**0.12**	30.3
Западносибирский	0.16	14.2	0.38	42.2	**0.15**	39.2
Восточносибирский	**0.27**	35.0	0.38	50.2	**0.18**	47.0
Чукотский	**0.19**	26.1	0.34	47.7	**0.21**	60.1
Аляскинский	**0.43**	48.0	0.31	41.0	**0.18**	54.1
Канадский	**0.27**	37.0	0.10	20.6	**0.13**	45.2
Моря как часть климатического района						
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	**0.33**	39.6	0.26	50.6	**0.19**	63.2
Баренцево море	0.12	12.2	0.27	41.9	**0.11**	32.4
Карское море	0.17	12.7	0.38	40.4	**0.12**	34.0
Море Лаптевых	0.17	21.3	0.33	42.8	**0.16**	39.4
Восточно-Сибирское море	**0.26**	39.1	0.33	45.8	**0.08**	24.7
Чукотское море	**0.37**	39.7	0.38	45.0	**0.15**	58.3
Море Бофорта	**0.50**	57.2	0.28	46.2	**0.20**	51.5
Северная часть Канадского района	**0.21**	26.6	0.12	20.5	**0.20**	53.7

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

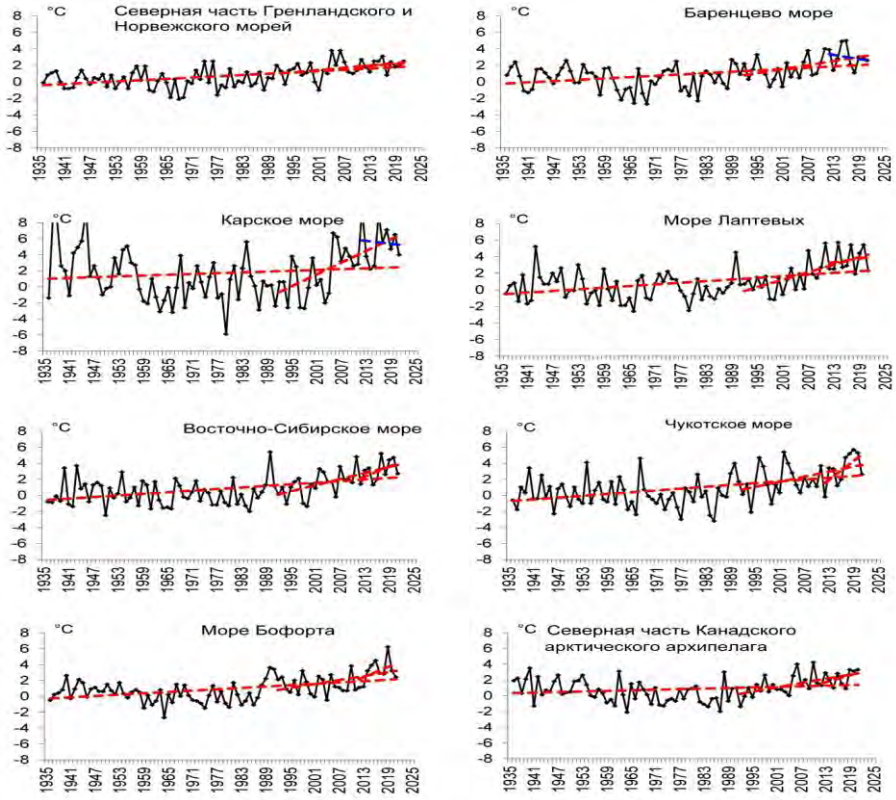


Рисунок 5.3 – Временные ряды аномалий средней за весенний сезон температуры воздуха для районов арктических морей и севера Канадского Арктического архипелага, °С.

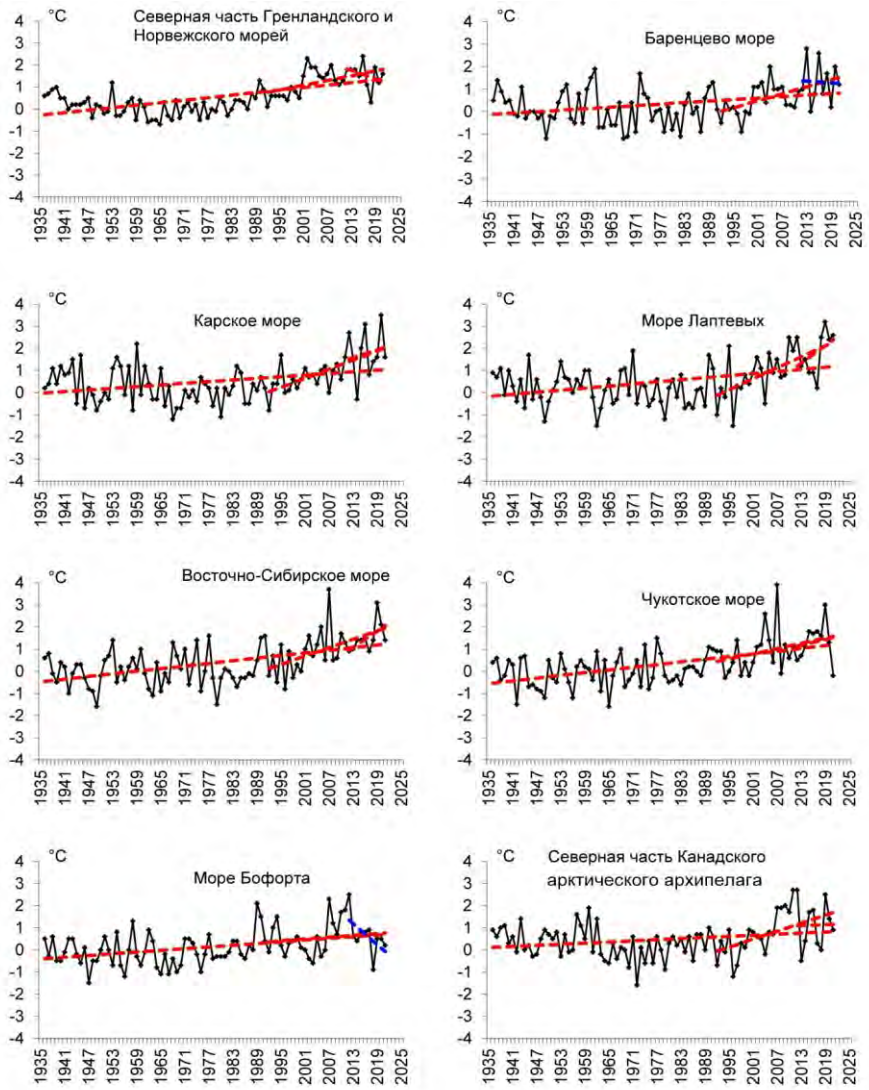


Рисунок 5.4 – Временные ряды аномалий средней за летний сезон температуры воздуха для районов арктических морей и севера Канадского Арктического архипелага, °С.

В летнем сезоне основная область крупных положительных аномалий температуры по-прежнему находилась в евразийском секторе. Аномалия температуры в Восточносибирском районе составила 2.9°С. По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

В южной части Чукотского моря и в восточной части моря Бофорта наблюдались небольшие отрицательные аномалии температуры. В арктических морях наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в северной части Гренландского и Норвежского морей, а также в районе морей азиатского сектора – Лаптевых и Восточно-Сибирского. В районе моря Лаптевых осредненная аномалия составила 2.6°С. По рангу теплых лет это второе наибольшее значение с 1936 г.

В среднесезонной температуре воздуха СПО значимый тренд обнаруживается во всех сезонах. Более всего линейное повышение температуры наблюдается в широтной зоне 70-85° с. ш. в весеннем сезоне, 2.58°С за 86 лет. В широтной зоне 70-85° с. ш. значение линейного тренда оказалось меньше, 2.24°С за 86 лет. В целом по СПО линейное по тренду увеличение температуры весной составило 2.41°С за 86 лет.

В отдельных климатических районах более высокие значения линейного тренда наблюдаются преимущественно в евразийском и притихоокеанском секторах. Так, в зимнем сезоне в Аляскинском районе значение линейного тренда составило 3.7°С за 86 лет. В весеннем сезоне в Западносибирском и Восточносибирском районах значение

тренда 3.27°С за 86 лет. В летнем сезоне в Чукотском и Аляскинском районах значение линейного тренда составило 1.81 и 1.55°С за 86 лет соответственно.

В районах арктических морей в течение 1936-2021 гг. в зимнем сезоне основное повышение температуры отмечается в районах Чукотского моря и моря Бофорта. Соответственно значения линейного тренда здесь составляют 3.18 и 4.3°С за 86 лет. В весеннем и летнем сезоне, за исключением северной части Канадского района в весеннем сезоне, всюду обнаруживается статистически значимый линейный тренд. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах морей евразийского сектора. Линейное повышение температуры воздуха весной в районах морей Карского и Чукотского составило около 3.27°С за 86 лет.

Атмосферные осадки.

Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За холодный сезон принимается период с октября по май, а за теплый – с июня по сентябрь.

В таблице 5.4 представлены относительные аномалии сезонных сумм осадков в 2020/21 г. для СПО и для отдельных климатических районов. В целом по региону сумма осадков холодного сезона была ниже нормы (на 5.0%). Такое количество осадков, выпавших в холодном периоде 2020/21 г. в СПО, оказалось тридцать третьим значением в ряду убывающих значений с 1936 года. К югу от 70° с. ш. осадков в зимнем сезоне выпало также ниже нормы на 3.9%, а к северу на 4.2% выше нормы. Это соответственно двадцать девятое и восемнадцатое значения в ряду убывающих значений с 1936 года.

Таблица 5.4 – Относительные аномалии (%) сезонных сумм осадков в 2021 г. (в % от нормы 1961-1990 гг.)

Район, широтная зона	Холодный период	Теплый период
Атлантический	78.2	110.5
Североевропейский	119.2	104.8
Западносибирский	110.3	100.7
Восточносибирский	102.1	90.4
Чукотский	96.5	93.1
Аляскинский	105.0	90.8
Канадский	78.3	89.9
70-85° с. ш.	104.2	104.5
60-70° с. ш.	96.1	100.1
60-85° с. ш.	95.0	99.1

В целом для СПО осадков в теплом сезоне 2021 г. выпало 99.1 % от нормы. К югу от 70° с. ш. осадков выпало около нормы, 100.1%, а к северу – 104.5% от нормы. Наименьшее количество осадков выпало в восточной части азиатского и западной части североамериканского секторов. Так, в Восточносибирском и Канадском районах около 90% от нормы. Более обильные осадки наблюдались в Атлантическом (110.5%) и Североевропейском (104.8 %) районах.

В таблице 5.5 представлены оценки трендов в изменении сезонных сумм осадков с 1936 по 2021 гг. по южным (60-70°с. ш.) и северным (70-85°с. ш.) частям климатических районов, а также для районов в целом.

В многолетних изменениях сезонных сумм осадков за период 1936-2021 гг. в СПО наблюдается тенденция их статистически значимого увеличения со средней скоростью около 3.17 мм/10 лет в холодном сезоне. При этом рост осадков преимущественно отмечается в атлантическом секторе и востоке Канадского. В теплом сезоне в большинстве районов присутствует тренд к уменьшению осадков.

Тенденция к убыванию осадков уверенно обнаруживается в Чукотском районе и в районах арктических морей азиатского сектора СПО в течение всего года. Более всего рост осадков выражен в южной части Североевропейского района (14.5 мм/10 лет), а уменьшение – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях (7.62 и 9.12 мм/10 лет для сумм осадков холодного сезона и 5.9 и 4.6 мм/10 лет – для теплого сезона).

Таблица 5.5 – Оценки линейного тренда регионально осредненных сезонных сумм осадков за период 1936-2021 гг.
b*, мм/10 лет** – коэффициент линейного тренда, ***D, % – вклад тренда в полную дисперсию.

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период	
	b	*D*	*b*	*D*
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	2.06	5.1	-0.69	5.7
Североевропейский (южная часть)	**14.50**	71.5	2.82	24.1
Западносибирский (южная часть)	**9.56**	64.5	-0.86	7.3
Восточносибирский (южная часть)	**2.53**	40.2	-0.80	11.3
Чукотский (южная часть)	0.45	3.2	-0.39	3.9
Аляскинский (южная часть)	**4.29**	28.7	-0.69	4.5
Канадский (южная часть)	-0.82	11.7	1.80	26.7
60-70°с. ш.	**4.83**	46.8	0.21	4.4
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	**11.84**	59.3	1.52	14.8
Баренцево море	**7.22**	61.9	-0.45	4.4
Карское море	0.42	5.3	-0.52	5.9
Море Лаптевых	**-2.93**	39.9	-3.37	35.7
Восточно-Сибирское море	**-7.62**	61.1	-5.90	51.4
Чукотское море	**-9.12**	56.2	-4.63	33.9
Море Бофорта	-0.83	8.9	1.01	13.3
Канадский (северная часть)	0.30	5.4	0.59	11.0
70-85°с. ш.	**1.92**	37.7	-0.73	17.9
Атлантический	5.07	17.8	-0.12	1.4
Североевропейский	**11.57**	76.9	1.30	15.3
Западносибирский	**5.71**	61.3	-0.90	11.7
Восточносибирский	0.43	8.9	-1.56	24.8
Чукотский	-2.74	23.4	-2.15	25.4
Аляскинский	2.14	18.6	-1.95	15.3
Канадский	-0.39	7.2	1.25	26.7
60-85°с. ш.	**3.17**	45.2	-0.57	16.5

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

Морская Арктика

Особый интерес представляют изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана (рисунок 5.5). Изменения температуры в этой области влияют в первую очередь на зимнее разрастание и летнее таяние морского ледяного покрова. Для оценки изменений термического влияния на ледяной покров выбраны данные 41 станции на островах и побережье Северного Ледовитого океана, откуда начинается летнее отступление морских арктических льдов.

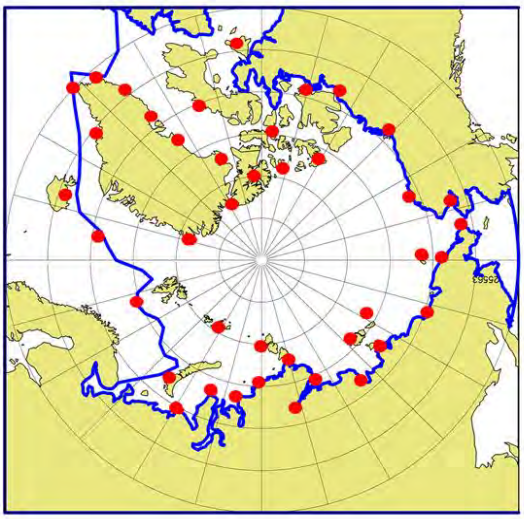


Рисунок 5.5 – Морская Арктика. Красные точки – метеорологические станции, синяя линия – граница зимнего распространения морского льда.

На рисунке 5.6 показаны средние за зиму и лето значения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на станциях в

морской Арктике с 1951 по 2021 год.

С середины 1990-х годов по 2020 год температура повысилась зимой более чем на 4°С, а летом – почти на 2.5°С. После 2019 года ПТВ зимой понизилась к 2021 году на 2°С Летом понижение ПТВ в эти годы составило 0.7°С. Замедление роста ПТВ и начало понижения более очевидно в изменениях средней по 7 ПТВ на 7 станциях с началом наблюдений в 1901 году (рисунок 5.7).

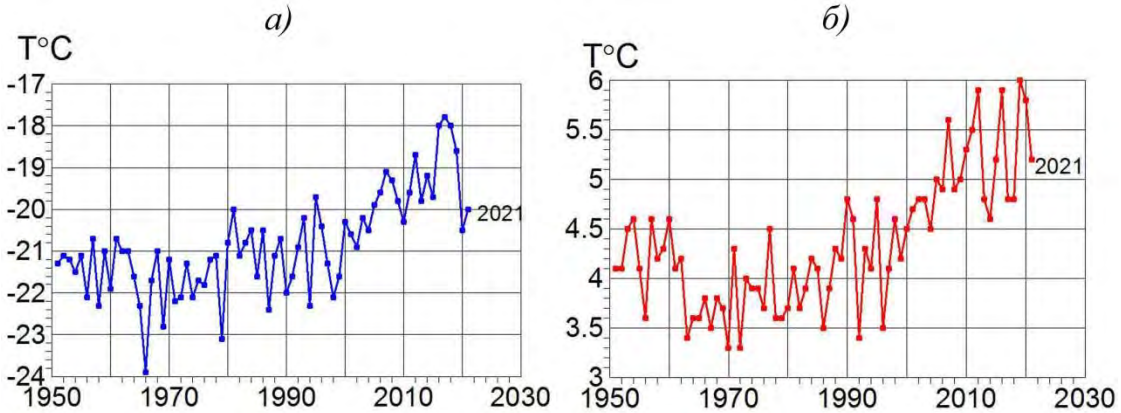


Рисунок 5.6 – Средняя за декабрь-февраль (а) и за июнь-август (б) месяцы приповерхностная температура воздуха на 41 станции в морской Арктике в 1951-2021 гг.

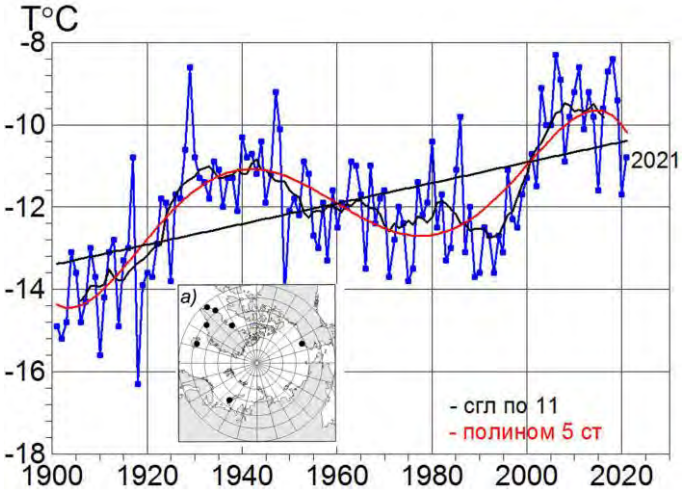


Рисунок 5.7 – Температура воздуха зимой 1901-2021 гг. на 7 станциях (на врезке) в морской Арктике.

Эти изменения объясняются наложением колебания с периодом около 70 лет на положительный тренд глобального потепления.

Потепление в морской Арктике сопровождается сокращением площади морского льда. Зимой сокращение, в отличие от изменения температуры воздуха, меньше чем летом – зимой сокращение от максимума 1982 года до минимума в 2016 году составило 9%, а летом – от максимума 1980 года до минимума 2012 года 54%. При этом летнее сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (коэффициент корреляции 0.93, рисунок 5.8).

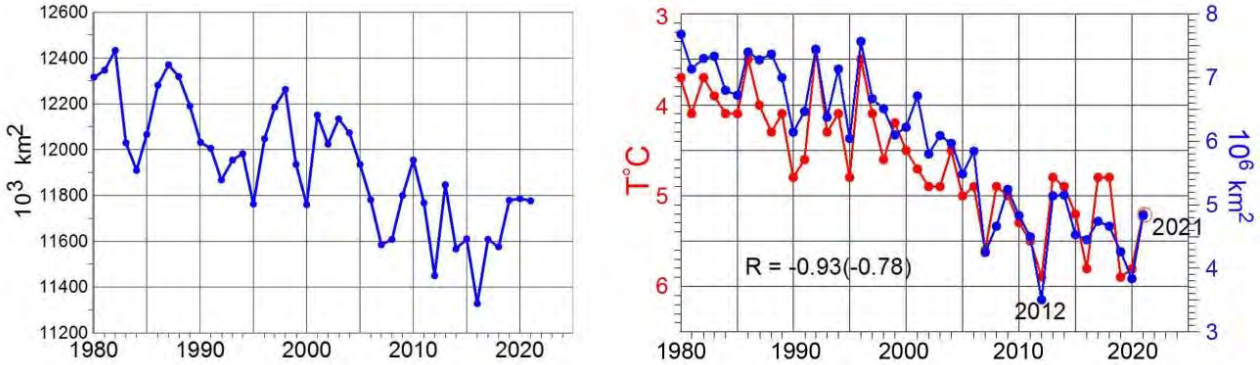


Рисунок 5.8 – Площадь, занятая морским льдом в Северном Ледовитом океане в марте (слева) и в сентябре (справа). Красным нанесена летняя температура воздуха в морской Арктике. R – коэффициент корреляции между температурой и площадью, в скобках между отклонениями от тренда.

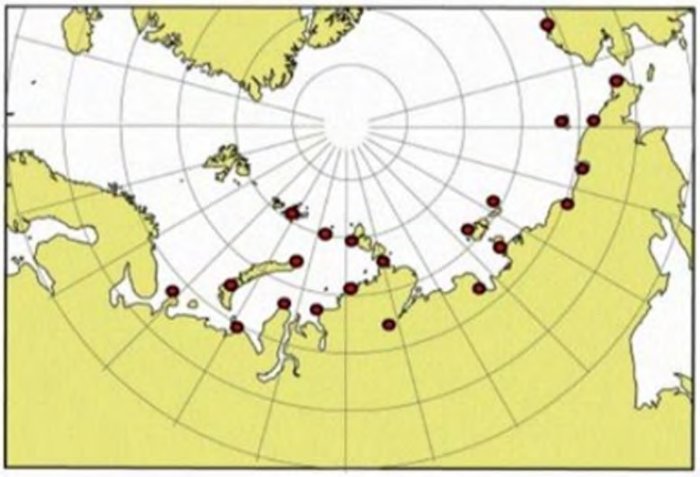


Рисунок 5.9 – Метеорологические станции на побережье и островах арктических морей, через которые проходит Северный морской путь.

В 2021 летняя температура воздуха в морской Арктике понизилась на 0.7°С относительно 2020 г., а площадь, занятая льдом в сентябре, выросла на 26%.

Ещё заметнее потеплело в 2010-е годы на акватории Сибирских арктических морей (Карское – Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь. Данные метеорологических станций на побережье и островах морей (рисунок 5.9) показывают повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2016 год почти на 10°С, а летней почти на 3°С (рисунок 5.10).

Площадь, занятая морским льдом на акватории морей в конце летнего сезона, в сентябре, быстро сокращалась с 1996 года и за десять лет к 2005 году уменьшилась более чем в три раза – с 1892 до 234 тыс. кв. км.

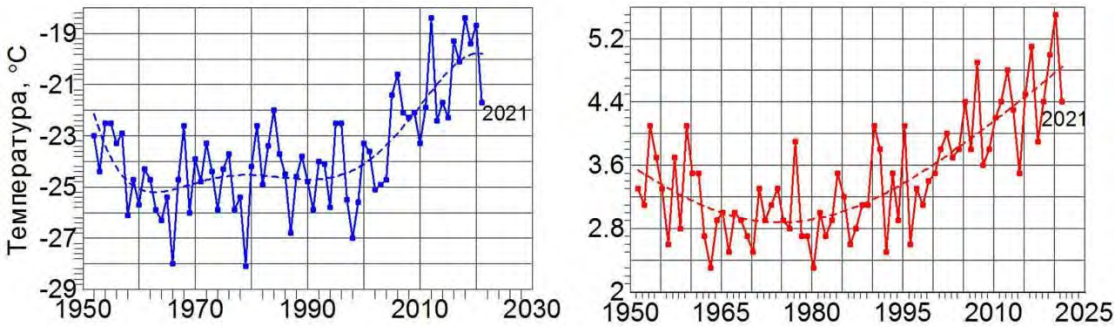


Рисунок 5.10 – Температура воздуха на акватории Сибирских арктических морей зимой (слева) и летом (справа) в 1951-2021 гг. Пунктир – полином 5^{й} степени.

В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26.3 тыс. кв. км в 2016 году, превысившим предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. кв. км).

С ноября по июнь моря покрываются сплоченными льдами, концентрация и толщина которых достигает максимума в апреле.

Индикатором роста толщины льда в морях служит сумма градусо-дней мороза (сумма отрицательных температур воздуха с октября по апрель месяцы) на станциях (рисунок 5.11), которая тесно связана (коэффициент корреляции 0.81) со средней толщиной припайного льда на этих же станциях (рисунок 5.12)

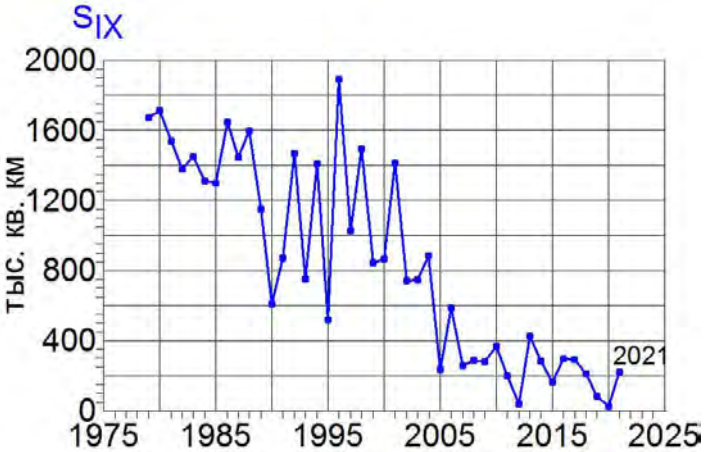


Рисунок 5.11 – Площадь, занятая морским льдом на акватории Сибирских арктических морей в сентябре 1979-2021 гг.

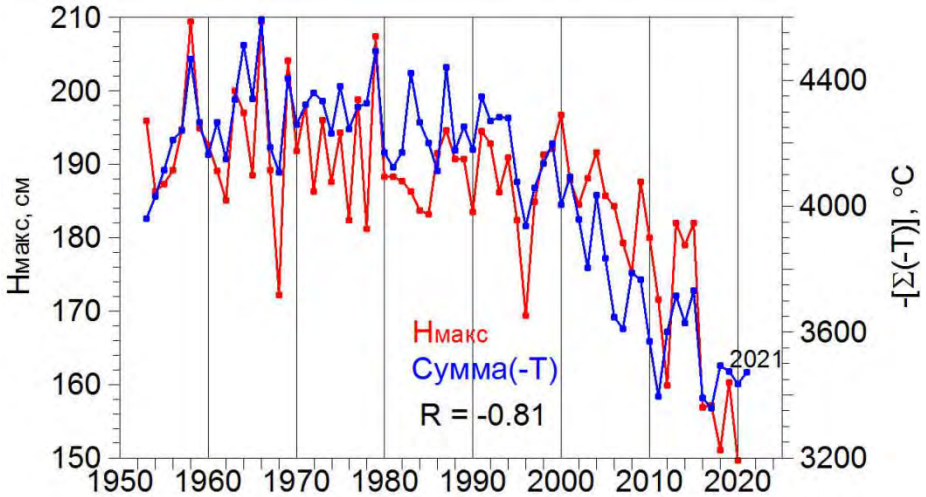


Рисунок 5.12 – Сумма градусо-дней мороза и максимальная толщина припайного льда (в апреле) на метеорологических станциях на побережье и островах морей, через которые проходит Северный морской путь.

6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА

Мощность сезонно-талого слоя (СТС) является индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов (ММГ), отражающим метеорологические условия отдельных лет. Измерения мощности СТС с 1990 года проводятся по стандартизованной методике в рамках Международной программы мониторинга CALM (CircumPolar Active-Layer Monitoring), в которой участвуют несколько десятков стран, в том числе и Россия. За время с 1990 года на территории РФ существовало 75 площадок, на которых когда-либо производились измерения, из них действующими в настоящее время являются 58. Количество площадок на территории РФ, с которых поступают данные о состоянии СТС, меняется от года к году.

В настоящее время доступны данные о мощности СТС в 2021 году на 46 площадках, в том числе 5 на Европейской территории России, 18 в Западной Сибири, 7 в Центральной Сибири, 11 в северо-восточной Сибири и 5 на Дальнем Востоке.

В Таблице 6.1 представлены ежегодные данные о мощности СТС за 15-летний период 2007-2021 гг., средние значения за рассматриваемый период и тренды за два длительных периода: с начала наблюдений на каждой площадке до 2020 г. и до 2021 г. Сравнение двух трендов позволяет оценить вклад данных последнего года наблюдений. Расчеты трендов проводились только для площадок, имеющих данные наблюдений не менее чем за 7 лет. В таблице использовано обозначение площадок в соответствии с международной номенклатурой CALM. Карта расположения площадок и их географические координаты приведены в Докладах Росгидромета за предшествующие годы, а также доступны на интернет-портале www.permafrost.su.

Из данных Таблицы 6.1 видно, что более чем на 70 % площадок значения мощности СТС в 2021 году превышают средние многолетние величины, при этом сохраняется значительная изменчивость по регионам.

По сравнению с предыдущим годом на Европейской территории России изменения мощности СТС были разнонаправленными. На двух площадках R2 в окрестностях Воркуты и R52 в 70 км южнее Воркуты изменения были незначительны (в пределах 1 см). В дельте реки Печора глубина оттаивания увеличилась на 8 см, в то время как на о. Кашин уменьшилась на 25 см по отношению к 2020 году.

В Западной Сибири на большинстве площадок мощность СТС уменьшилась. Увеличение глубины оттаивания наблюдалось в низовьях левого берега Оби на

площадках R56 и R57 (на 8 и 1 см, соответственно). На 1 см увеличилась мощность СТС на одной из площадок стационара Васькины Дачи (Центральный Ямал, R5D). На двух площадках стационара изменений не наблюдалось (R5A и R5B), на двух других (R5 и R5C) величина СТС уменьшилась на 3 и 12 см, соответственно. На остальных площадках Западной Сибири мощность СТС уменьшилась: на острове Белый на 10 см, на Гыданском полуострове – на 3-11 см, в районе Надыма, Нового Уренгоя и на юго-западе Ямала – на 1-4 см. На площадке Марре-Сале глубина оттаивания уменьшилась на 17 см по сравнению с 2020 годом.

Таблица 6.1 – Мощность СТС (см), средние значения за период 2007-2021 гг. (СР, см) и тренды (см/10 лет) за период с начала наблюдений по 2020 г. (ТР1) и по 2021 г. (ТР2) на площадках CALM.

Код	*2007*	*2008*	*2009*	*2010*	*2011*	*2012*	*2013*	*2014*	*2015*	*2016*	*2017*	*2018*	*2019*	*2020*	*2021*	*СР*	*ТР1*	*ТР2*
Европейский север																		
R2	89	87	86	89	88	91	93	91	90	92	80	85	86	90	91	**89**	**11**	**10**
R23	138	152	144	138	144	161	156		150	169	155	158	167		151	**153**		**32**
R24	125	124	112	104	107	135	117	102	110	111	88	110	104	120	128	**113**	**1**	**3**
R24a				58	64	88	87	65	80	109	76	84	83	123	98	**85**	**37**	**34**
R52						46	52	53	56	60	53	54	54	60	60	**55**	**10**	**11**
Западная Сибирь																		
R1	129	136	101	114	129	134	136	164	163	186	148	178	176	197	196	**152**	**23**	**26**
R1B							95	95	96	107	108	100	108	125	121	**106**		**35**
R3	114	114	85	98	102	127	115	102	122	136	98	107	121	137	120	**113**	**5**	**6**
R5	92	93	76	87	87	102	103	95	102	114	102	94		104	101	**97**	**6**	**6**
R5A	72	75	47	67	67	77	80	71	76	87	66	66	72	76	76	**72**	**6**	**6**
R5B	72	73	81	65	65	77	78	70	77	91	75	70	73	82	82	**75**	**5**	**6**
R5C	112	113	82	106	114	128	126	111	129	144	118	116	114	135	123	**118**	**18**	**16**
R5D								41	48	54	39	40	46	51	52	**46**	**4**	**8**
R50A		84	65	77	72	87	70	76	85	74		40	103	120	114	**77**	**28**	**31**
R50B		84	65	80	82	95	92	84	93	96		111	102		107	**93**		**24**
R53										99	94	100	111	134				
R54A										104	90	94	100	113	102	**101**		
R54B										66	61	60	63	73	70	**66**		
R54C											67	66	69	77	73	**70**		
R55			54	50	53	60	55	41	59	68	57	53	54	65	55	**56**	**7**	**5**
R55A			100	90	98	114	112	91	111	130	115	107	109	131	121	**110**	**23**	**22**
R56							68	76	85	92	64	74	84	103	111	**84**	**27**	**39**
R57							43	51	46	52	37	45	50	56	57	**49**	**8**	**12**
R58											82	84	94	102	101	**93**		
Центральная Сибирь																		
R29C									34	29	30	38	32	42			**12**	
R29B	44	37	25	28	35	30	24	33	30	30	26	36	28	41			**1**	
R32	44	37	25	28	35	30	24	33	30	30	26	36	28	41			**1**	
R40	90	94	94	94	96	104	86	95	102	84	106	104	113	95	122	**99**	**11**	**14**
R42		74	71	67	70	69	72	79	89	93		94	88	101	102	**82**	**26**	**27**
R43		203	199	197	201	201	201	203	201	201	203	201	205	206	208	**202**	**4**	**5**
R51		124	122	123	123	124	129	126	125	121	121	119	124	124	130	**124**	**-1**	**1**
Северо-Восточная Сибирь																		
R13A	55	50	36	52	46	43	47		36	46	43	43	43	47	43	**45**	**2**	**1**
R13B	56	37	25	50	46	41	47		27	41	38	44	44	46	44	**42**	**2**	**2**
R14		40	46	49	47	46	42		48	41	49	47	49	48	48	**46**	**3**	**3**
R15A	60	38	28	48	32	30	30		31	33	31	30	32	39			**-2**	
R15B	54	44	39	45	54	46	43		44	41	39	40	41	42			**1**	
R16	75	49	43	56	72	54	50	57	60	57	56	52	51	56	52	**56**	**8**	**7**
R17	60	49	47	56	61	53	55	64	55	57	55	70	55	73	63	**58**	**7**	**7**
R18	86	80	78	84	84	77	74	79	83	85	87	89	90	84	66	**82**	**8**	**6**
R18A	104	98	96	104	104	97	94	101	102	109	111	119		117	72	**102**	**12**	**4**
R19		92	92	103	94	83	89	95	101	112	79	89	98	105	83	**94**	**14**	**12**
R20	57	55	49	53	59	54	61	65	59	53	64	64	63	62	59	**58**	**6**	**6**
R21	117	100	96	110	105	92	96	108	96	111	85	97	101	114	94	**101**	**9**	**7**
R22	57	53	51	57	50	52	49	45	56	53	54	55	54	52			**2**	
R25	65	43	42	65	60	41	41		39	42	43	49	48	51			**4**	
R31	48	47	49	52	53	50	47	47	46	49	41	39						
R35	41	34	32	52	45	44	40	40	46	32	43	41	39	48			**2**	
R36	43	43	41	31	35	34	44	38	38	42	43	44	43	43			**4**	
R38A	151	133	122	145	149	130	124	132	134	135	136							
R38B				154	157	139	147	150	152	154								
R38C	84	79	78	82	79	72	66	75	75	72	75	74		71	51	**74**	**-4**	**-8**
Дальний Восток																		
R9	59	52	52	52	51	53	52	59	55	60	55	51	60	55	49	**54**	**6**	**5**
R11	67	61	60	53	57	54	57	60	58	64	60	65	61	60	51	**59**	**6**	**5**
R27	74	61	64	74	65	67	69		72	67	67	78	78		75	**70**		**7**
R41				47	47	47	51	56	55	56	55	59	66		62	**55**	**19**	**17**
R45				42	44	44	47	49	44	49	49	46	50	50	45	**47**	**7**	**5**
R30C	45	49	49	50	50	48	46		47	53	51	49	47	49			**2**	

В Центральной Сибири уменьшение глубины оттаивания наблюдалось в дельте р. Лены (на 10 и 6 см). На остальных площадках мощность СТС увеличилась: на 27 см на площадке Талнах (окрестности Норильска), на остальных площадках увеличение мощности СТС составило от 1 до 6 см.

На северо-востоке Сибири повсеместно наблюдалось уменьшение мощности СТС, за исключением площадки R14 (р. Чукочья), где глубина оттаивания не изменилась относительно 2020 года. Существенное уменьшение мощности СТС наблюдалось на горе Родинка (от 18 до 45 см). В районе оз. Глухое, оз. Ахмело и р. Ахмело мощность СТС уменьшилась на 22, 20 и 10 см, соответственно. На остальных площадках уменьшение глубины оттаивания составило от 2 до 4 см.

На Чукотке по сравнению с 2020 годом мощность СТС уменьшилась на 5-9 см. На единственной действующей площадке на Камчатке в 2021 году измерения глубины СТС не проводились.

Сравнивая тренды СТС, рассчитанные за периоды от начала наблюдений до 2020 и 2021 гг. (последние 2 столбца таблицы 7.1), можно сделать следующие выводы. На Европейском Севере климатические условия в 2021 г. оказали разнонаправленное влияние: на двух площадках тренд уменьшился на 1-3 см за 10 лет, на двух других - увеличился на 1-2 см за 10 лет. В Западной Сибири тренды в основном выросли или остались на прежнем уровне. Наибольшее увеличение трендов наблюдается на площадках R57 и R58 (на 12 и 4 см за 10 лет, соответственно). Но при этом необходимо отметить, что это относительно новые площадки с рядом наблюдений менее 10 лет. Уменьшение трендов, как следствие климатических условий 2021 года, наблюдается только на двух площадках в районе Уренгойского месторождения (на 1-2 см за 10 лет) и на одной из площадок Центрального Ямала (на 2 см за 10 лет).

На территории Центральной Сибири наблюдается сохранение или увеличение трендов мощности СТС на 1-3 см за 10 лет на всех площадках. Климатические условия в 2021 году привели преимущественно к уменьшению трендов на 1-8 см за 10 лет или сохранению их на прежнем уровне на территории Восточной Сибири и Дальнем Востоке.

На рисунке 6.1 показаны тренды мощности СТС с начала наблюдений на каждой площадке до 2021 года.

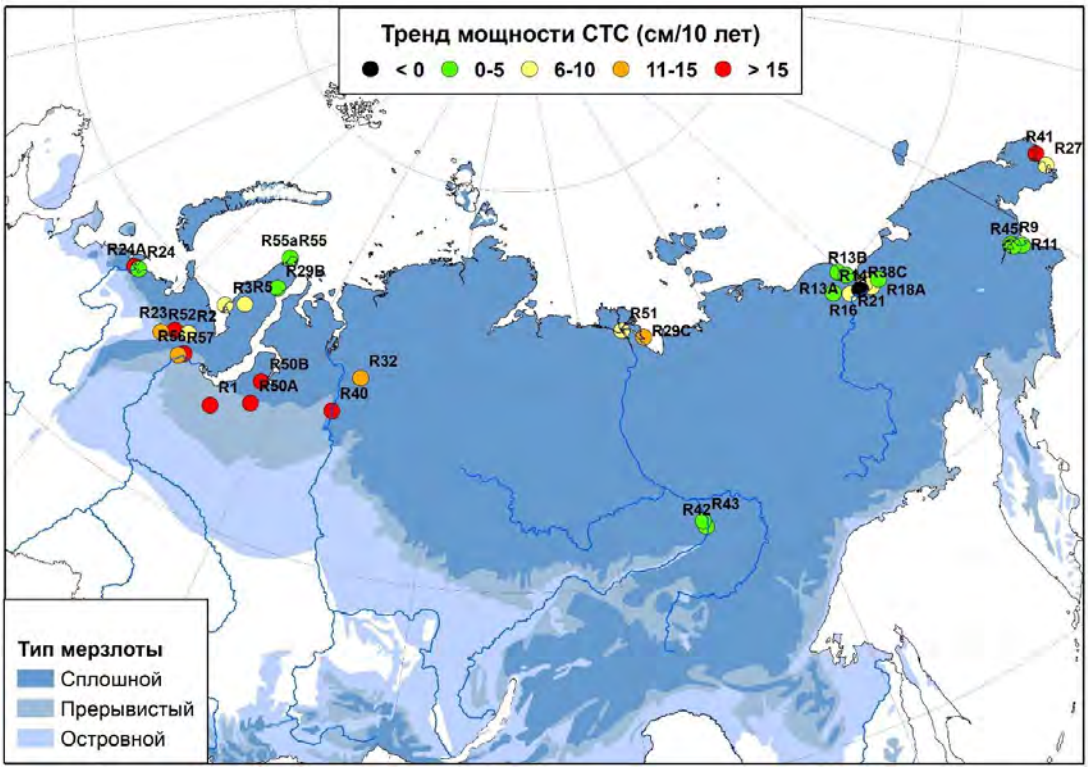


Рисунок 6.1 – Тренд мощности СТС за период с начала наблюдений до 2021 года (см/10 лет).

За редким исключением тренды положительны, что свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в 21 веке. Все фактические данные наблюдений представлены на сайте www.permafrost.su.

7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Мониторинг агрометеорологической составляющей климата за 2021 г. осуществлялся, по данным наблюдений за температурой воздуха и суммами осадков месячного разрешения для 455 станций на территории России и стран СНГ за период с 1951 г. по 2021 г., содержащимся в базе данных «Климат», поддерживаемой ФГБУ «ИГКЭ».

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

Анализ текущих значений агроклиматических показателей

Расчёт агроклиматических показателей в 2021 г. выполнялся по станционным данным сети наблюдений на территории земледельческой зоны России. Определены аномалии агроклиматических показателей по отношению к предшествующему двадцатилетию (2001–2020 гг.). Аномалии показателей термического и влажностного режимов при возделывании сельскохозяйственных культур в 2021 г., осредненные по федеральным округам в пределах условной земледельческой зоны южнее 66.5° с. ш. (до 90° в. д.), 60° с. ш. (до 130° в. д.) и 55° с. ш., представлены в таблицах 7.1 и 7.2.

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур

Зима на территории земледельческой зоны России в 2021 г. была холоднее на 0.6–2.6°С по сравнению с периодом 2001–2020 гг. за исключением южных регионов ЕЧР. Аномалии температуры весны колебались от −0.6°С в ЮФО до +1.6°С в УФО. В среднем по земледельческой зоне России аномалия температуры воздуха весной была положительной (+0.4°С).

На ЕЧР дата возобновления вегетации (переход через 5 °С весной) наблюдалась на 2–3 суток раньше, чем в среднем за последние двадцать лет, за исключением южных областей. Более поздние сроки начала вегетации наблюдались на территории Сибири и Дальнего Востока (таблица 7.1). Продолжительность периода вегетации (Т>5°С) превышала среднюю продолжительность практически на всей рассматриваемой территории, за исключением СФО, где вегетационный период был в среднем короче на 3 суток.

Таблица 7.1 – Аномалии показателей термического режима в 2021 г. относительно средних значений за 2001–2020 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	−1.9	0.4	2.0	−0.2	−0.6	1.9	−0.1	2.3	−3	−1	7	−9	155	68
Центральный	−1.3	−0.2	2.2	−0.3	1.4	1.9	−0.3	1.2	−2	2	15	−15	176	−1
Приволжский	−2.5	0.8	2.4	−0.4	0.2	1.0	1.1	2.4	−3	−5	6	−4	284	231
Южный	0.6	−0.6	0.8	−0.8	2.4	1.6	−0.3	0.8	2	4	7	−5	9	−74
Северо-Кавказский	0.6	0.5	1.5	−1.2	2.0	1.1	−0.2	1.2	8	−8	0	1	77	80
Уральский	−2.6	1.6	1.3	−0.5	−3.0	−0.1	1.2	1.8	−5	−12	1	5	228	274
Сибирский	−1.9	−0.2	−0.1	0.4	−3.9	0.5	−0.1	0.2	2	0	−3	−4	−51	−57
Дальневосточный	−0.6	0.4	0.9	1.1	−2.5	2.4	0.4	0.5	2	1	−1	−1	58	65
РФ	**−1.6**	**0.4**	**1.2**	**0.1**	**−1.6**	**1.2**	**0.3**	**1.2**	**−1**	**−2**	**4**	**−3**	**111**	**74**

Аномалии средней температуры воздуха за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до даты уборки ($T_{зерн.}$) были положительными на всей территории земледельческой зоны, колебались в интервале от 0.2°С (СФО) до 2.4°С (ПФО) и в среднем составили 1.2°С. Аномалии средней температуры тёплого периода года (периода с температурой воздуха выше 5°С, $T_{T>5}$) имели меньший размах – от −0.1 до +1.2°С при среднем значении 0.3 °С по земледельческой зоне.

Положительные аномалии сумм активных температур (выше 10 °С) относительно двух последних десятилетий изменялись в широком диапазоне от 65°С (ДФО) до 274°С (УФО). Отрицательные аномалии отмечались в Сибири (−57°С) и в ЮФО (−74°С) (таблица 7.1, рисунок 7.1).

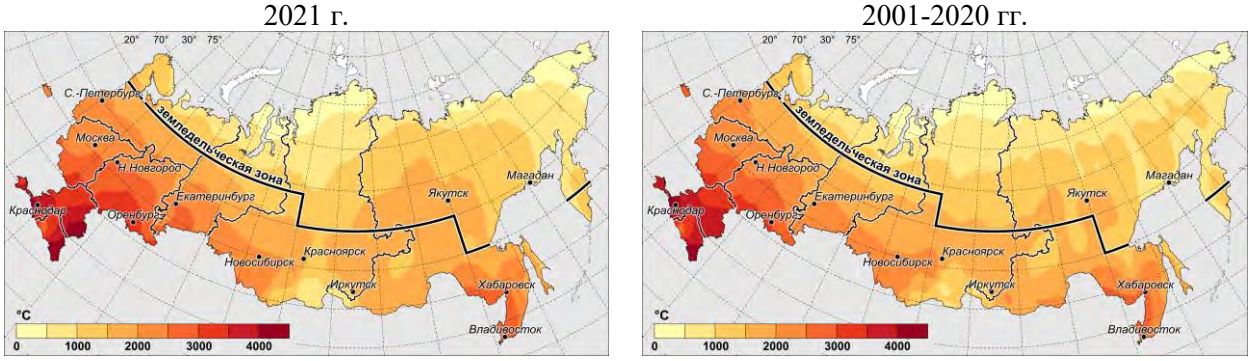


Рисунок 7.1 – Сумма температур выше 10°С (°С) за 2021 г. и средние значения за 2001–2020 гг.

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур

Степень увлажнённости территории оценивалась по следующим показателям: сезонные аномалии суммы осадков; гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), рассчитанный за период с мая по август; индекс сухости М.И. Будыко (ИС); сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур от даты всходов до уборки ($R_{зерн.}$); суммарное количество осадков за тёплый период года ($R_{T>5}$).

Сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур ($R_{зерн.}$) в 2021 г. в среднем по территории земледельческой зоны России была ниже на 13% относительно средней величины за предшествующие два десятилетия. За этот период на ЕЧР осадков выпало на 15–37% меньше, за исключением самых южных областей, где осадков выпало на 10–18% больше среднего. На Урале и в Сибири также наблюдался дефицит атмосферных осадков – количество выпавших осадков ниже среднего на 38 и 10%, соответственно (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Аномалии показателей влажностного режима в 2021 г. относительно средних значений за 2001-2020 гг.

Федеральный округ	Сумма осадков, %					$R_{T>5}$, %	$R_{зерн.}$, %	$ГТК_{май–авг.}$, ед.	ИС, ед.
	зима	весна	лето	осень	год				
Северо-Западный	−5	17	−9	9	1	15	−37	−0.15	0.00
Центральный	15	24	−21	6	3	10	−15	−0.19	−0.05
Приволжский	4	−11	−20	−4	−9	−12	−23	−0.32	0.18
Южный	−8	13	56	4	15	33	18	0.30	−0.15
Северо-Кавказский	22	13	−11	36	18	24	10	0.01	−0.25
Уральский	14	−49	−32	−27	−28	−38	−38	−0.63	0.48
Сибирский	27	3	−10	−5	−2	−9	−10	−0.14	−0.01
Дальневосточный	6	15	−4	4	5	8	8	−0.16	−0.01
РФ	**10**	**4**	**−9**	**0**	**−1**	**−2**	**−13**	**−0.19**	**0.05**

Отрицательные аномалии ГТК за май–август и положительные аномалии ИС свидетельствуют о том, что уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2021 г. на юго-востоке ЕЧР и на Урале был значительно ниже, чем в среднем за 2001–2020 гг. (таблица 7.2, рисунок 7.2). Например, в ПФО отрицательные аномалии гидротермического коэффициента достигли уровня ~−0.30, что ниже климатической нормы на 20–30%. Исключительно засушливые условия наблюдались в УФО. На фоне роста температуры вегетационного периода зерновых (на 1.8°С), аномалия ГТК составила −0.63, или от 40 до 60% климатической нормы.

2021 г. 2001-2020 гг.

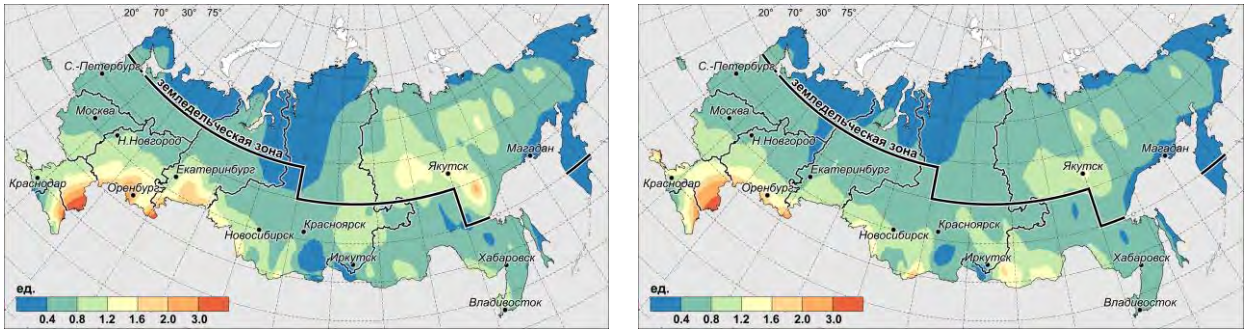


Рисунок 7.2 – Индекс сухости М.И. Будыко за 2021 г. и средние значения за 2001–2020 гг.

Распределение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2021 г., представленное в таблице 7.3, свидетельствует, что почвенная засуха (запасы влаги в метровом слое ниже 50 мм) за период с июня по август распространилась на ряд регионов ПФО, ЮФО, СКФО и УФО.

Таблица 7.3 – Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в 2021 г. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай.

Федеральный округ	Запасы продуктивной влаги, мм					
	возобновление вегетации	май	июнь	июль	август	сентябрь
Северо-Западный	210	207	122	74	109	182
Центральный	169	154	96	59	64	114
Приволжский	142	99	55	49	43	57
Южный	102	70	45	31	33	54
Северо-Кавказский	76	60	32	20	28	54
Уральский	113	75	42	40	33	45
Сибирский	164	137	104	83	75	95
Дальневосточный	151	138	115	101	95	122
РФ	**148**	**122**	**81**	**63**	**62**	**89**

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

Тенденции изменения агроклиматических показателей

Теплообеспеченность периода активной вегетации сельскохозяйственных культур продолжает расти повсеместно в земледельческой зоне. Оценки линейного тренда суммы активных температур воздуха (Т>10ºС) показывают, что на ЕЧР скорость роста этого показателя колеблется в диапазоне от ~95°С/10 лет в СЗФО и ПФО до ~150°С/10 лет в ЮФО за период с 1976 г. по 2021 г. (таблица 7.4, рисунок 7.3). На АЧР скорость роста этого показателя практически вдвое ниже и находится на уровне ~60°С/10 лет. В целом для всей земледельческой зоны скорость роста составляет 85°С/10 лет.

Сохраняется положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода (Т>5°С) и периода активной вегетации (Т>10°С) (таблица 7.4). С большей скоростью продолжительность вегетационного периода изменяется в ЮФО и СКФО (~6 сут./10 лет), с меньшей – на АЧР (от 2 до 3 сут./10 лет).

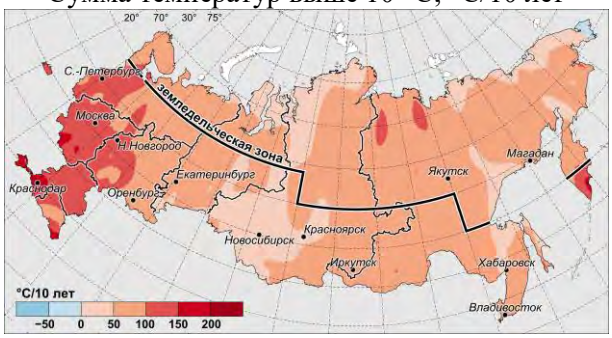
Положительная тенденция к росту весенних осадков наблюдается на всей территории земледельческой зоны России и в среднем составляет 5 мм/10 лет с максимумом в ДВФО (6 мм/10 лет) и минимумом в СКФО (3 мм/10 лет). Тренды летних осадков за 1976–2021 гг. остаются отрицательными в основных сельскохозяйственных регионах на ЕЧР и на Урале и положительны в Сибири и на Дальнем Востоке (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Оценки линейных трендов показателей термического и влажностного режимов за период 1976–2021 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	−1.6	4.1	96	103	4.0	0.5	−0.03	0.02
Центральный	0.5	0.6	−1.5	4.9	125	121	4.7	−9.9	−0.08	0.05
Приволжский	0.5	0.5	−1.1	3.7	98	94	5.4	−9.6	−0.07	0.06
Южный	0.4	0.8	−4.0	6.1	173	153	3.7	−5.6	−0.03	0.07
Северо-Кавказский	0.4	0.6	−3.6	5.8	143	124	3.0	−3.4	−0.02	0.01
Уральский	0.5	0.2	−1.3	2.6	58	62	5.2	−0.8	−0.02	0.02
Сибирский	0.8	0.3	−2.3	3.2	58	50	4.6	2.6	0.00	0.00
Дальневосточный	0.4	0.3	−1.5	2.8	59	63	5.9	6.8	0.02	0.01
РФ	**0.5**	**0.4**	**−1.9**	**3.7**	**87**	**85**	**5.0**	**−1.1**	**−0.03**	**0.03**

В целом по земледельческой зоне России степень засушливости растёт: оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости М.И. Будыко (ИС) за весь тёплый период года (Т>5°С) составляют −0.03 ед./10 лет и 0.03 ед./10 лет, соответственно. Пространственное распределение оценок линейного тренда ИС представлено на рисунке 7.3. Тренд ИС за период 1976–2021 гг. положителен на всей рассматриваемой территории, за исключением отдельных регионов Западной Сибири и Дальнего Востока.

Сумма температур выше 10 °С, °С/10 лет



Индекс сухости Будыко, ед./10 лет

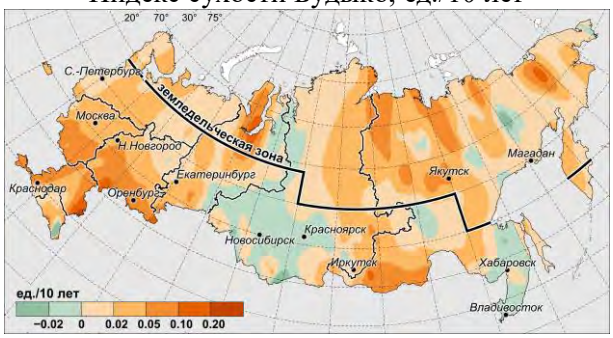


Рисунок 7.3 – Скорость изменения (линейный тренд) суммы температур выше 10 °С (°С/10 лет) и индекса сухости М.И. Будыко (ед./10 лет) за период 1976–2021 гг.

Продуктивность сельскохозяйственных культур

Аномалии показателей продуктивности сельскохозяйственных культур – биоклиматического потенциала (БКП) и климатически обусловленной урожайности в 2021 г. рассчитаны как отклонения от средних значений за 2001–2020 гг.

Значительные потери климатически обусловленной урожайности, связанные с неблагоприятными агрометеорологическими условиями в критические периоды роста и развития яровой пшеницы, отмечались в ПФО (-30%), УФО (-27%) и СЗФО (-25%). В

СКФО, СФО и ДФО условия формирования урожая яровой пшеницы можно оценить, как близкие к норме (рисунок 7.4).

Условия формирования урожая (биомассы) многолетних трав или биоклиматического потенциала в 2021 г. в целом по РФ оказались на 10% ниже среднего за 2001–2021 гг. Неблагоприятные агрометеорологические условия вегетационного периода сложились в ПФО и УФО, где оценки отклонений БКП от среднего за два предшествующих десятилетия составили ~-20%. В то же время, в ЮФО и СКФО оценки аномалий БКП положительные – на уровне 10–15% (рисунок 7.4).

БКП | Яровая пшеница

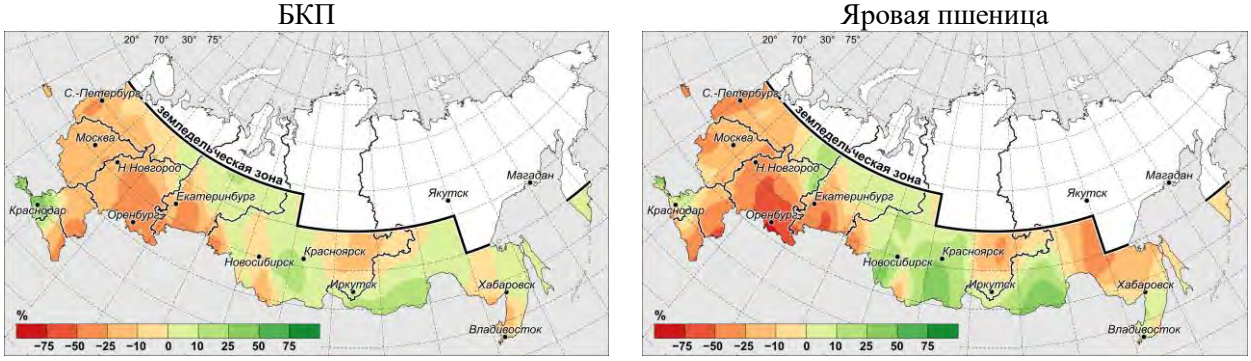


Рисунок 7.4 – Отклонения (%) значений биоклиматического потенциала и климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы за 2021 г. относительно средних за 2001–2020 гг. Расчёты выполнены в имитационной системе Климат-Почва-Урожай.

Оценки увлажнённости под озимыми культурами урожая 2022 года в осенний период показывают, что в чернозёмных областях ЦФО и на большей части ЮФО влагообеспеченность в пахотном слое была достаточной с третьей декады августа по вторую декаду сентября. В третьей декаде августа недостаточные запасы влаги в пахотном слое почвы были ниже критических значений (≤10 мм) на юге и юго-востоке ПФО. Но затем, после выпадения осадков в течение первой и второй декад сентября, увлажнённость пахотного слоя почвы сохранялась на уровне 25 мм и выше, за исключением районов крайнего юго-востока ПФО и ЮФО (рисунок 7.5). В целом агрометеорологические условия на период сева озимых зерновых культур в 2021 г. можно оценить, как благоприятные.

3 декада августа | 1 декада сентября | 2 декада сентября

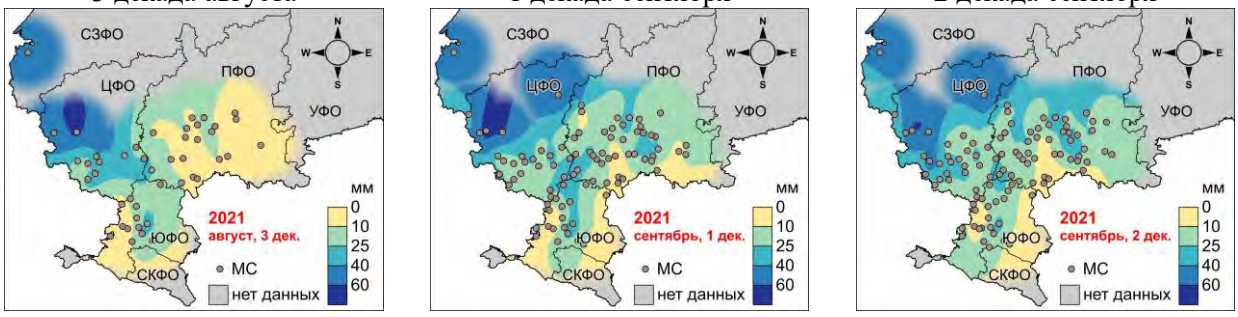


Рисунок 7.5 – Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы под озимой пшеницей на третью декаду августа, первую и вторую декады сентября 2021 года (по данным наблюдений).

8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

2021 год был достаточно сложным, на территории России в целом отмечалось 1205 опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ), из которых 417 нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения (для сравнения: в 2020 году было соответственно 1000 и 372 явления). Несмотря на увеличение количества ОЯ не

только удалось сохранить высокие показатели деятельности, но и несколько улучшить их. Предупрежденность ОЯ составила: в общем 95,8%, ОЯ, нанесших ущерб, 96.6% (в 2020 году было 94.3 и 94.4% соответственно). В целом за 2021 год оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета было выпущено 2833 штормовых предупреждения, оправдываемость которых составила 96.8%.

Мониторинг общего числа ОЯ ведется с 2008 года. Динамика общего числа ОЯ за 14 лет показана в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Динамика общего числа опасных гидрометеорологических явлений за период с 2008 по 2021 год.

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

На рисунке 8.1 приведены данные Росгидромета за 1996–2021 гг. о динамике количества опасных гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

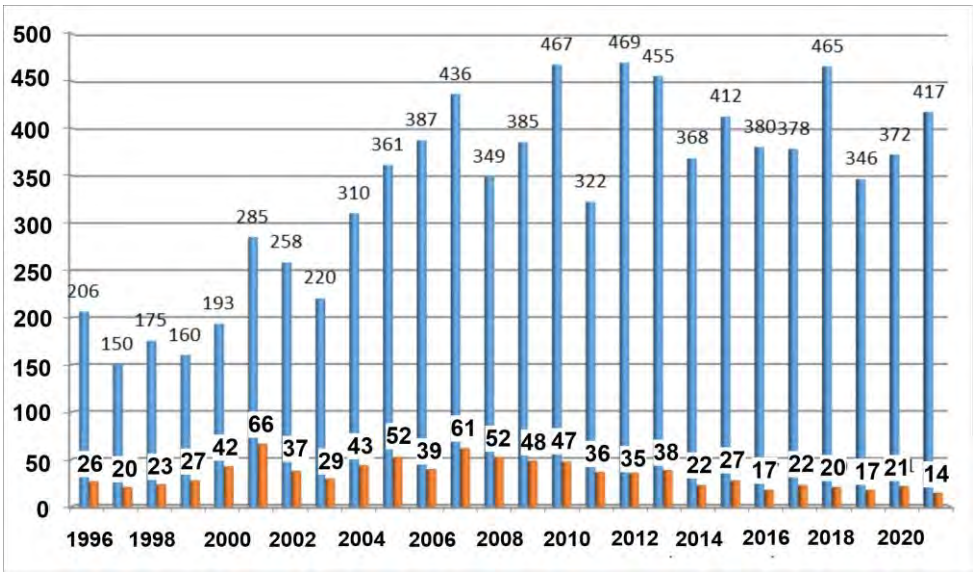


Рисунок 8.1 – Распределение гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (синий) и количество непредусмотренных ОЯ (красный).

В Гидрометцентре России ведется статистика только опасных метеорологических явлений (ОЯ). В 2021 году на территории России было зарегистрировано 612 случаев возникновения метеорологических (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений (КМЯ), сочетание которых образует ОЯ.

В 2021 г. было выпущено 2082 штормовых предупреждений, предупрежденность их составила 95%.

По сравнению с 2020 годом количество зарегистрированных метеорологических ОЯ в 2021 г. увеличилось на 142 случая, то есть на 30%. Высокой была повторяемость сильных осадков, сильного ветра, КМЯ и заморозков. Это составляет более 65 % от всех опасных метеорологических явлений. Опасные явления, входящие в состав КМЯ по отдельности, не достигали критериев ОЯ, но в сочетании между собой в значительной степени затрудняли хозяйственную деятельность регионов.

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

По-прежнему, наибольший ущерб нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в том числе шквал), град, а также метели и аномально холодная погода в зимний период и чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в течение мая-октября (таблица 8.2).

Таблица 8.2 – Распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2021 год.

Явления	Месяцы												**ГОД 2021**
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	
Сильный ветер	10	14	13	11	12	10	14	8	6	5	16	15	**134**
Сильные осадки	5	8		2	11	25	32	31	12	4	8	4	**142**
Метель и снег	3	4	2										**9**
Смешанные осадки							2	1		1			**4**
Смерч	11	13	2								1	5	**32**
Сильный мороз	12	8	3	1								4	**28**
Аномально холодная3 погода					4	7	14	14					**39**
Сильная жара				1	4	8	10	6					**29**
Аномально жаркая погода					6	10	6	4	3				**29**
Град	4	1	1	1							3	4	**14**
Заморозки				2	17	12		10	21	2			**64**
Туман								2			1		**3**
КМЯ	4	7	6	2	7	13	12	11	5	4	9	5	**85**
Итого	**49**	**55**	**27**	**20**	**61**	**85**	**90**	**87**	**47**	**16**	**38**	**37**	**612**

В целом, в большинстве федеральных округов количество ОЯ, нанесших материальный и социальный ущерб населению и отраслям экономики, увеличилось по сравнению с 2020 годом. Все эти опасные явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

По-прежнему, наибольший ущерб нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер (в том числе шквал), град, а также метели и аномально холодная погода в зимний период и чрезвычайная пожарная опасность, сохранявшаяся в ряде регионов на протяжении нескольких месяцев в течение мая-октября.

Распределение метеорологических ОЯ по годам представлено на рисунке 8.2.

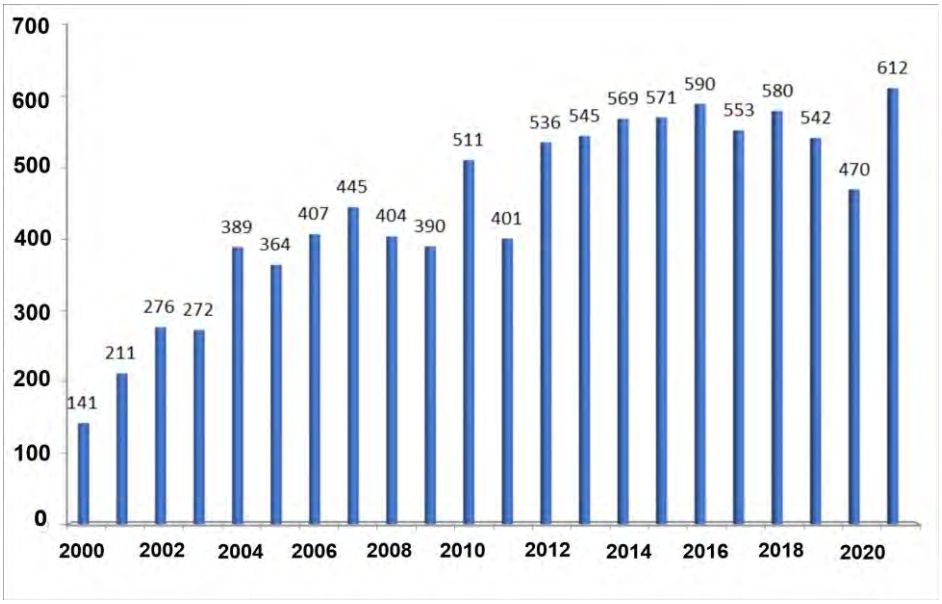


Рисунок 8.2 – Распределение метеорологических ОЯ по годам.

В целом, в большинстве федеральных округов (таблица 8.3) количество ОЯ, нанесших материальный и социальный ущерб населению и отраслям экономики, увеличилось по сравнению с 2020 годом.

Таблица 8.3 – Распределение метеорологических ОЯ в 2021 г. по территории федеральных округов.

№	Явления	Федеральные округа								**Всего**
		СЗФО	ЦФО	ПФО	ЮФО	СКФО	УФО	СФО	ДВФО	
1	Сильный ветер	7	7	13	10	10	11	41	35	**134**
2	Сильные осадки	7	11	15	24	24	8	26	27	**142**
3	Метель и снег			1			1		7	**9**
4	Смешанные осадки									
5	Смерч				3			1		**4**
6	Сильный мороз	6	4	3	1		6	9	3	**32**
7	Аномально холодная погода	6	4	6	1		6	2	3	**28**
8	Сильная жара	3	7	10	6	3	6	2	2	**39**
9	Аномально жаркая погода	3	5	5	2		5	6	3	**29**
10	Град		2	3	10	8	2	4		**29**
11	Сильный гололед	2	1	1	8		1		1	**14**
13	Заморозки	7	10	12	6	1	12	8	8	**64**
14	Туман			1			1	1		**3**
16	КМЯ	3	5	7	16	10	1	22	21	**85**
Всего – 2021		**44**	**56**	**77**	**87**	**56**	**60**	**122**	**110**	**612**

В качестве примера: при прохождении холодного атмосферного фронта через ЦФО 27 и 28 июня прошли очень сильные дожди: в Калужской области выпало (до 58 мм осадков за 12 часов), в Брянской области (до 79 мм), 28 июня в Москве (метеорологическая станция МГУ – до 61 мм), в Московской области (метеорологической станции Солнечногорск - до 68 мм), отмечались гроза, град, ветер 17-22 м/с (28 июня в Тверской и Московской областях до 26 м/с, рисунок 8.3).

30 ноября комплекс опасных метеоявлений затронул 17 населенных пунктов на территории 13 муниципальных образований Республики Крым. Там наблюдались очень сильные дожди и ветры. На метеорологической станции Ай-Петри выпало до 31 мм осадков, порывы ветра достигали 28-33 м/с. Из-за очень сильного ветра в городах Ялта и Алушта были повалены деревья, оборваны линии электропередач (рисунок 8.3).

Рисунок 8.3 –Последствия непогоды в Москве 28 июня и в Крыму 30 ноября 2021 г.

9. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Современная система регулярного мониторинга составляющих радиационного баланса земной поверхности базируется 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. Аномалии месячных, сезонных и годовых сумм этих видов радиации

рассчитываются как отклонения от норм базового периода 1961-1990гг. и выражаются в процентах от этих норм. Для оценки условий 2020/2021 гг. использованы данные станций со срочными наблюдениями, для которых своевременно поступила оперативная информация (более 60 станций).

Основной особенностью глобальных ***многолетних*** изменений приходящей радиации, обнаруживаемых на территории России, является пониженное поступление радиации (возможно, обусловленное воздействием крупных вулканических извержений) в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века и связанный с этим отрицательный тренд прямой и суммарной радиации на интервале 1961-90гг. 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 (рисунок 9.1).

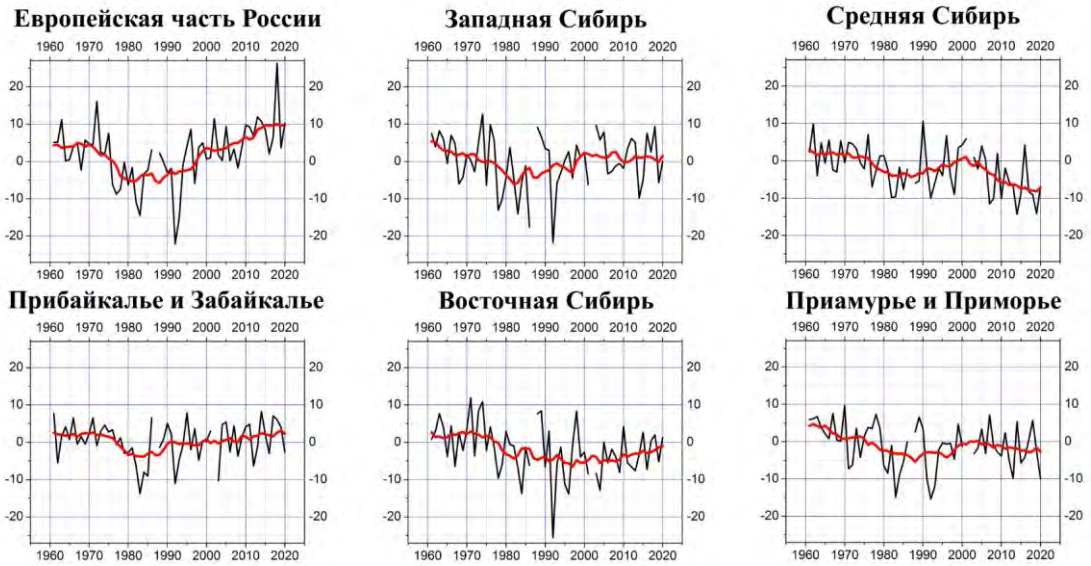


Рисунок 9.1 – Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. *Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние).*

Анализ многолетних колебаний по данным о пространственно-осредненных аномалиях годовых сумм прямой радиации на интервале 1961-2020 гг. (рисунок 9.1) показывает, что включение в анализ 2020 г. (последнего года со всеми доступными месячными аномалиями) не изменяет основные выводы, полученные ранее. На фоне значительной межгодовой изменчивости на территории ЕЧР сохраняется положительная тенденция, наиболее выраженная в южных районах. В 2018 г. в этом регионе отмечалась крупная положительная аномалия годовых сумм прямой радиации. Но при этом важно обратить внимание как на рост естественной изменчивости, наблюдаемый на отдельных станциях, так и на возросшую погрешность осредненных значений, связанную с сокращением плотности сети станций. В 2019 г. и 2020 г. в ЕЧР зафиксированы аномалии, близкие к средним значениям для последних двух десятилетий XXI века. В Средней Сибири с конца XXв. 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 из Чукотского и Камчатского УГМС.

Зимний сезон 2020/2021 гг. (рисунок 9.2) в целом характеризовался наличием крупных очагов аномалий прямой радиации разного знака.

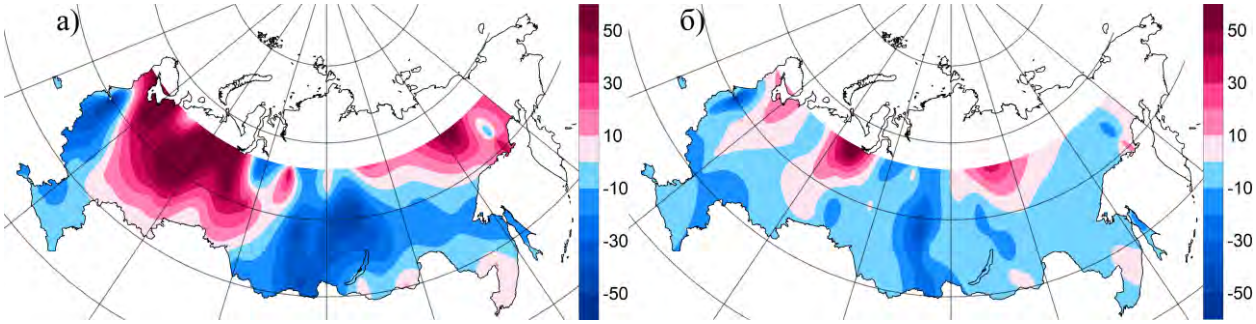


Рисунок 9.2 –Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных суммпрямой солнечной (а) и суммарной (б) радиации. Зима 2019/2021 гг.

На Европейской территории (за исключением западных районов, Краснодарского края и Республики Крым), на Урале и в Западной Сибири сформировалась обширная область положительных аномалий.

В отдельных районах на севере ЕЧР сезонные суммы прямой радиации оказались выше средних многолетних значений на 70-90% (Архангельск, Апатиты), а на севере Западной Сибири были зафиксированы рекордно-высокие значения сезонных сумм прямой радиации (Сытомино – 85%).

На формирование поля сезонных зимних аномалий наиболее существенное влияние оказал февраль. В это время Европейская территория формировалась под влиянием мощного околополярного антициклона и его гребней, распространившихся на умеренные широты. Ясная морозная погода привела к появлению обширной области с высокими положительными аномалиями прямой радиации, которая охватила большую часть ЕЧР и значительную часть Западной Сибири.

В то же время практически всю Азиатскую территорию, за исключением Западной Сибири, Магаданской области и Приморского края занимала область отрицательных аномалий. На ее формировании сказался низкий приход прямой радиации во все зимние месяцы, но в феврале Сибирский антициклон был особенно ослаблен, и его распространение оказалось ограниченным. Погоду в Сибири в это время преимущественно определяли

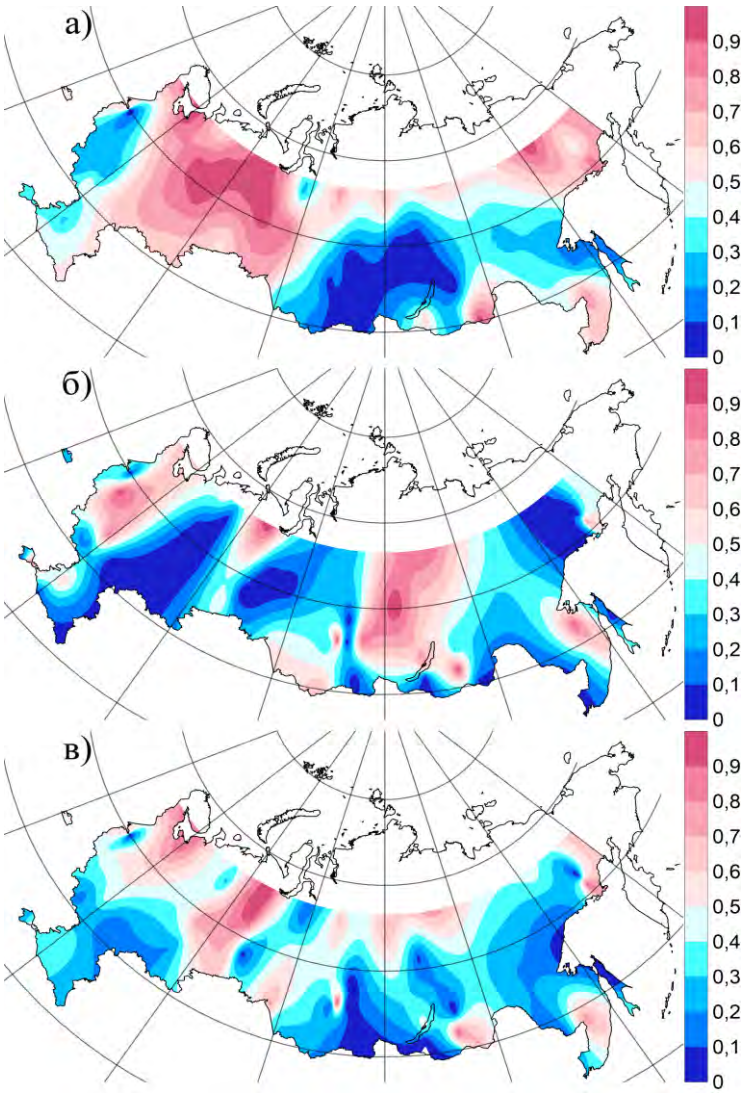


Рисунок 9.3 — Вероятности непревышения сезонных сумм прямой солнечной (а), рассеянной (б) и суммарной (в) радиации. Зима 20202021 гг.

атлантические циклоны. Наиболее мощные циклоны двигались по югу региона, где было отмечено наибольшее снижение сезонных сумм прямой радиации, а на отдельных станциях зафиксированы рекордно-низкие значения (рисунок 9.3).

В поле суммарной радиации доминировали отрицательные аномалии (преимущественно в южных районах Средней и Восточной Сибири) и значения, близкие к норме. Лишь на юге Ямало-Ненецкого округа наблюдались редко встречающиеся положительные аномалии суммарной радиации (рисунок 9.3), однако рекордов зафиксировано не было.

Весной 2021 года на большей части России наблюдалось пониженное поступление прямой радиации, обусловленное влиянием атлантических циклонов и их частым выходом на Азиатскую территорию страны.

На фоне преобладания низкого прихода прямой радиации выделяются две области положительных аномалий (рисунок 9.4). Одна из этих областей, расположенная в Сибири, начала формироваться в апреле в Иркутской области и Красноярском крае. В центре этой аномалии месячный приход прямой радиации превышал норму на 60%. Образование данной аномалии было связано со смещением на Среднюю Сибирь околополярного антициклона, вызвавшего устойчивую ясную погоду с морозами ниже -50° и температурными рекордами на многих станциях. Положительная аномалия прямой радиации в этом регионе сохранилась в мае и нашла отражение в осредненном за весенний сезон поле.

В то же время южные и юго-восточные районы ЕЧР, а также юг Западной Сибири, находились в мае под влиянием области высокого давления над Каспийским морем и гребней, распространявшихся с Аравийского полуострова. Это способствовало значительному повышению месячного прихода прямой радиации и привело к появлению положительной сезонной аномалии в поле прямой радиации.

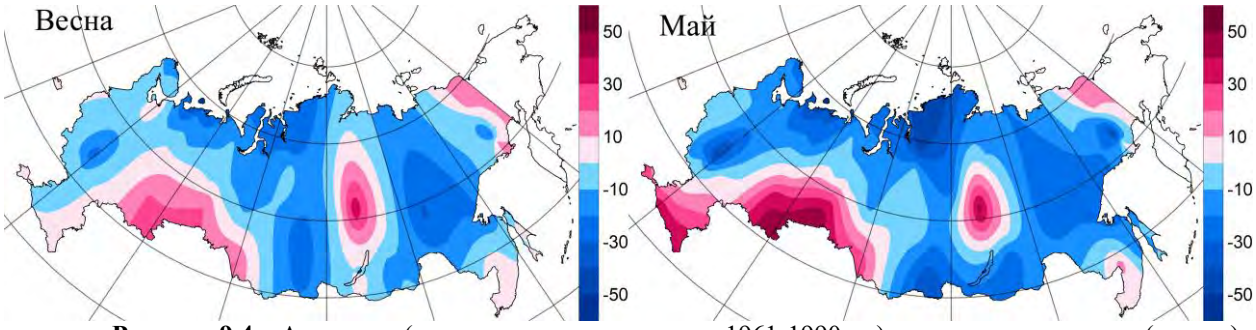


Рисунок 9.4 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (апрель) сумм прямой солнечной радиации. Весна 2021 г.

В поле рассеянной радиации на большей части страны, как и в предыдущие годы, доминировали отрицательные аномалии. В отдельных пунктах на юге Средней Сибири и в Арктической зоне были зафиксированы рекордно низкие значения рассеянной радиации (рисунок 9.5). Интенсивность отрицательных аномалий в весенний сезон обусловлена не только долговременными тенденциями в изменении состава атмосферы, но и смещением даты схода весеннего покрова, вследствие чего уменьшается альбедо подстилающей поверхности и слабо проявляется эффект многократного рассеяния радиации.

Поле аномалий суммарной радиации в весенний сезон по знаку аномалий, в основном, воспроизводит особенности поля аномалий прямой радиации. При этом отрицательные аномалии – в силу вклада пониженных значений рассеянной радиации – по своей интенсивности являются менее вероятными, чем аномалии прямой радиации. На значительной территории отмечаются экстремально-низкие значения суммарной радиации, вероятность непревышения которых менее 10% (рисунок 9.5).

Летний сезон 2021 г. характеризовался повышенным приходом прямой радиации на Европейской территории и пониженным поступлением на большей части АЧР. Такая

ситуация прослеживалась в течение всех летних месяцев, что отразилось на характере сезонного поля прямой радиации (рисунок 9.6). Летние сезонные суммы прямой радиации в отдельных районах ЕЧР превышали средние многолетние значения на 30-45% (Валдай, Курск), в то время как в Средней Сибири (Туруханск, Енисейск), они были ниже нормы на 30% и более. На севере Красноярского края были зафиксированы рекордно-низкие значения сезонных сумм. В Норильске снижение составило 63%.

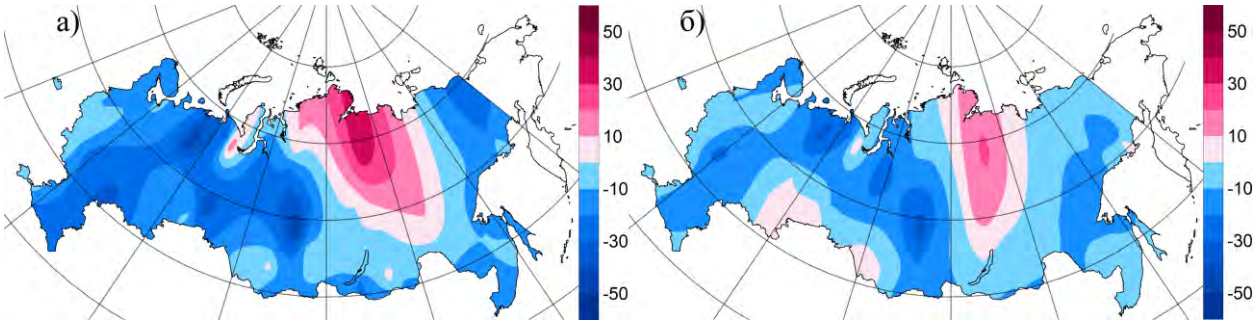


Рисунок 9.5 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) сезонных сумм рассеянной (а) и суммарной (б) радиации. Весна 2021 г.

Под влиянием гребней, распространившихся с Китая, в южных районах Сибири и Дальнего Востока сформировались очаги положительных аномалий прямой радиации, наиболее интенсивные в Иркутской области (Ербогачен) и севере Хабаровского края (Охотск).

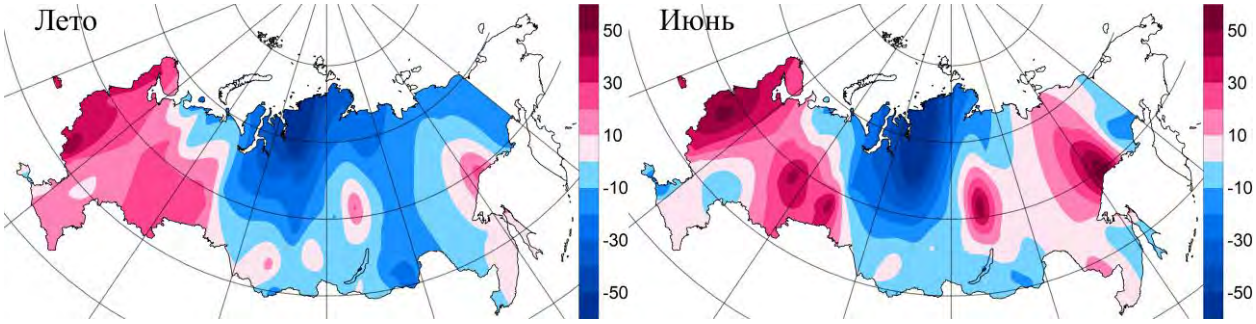


Рисунок 9.6 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных и месячных (август) сумм прямой солнечной радиации. Лето 2021 г.

В поле сезонных аномалий рассеянной радиации на фоне доминирующих отрицательных аномалий выделяются области положительных аномалий в Якутии и прилегающих районах, а также на севере Ямало-Ненецкого округа (рисунок 9.7).

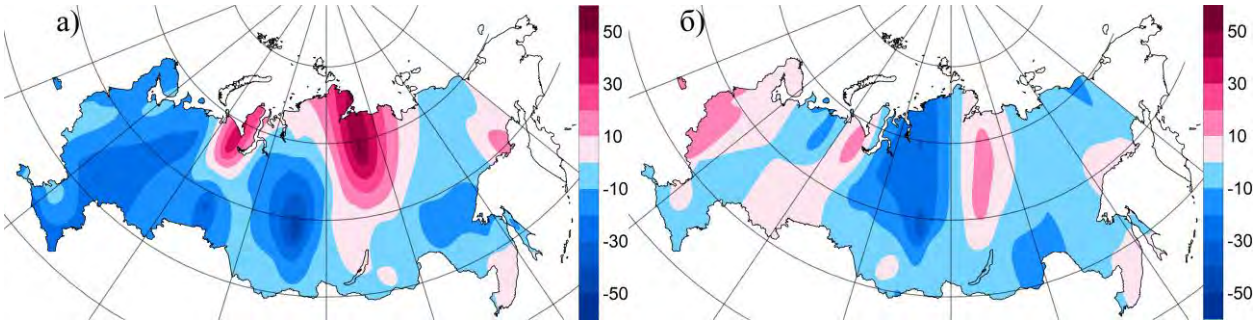


Рисунок 9.7 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) сезонных сумм рассеянной (а) и суммарной (б) радиации. Лето 2021 г.

На севере Якутии (Оленек) зафиксированы рекордно-высокие значения рассеянной радиации. Такие аномалии могут быть связаны с широким распространением на территории природных пожаров.

Положительные сезонные аномалии рассеянной радиации на АЧР хорошо проявляются и в поле суммарной радиации. На большей части ЕЧР также отмечаются положительные аномалии суммарной радиации, связанные с повышенным приходом прямой радиации.

Осреднение сезонных аномалий прямой радиации по территории России (рисунок 9.8) показывает, что зимой 2020/2021 гг. и летом 2021 г. значения прямой радиации были близки к норме за период 1961-90гг. В весенний сезон наблюдались пониженные значения прямой радиации. Среднее отклонение от нормы составило около 6%.

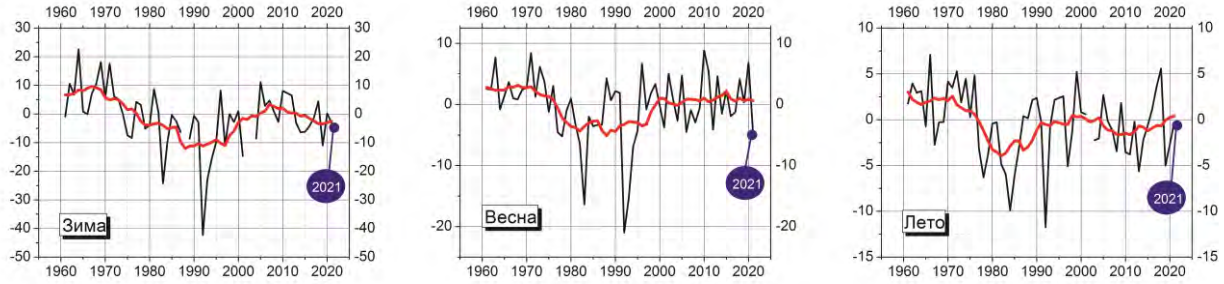


Рисунок 9.8 – Аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, осредненные по территории РФ. 1961-2021 гг.

В целом радиационный режим 2021 г. на территории России характеризуется пониженным приходом прямой радиации на большей части России. Наиболее ярко это проявилось в весенний сезон. В поле рассеянной радиации, как и в предыдущие годы, доминировали отрицательные аномалии. При этом и весной, и летом, на севере Якутии зарегистрированы рекордно-высокие значения рассеянной радиации, связанные, по-видимому, с широким распространением по территории природных пожаров.

Анализ многолетних изменений пространственно-осредненных аномалий годовых сумм радиации показывает, что на территории ЕЧР с начала 90-х годов XXв. наблюдается положительная тенденции в изменении прямой радиации. В Средней Сибири сохраняется тенденция к снижению приходящей радиации, наметившаяся в начале XXIв. В последние годы наблюдались крупные отрицательные аномалии, сопоставимые с рекордно низкими значениями, которые проявляются на фоне сильной межгодовой изменчивости.

10. ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА В 1957-2020 ГГ.

Центральный Кавказ – средоточие самых крупных ледников и узлов оледенения. Было проведена оценка изменений параметров 32-х основных долинных ледников (рисунок 10.1, таблица 10.1), питающих реки Малка, Баксан (основные притоки: Азау, Ирик, Юсеньги, Адыл-Су, Адыр-Су, Тютю-Су), Чегем (Башиль-Аузу-Су, Гара-Аузу-Су), Черек (Черек-Безенгийский, Черек- Балкарский), Псыган-Су, Урух, Ардон (Цея, Мамихдон), Гизельдон (Мидаграбиндон, Геналдон), Терек и оледенения Эльбруса за период 1957-2020 гг. на основе анализа разновременной аэрокосмической информации. Использовались аэрофотоснимки 1957, 1958, 1959, 1960 гг. и космоснимки Sentinel-2 за период 2015-2020гг.

За период 1961-1999 гг. среднелетняя температура в Терсколе составила 11.1ºС (±0.75°С), а за последние два десятилетия (2000-2020 гг.) 12.2°С(±0.8ºС). С середины 90-х годов по настоящее время ряд летних температур характеризуется абсолютным преобладанием положительных температурных аномалий. За последние пятнадцать лет (2006-2020 гг.) значимо росли абсолютные максимумы всех сезонных температур: зимние на 0.83°С/год (*D*=70%); весенние на 0.65°С/год (*D*=62%); летние на 0.52°С/год (*D*=28%); осенние на 0.59°С/год (*D*=44%).

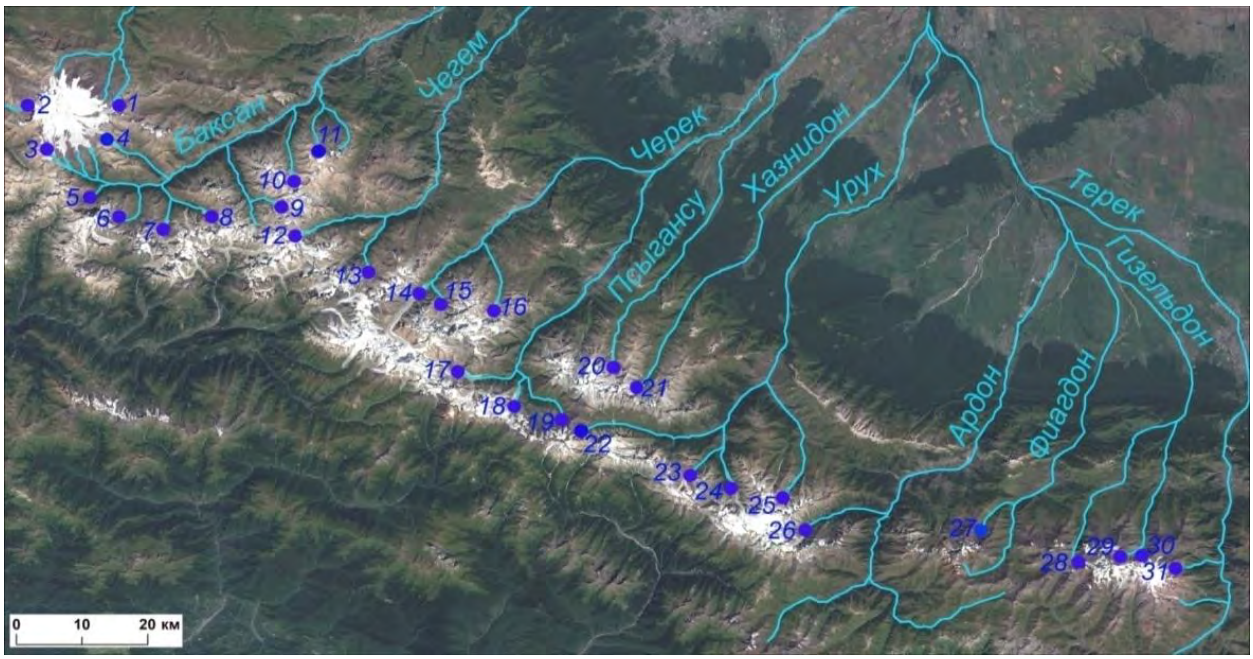


Рисунок 10.1 – Схема расположения долинных ледников Центрального Кавказа (космоснимок Sentinel-2 от 16.09.2020 г.). Номера ледников соответствуют таблице 10.1.

В сезон аккумуляции (холодный период: с октября по апрель) за последние 60 лет тенденция сумм осадков имела слабо отрицательную направленность, при этом 5-летнее скользящее среднее демонстрирует периоды увеличения и снижения зимних осадков примерно одной продолжительности до середины 90-х годов 20-го столетия. С начала 2000-х гг. имело место уменьшение сумм осадков холодного периода, продолжающееся в настоящий период.

Ледники по-разному реагировали на изменения климата. Наибольшая убыль площади зафиксирована у ледников с максимальной их шириной: Джикиуганкез (4.5 км) и Большой Азау (3 км) на склонах Эльбруса. Площади этих ледников уменьшились на 8.12 км^2 и 6.35 км^2 (29.2 и 32.4%), что в сумме составило 54.8% от общей убыли площади ледников Эльбруса за 1957-2020 гг. – 26.4 км^2 (19.6%). В последние 5 лет скорость деградации оледенения Эльбруса возросла в 5 раз и достигла 1.25 км^2 в год.

Среднее сокращение площади долинного ледника составило 1.28 км^2. По 2 км^2 и более потеряли 6 ледников (Джикиуганкез, Большой Азау, Шаурту, Безенги, Дых-Су, Мидаграбин) за счёт сокращения фронтальной части и отчленения ледников-притоков.

В среднем длина ледников уменьшилась на 1237 м. Максимальное уменьшение длины зафиксировано у ледника Дых-Су в истоках р. Черек Балкарский – 3280 м. На 2 км и более сократилась длина четырёх ледников: Дых-Су (3280 м), Шаурту (3060 м), Большой Азау (2580 м), Джикиуганкез (2380 м).

Замедленные темпы деградации наблюдались у ледников, поверхность которых на значительной площади покрыта обломочным чехлом обвальных отложений, подверженных воздействию обвалов льда с висячих ледников (Чегеткарачиран, Юсеньги, Мижиргичиран, Штулу Восточный, Мосотацете, Бартуйцете, Девдораки) и имеющих благоприятные условия для накопления осадков (Кюкюртлю).

Минимальное сокращение площади наблюдалось у ледника Девдораки (99 тыс. м^2), стекающего с горы Казбек. Бывший правый приток ледника Девдораки (ледник Шантор) испытал подвижку в период 2015-2017 гг. (после ледово-каменного обвала с горы Казбек в 2014 г.) на расстояние более 400 м и наполз на ледник Девдораки, что впоследствии привело к наступанию ледника Девдораки в 2020-2021 гг. на 10-15 м. После обвала в 2007 г. наступал ледник Кюкюртлю и за 2015-2020 гг. продвинул фронтальный массив

мёртвого льда в левой его части вперёд на 25-30 м, и тем самым в осевой части язык ледника опустился ниже границы 1957 г.

Таблица 10.1 – Деградация долинных ледников Центрального Кавказа.

№ п/п	Название ледника	Бассейн реки (приток)	Площадь по каталогу ледников, км^2	Уменьшение площади, км^2 (%), временной интервал	Умень-шение длины, м, + увеличение
1	Джикиуганкез	Малка	27.8 (29.04)[2]	8.12±0.22 (28.0-29.2)	2380
2	Кюкюртлю	Кубань (Уллухурзук)	6.6 (7.04)	0.10±0.01 (1.4-1.5)	+30
3	Большой Азау	Баксан (Азау)	19.6 (21.03)	6.35±0.20 (30.2-32.4)	2580
4	Ирик	Баксан (Ирик)	10.5 (11.0)	0.79±0.05 (7.2-7.4)	1475
5	Чегеткарачиран	Баксан (Донгуз-Орунбаксан)	2.7	0.03±0.002 (1.0)	100
6	Юсеньги	Баксан (Юсеньги)	2.8	0.22±0.02 (7.9)	260
7	Шхельда	Баксан (Адылсу)	5.6	1.24±0.04 (22.1) 1960-2020	1790
8	Башкара	Баксан (Адылсу)	3.4	0.37±0.02 (10.9)	440
9	Юномсу	Баксан (Адырсу)	1.9	0.44±0.02 (23.0)	650
10	Большой Тютю	Баксан (Тютюсу)	2.5	0.59±0.04 (23.7) 1962-2020	520
11	Каяартыбаши	Баксан (Герхожансу)	3.05[3]	1.23±0.08 (40.3)	640
12	Башиль	Чегем (Башильаузусу)	7.8	0.98±0.05 (12.5)	1030
13	Шаурту	Чегем (Гарааузусу)	10.1	2.60±0.10 (25.8)	3060
14	Безенги	Черек Безенгийский	36.2	2.49±0.08 (6.9)	1220
15	Мижиргичиран	Черек Безенгийский (Мижирги)	9.9	0.23±0.01 (2.3)	400
16	Уллуаузна	Черек Безенгийский (Думала)	6.0	0.34±0.02 (5.6)	690
17	Дых-Су	Черек Балкарский	34.0	3.24±0.10 (9.5) 1960-2020	3280
18	Агаштан	Черек Балкарский (Карасу)	15.9	2.13±0.05 (13.4) 1960-2020	2840
19	Штулу Восточный	Черек Балкарский (Карасу)	2.5	0.17±0.03 (6.8)	270
20	Нахашбита	Псыгансу	7.5	0.18±0.02 (2.4)	290
21	Хазны	Хазнидон	2.3	0.28±0.02 (12.1) 1959-2020	760
22	Мосотацете	Урух (Харвес)	3.6	0.35±0.04 (9.6)	320
23	Бартуйцете	Урух (Бартуйдон)	5.5	0.11±0.02 (2.0) 1959-2020	245
24	Караугом	Урух (Караугом)	26.6	1.01±0.04 (3.8) 1959-2020	1780
25	Сонгутидонцете	Урух (Айгамуга)	4.6	0.50±0.02 (10.8) 1959-2020	1085
26	Цея	Ардон (Цеядон)	9.7	0.70±0.04 (7.2)	680
27	Цазги	Фиагдон (Саджилдон)	2.6	0.05±0.01 (2.0) 1958-2020	180
28	Мидаграбин	Гизельдон (Мидаграбиндон)	9.2	3.13±0.14 (34.0) 1958-2020	1275
29	Колка	Гизельдон (Геналдон)	7.2	+ 0.16±0.02[4] 2010-2020	+230
30	Майли	Гизельдон (Геналдон)	7.0	0.39±0.03 (5.6) 1958-2020	550
31	Девдораки	Терек (Амали)	7.0	0.08±0.01 (1.1) 1958-2020	240

Примечания:

[1]*Показаны временные интервалы кроме 1957-2020 гг.*

[2]*В скобках приведены данные из статьи (Золотарёв Е. А., Харьковец Е. Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лед и снег – 2012. – Том 52. – № 2. URL: https://doi.org/10.15356/2076-6734-2012-2-15-22)*

[3]*Данные авторов*

[4]*Увеличение площади в процессе восстановления ледника после схода в 2002 г.*

После обвала в 1959 г. наступание зафиксировано у левого потока ледника Бартуйцете, который в 1959 г. отстоял от конца языка на 800 м. К 2020 г. он наступил на 630 м и занял место правого потока на фронте языка ледника.

В среднем площадь долинных ледников сократилась на 13.96% (от 1-2 до 60%). Максимальная убыль площади зафиксирована у карово-долинного ледника Козицете в верховьях долины реки Мамихдон.

Исследование динамики ледников на территории будущего курорта «Мамисон» показало, что небольшие ледники на склоне и у подножия горы Халаца в верховьях долины реки Земегондон потеряли 65-71% своей площади, а каровые ледники на левом склоне долины реки Земегондон – 29-33% площади. В соседнем Цейском ущелье зафиксировано наступание карового ледника Уилпата на 25-30 м за 2015-2021 гг. после обвала в начале XXI века.

Современный этап деградации ледников характеризуется тем, что в разных районах мира происходят сходы ледников, подобные Геналдонской катастрофе 2002 г. Всего таких случаев уже зафиксировано более 30-ти. В результате анализа этих случаев были выявлены признаки подготовки ледников к сходу, которые можно обнаружить на космоснимках. К числу таких признаков относится резкое увеличение скорости движения ледников и их подвижки. Факт аномальной подвижки карового ледника был выявлен при анализе причин гибели двух человек у ледника Алибек в районе Домбая (КЧР) 14 сентября 2021 г. Исследование деградации ледника Алибек показало, что отделившийся от ледника Алибек бывший правый его приток в июне-июле 2018 г. испытал подвижку на расстояние до 90 м со скоростью до 2 м в сутки. Ледник, разбитый на блоки многочисленными трещинами, прекратил движение на небольшом расстоянии от крутого скального обрыва. В случае продолжения подвижки могло произойти обрушение ледника и его выброс по долине реки Алибек. Подобные процессы ранее в этом районе зафиксированы не были. Это может свидетельствовать о том, что в будущем возможны подвижки и сходы других ледников, которые не считаются пульсирующими. Сходам ледников могут способствовать обвалы, участившиеся в XXI веке на Западном и Центральном Кавказе и особенно в 2019-2021 гг.

Восстановление ледника Колка после его схода в 2002 г. происходит разными темпами. Если за период 2015-2019 гг. он продвигался вперёд на 23-24 м в год, то за 2020 год ледник Колка наступил на 65 м и его площадь при этом увеличилась на 13.5 тыс. м^2. В 2021 г. ледник Колка продолжил наступание. Его конец продвинулся на 55-68 м, а площадь увеличилась во фронтальной части на 20.5 тыс. м^2. Возможно, что этому способствовали обвалы с правого склона цирка, произошедшие в мае-июне 2021 г. Если в первые годы наступание ледника происходило за счёт подвижек бывших правых его притоков, то теперь формирующийся новый основной поток ледника с тыловой зоны цирка начал, наступая, толкать их вперёд и занимать их место в осевой зоне. В 2021 г. конец языка ледника Колка отстоял от его положения в 1957 г. на 1450 м, что свидетельствует о том, что ледник не набрал своего первоначального объёма, который был до схода.

11. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

Данные. Приведенные в настоящем разделе оценки получены с использованием данных о продолжительности солнечного сияния (ПСС) из созданной во ВНИИГМИ-МЦД базы данных «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России» (meteo.ru), которая содержит месячные обобщения ежесуточных наблюдений за солнечным сиянием по гелиографу. Для каждой станции рассчитываются аномалии месячных сумм ПСС (отклонения от норм – средних многолетних значений за

период 1981-2010 гг.), а по ним – суммарные аномалии за календарные сезоны, если присутствуют данные не менее чем за два месяца, и в целом за год (январь-декабрь) – при наличии данных не менее чем за 10 месяцев. Значения суммарной за сезон/год продолжительности солнечного сияния на станциях (*SS, часы*) восстанавливаются с использованием соответствующих норм, и используются для расчета относительных аномалий (*RS, %*) – отношение к норме, выраженное в процентах. Расчет дополнительных характеристик аномалий (процентили, вероятности непревышения, ранги) осуществляется по данным за период, начинающийся 1961-м годом, когда с увеличением числа станций, представленных в информационной базе, существенно улучшилась территориальная освещенность данными, и заканчивающийся прошедшим годом.

Полученные по данным метеорологических станций оценки представлены в виде карт для территории России, а также в виде региональных средних: для территории РФ в целом, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти квази-однородных физико-географических регионов и восьми федеральных округов РФ (рисунки 3 и 2 Введения). Для получения региональных средних проводится арифметическое осреднение аномалий на метеорологических станциях по ячейкам географической сетки (1°широты x 2°долготы), а затем осреднение полученных средних с весовыми коэффициентами, зависящими от широты ячейки.

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

Продолжительность солнечного сияния на территории России в 2021 г.

Для получения характеристик ПСС в 2021 г. за первые шесть месяцев года (январь-июнь) использовалась режимная информация, поступившая из УГМС в Госфонд, а за второе полугодие (июль-декабрь) – оперативные данные, поступившие от 307 метеорологических станций сети Росгидромета по каналам связи (сводки «КЛИМАТ»).

На рисунках 11.1 и 11.2 представлено распределение годовых и сезонных аномалий ПСС на территории России в 2021 г., а в таблице 11.1 – среднегодовые и средние сезонные аномалии ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ. Региональные средние месячные аномалии ПСС приведены в таблице 11.2. Напомним, что относительные аномалии менее 100% соответствуют отрицательным аномалиям, более 100% – положительным.

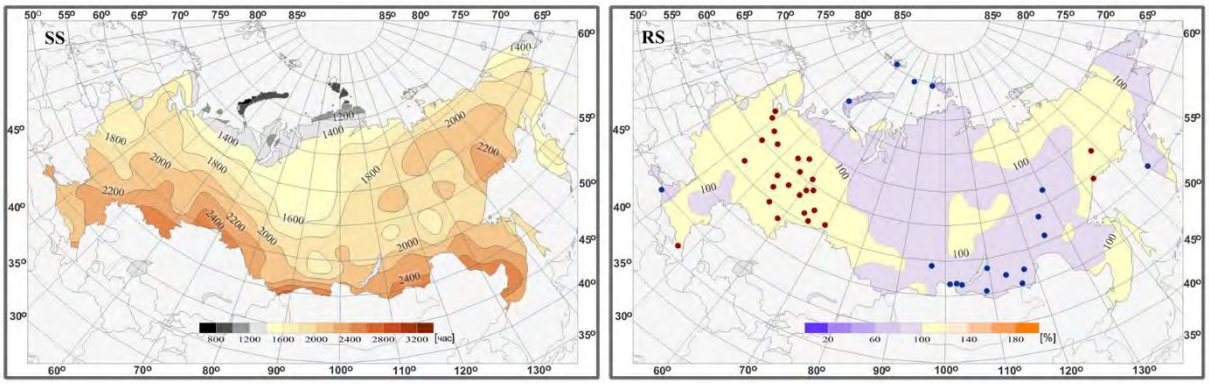


Рисунок 11.1 – Пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния (*SS*, часы) и ее относительных аномалий (*RS*, %) на территории РФ в 2021 г. (январь-декабрь). *Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля.*

Как видно из рисунка 11.1, в 2021 году на территории России существенных аномалий годовых сумм ПСС не наблюдалось. Средняя для РФ годовая ПСС была близка к норме (*RS*=102%), а в ЕЧР превысила норму (*RS*=106%). При этом ПСС целого ряда

станций ЕЧР попала в 95%-й квантиль, а Приволжский ФО (*RS*=109%) – в пять максимумов (ранг 4). В АЧР значительные территории были заняты отрицательными аномалиями. Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался на юге Восточной Сибири – этот регион попал в пять минимумов (*RS*=95%).

В целом для территории РФ средняя для зимы ПСС соответствовала норме. Весной средняя сезонная аномалия была отрицательной, а летом и осенью – положительной. Средние сезонные аномалии для ЕЧР и АЧР имели противоположные знаки. В ЕЧР во все сезоны, за исключением осени, наблюдались положительные аномалии, тогда как в АЧР, где суммарная за год ПСС была несколько ниже нормы, зимой и весной средняя аномалия была отрицательной, а осенью – положительной.

Таблица 11.1 – Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния (*RS*, %) в регионах России и вероятность ее непревышения (*P*, %) в 2021 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	72	100	45	99	43	105	98	102	58
ЕЧР	106	85	109	72	102	70	112	98	99	43
АЧР	99	33	97	27	98	27	100	53	103	62
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Западной Сибири	101	53	123	78	92	20	104	60	104	62
Север Восточной Сибири и Якутии	103	72	126	85	104	70	98	37	108	70
Чукотка и север Камчатки	96	40	115	78	94	30	98	48	89	25
Центр ЕЧР	109	92	115	77	105	82	116	100	97	47
Центр и юг Западной Сибири	102	72	114	77	103	65	99	52	102	50
Центр и юг Восточной Сибири	95	7	89	15	95	15	96	18	96	23
Дальний Восток	102	70	96	30	95	15	108	95	109	95
Алтай и Саяны	97	18	88	8	94	15	101	48	102	62
Юг ЕЧР	102	57	99	50	103	55	104	60	101	42
Федеральные округа РФ										
Центральный	103	72	110	60	98	45	109	87	103	57
Южный	99	38	103	55	96	38	100	42	104	63
Северо-Западный	107	85	120	80	98	40	114	92	98	35
Дальневосточный	99	22	95	25	96	10	100	55	104	77
Сибирский	98	23	94	32	98	43	98	33	98	38
Уральский	107	92	115	73	106	85	106	82	110	75
Приволжский	109	95	120	80	105	82	117	98	96	45
Северо-Кавказский	105	78	96	37	111	88	109	87	95	23

Зимой 2020/21 гг. на территории РФ наиболее существенные положительные аномалии ПСС наблюдались в северных районах Западной и Средней Сибири (на отдельных станциях более 200% от нормы), а также на северо-востоке ЕЧР. Дефицит солнечного сияния (до 60% от нормы) отмечался в южных районах АЧР. На ряде станций Якутии были обновлены многолетние сезонные минимумы. ***В декабре 2020 г.*** почти вся территория ЕЧР была занята положительными аномалиями ПСС. Средняя аномалия для ЕЧР составила 144% от нормы и получила ранг 2 среди максимумов. В 5 максимумов попала ПСС ЦФО, ЮФО и ПФО. Значительная часть азиатской территории была занята отрицательными аномалиями, но на востоке Дальневосточного региона сформировались очаги положительных аномалий. В ***январе 2021 г.*** в ЕЧР преобладали отрицательные аномалии ПСС. В центральных районах (Тульская, Рязанская обл.) аномалии составляли менее 20% от нормы. На целом ряде станций аномалии попали 5%-й квантиль, а регион «Центр ЕЧР» - в пять минимумов (*RS*=58%). Отрицательная аномалия для ЦФО стала рекордной с 1961 г. На северо-востоке ЕЧР наблюдался очаг положительных аномалий. В АЧР значительные очаги положительных аномалий ПСС сформировались в Западной Сибири и на севере Якутии. Усилился очаг положительных аномалий на юго-востоке (Дальневосточный регион). На юге Восточной Сибири отмечались отрицательные аномалии. На многих станциях были обновлены многолетние минимумы (Иркутская и

Читинская обл., юг Бурятии). Отрицательная аномалия для региона «Алтай и Саяны» получила ранг 2 среди минимумов. В ***феврале*** средняя ПСС для территории РФ была несколько ниже нормы (*RS*=98%). Однако значительная территория страны была занята положительными аномалиями. В ЕЧР положительные аномалии были преобладающими (*RS*=110%). Очаг наиболее значительных аномалий (до 200% от нормы) наблюдался на востоке ЕЧР. Ряд станций этого региона и Западной Сибири попали в 95%-й квантиль, а ПФО и УФО – в пять максимумов (ранг 5). Южные районы страны были заняты отрицательными аномалиями ПСС. На ряде станций (Хабаровский край, о. Сахалин) были обновлены наблюдавшиеся ранее минимумы месячных сумм ПСС.

Таблица 11.2 – Относительные аномалии (%) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, в 2021 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	92	98	98	99	100	107	106	101	99	108	96	104
ЕЧР	80	110	107	96	103	114	114	106	87	116	106	111
АЧР	97	93	95	100	98	102	100	97	107	104	91	104
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	83	130	116	87	84	114	103	92	111	95	91	100
Север Вост. Сибири и Якутии	138	124	101	104	105	112	89	89	122	86	113	150
Чукотка и север Камчатки	112	116	88	99	93	111	85	93	86	76	114	50
Центр ЕЧР	58	122	108	102	104	119	117	112	84	129	80	107
Центр и юг Зап. Сибири	125	111	91	103	111	96	99	104	106	106	86	97
Центр и юг Вост. Сибири	84	90	93	102	91	104	97	83	96	102	87	105
Дальний Восток	100	84	95	92	97	103	112	109	119	109	94	102
Алтай и Саяны	81	84	91	104	88	96	108	99	99	113	90	107
Юг ЕЧР	105	82	100	86	115	102	109	100	84	103	133	112
Федеральные округа РФ												
Центральный	35	122	113	101	89	110	121	95	77	148	105	91
Южный	108	70	97	77	109	96	109	94	88	107	139	109
Северо-Западный	73	126	111	97	93	126	117	97	95	112	72	117
Дальневосточный	93	90	95	97	95	106	98	95	109	103	94	105
Сибирский	102	91	89	106	99	96	106	92	99	107	81	100
Уральский	100	117	106	97	114	108	99	115	117	108	94	108
Приволжский	57	132	109	101	106	116	113	122	84	130	73	115
Северо-Кавказский	99	95	102	98	122	109	109	110	78	98	125	112

Весной 2021 г., в отличие от зимы, очагов с крупными аномалиями ПСС не наблюдалось. В ЕЧР преобладали положительные аномалии (средняя аномалия 102%), в АЧР – отрицательные (средняя аномалия 98%). Наибольшие положительные аномалии (более 120% от нормы) отмечались на станциях Челябинской и Тюменской области – они оказались рекордными с 1961 г. В ***марте*** в ЕЧР наблюдались положительные аномалии ПСС, но интенсивность их по сравнению с февралем уменьшилась и на станциях не превышала 150% от нормы. В АЧР территория, занятая положительными аномалиями, существенно сократилась, максимальная интенсивность уменьшилась до 160% от нормы (север Красноярского края), а средняя аномалия составила 95%. В ***апреле*** в ЕЧР территория, занятая положительными аномалиями, сократилась, а в АЧР увеличилась. Значительных аномалий на территории страны не наблюдалось. Тем не менее более десяти станций юга ЕЧР, Якутии и о. Сахалин попали в 5%-й квантиль. В ***мае*** средняя для территории РФ ПСС равнялась норме. Однако в этот месяц отмечалось наибольшее общее число станций со значительными аномалиями ПСС. Очаг с положительными аномалиями (до 150% от нормы) сформировался на крайнем юге ЕЧР, а также на юге Западной Сибири, где более 20-ти станций попали в 95%-й квантиль, а на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы (Курганская, Челябинская, Тюменская обл. и др.). Наибольший дефицит солнечного сияния (менее 60% от нормы) наблюдался на юге Восточной Сибири и Дальневосточного региона: более 20-ти станций попали в 5%-й

квантиль, на некоторых из них были обновлены наблюдавшиеся ранее минимумы (Иркутская, Читинская, Амурская обл. и др.). Отрицательные аномалии ПСС отмечались также на севере АЧР в районе Таймыра.

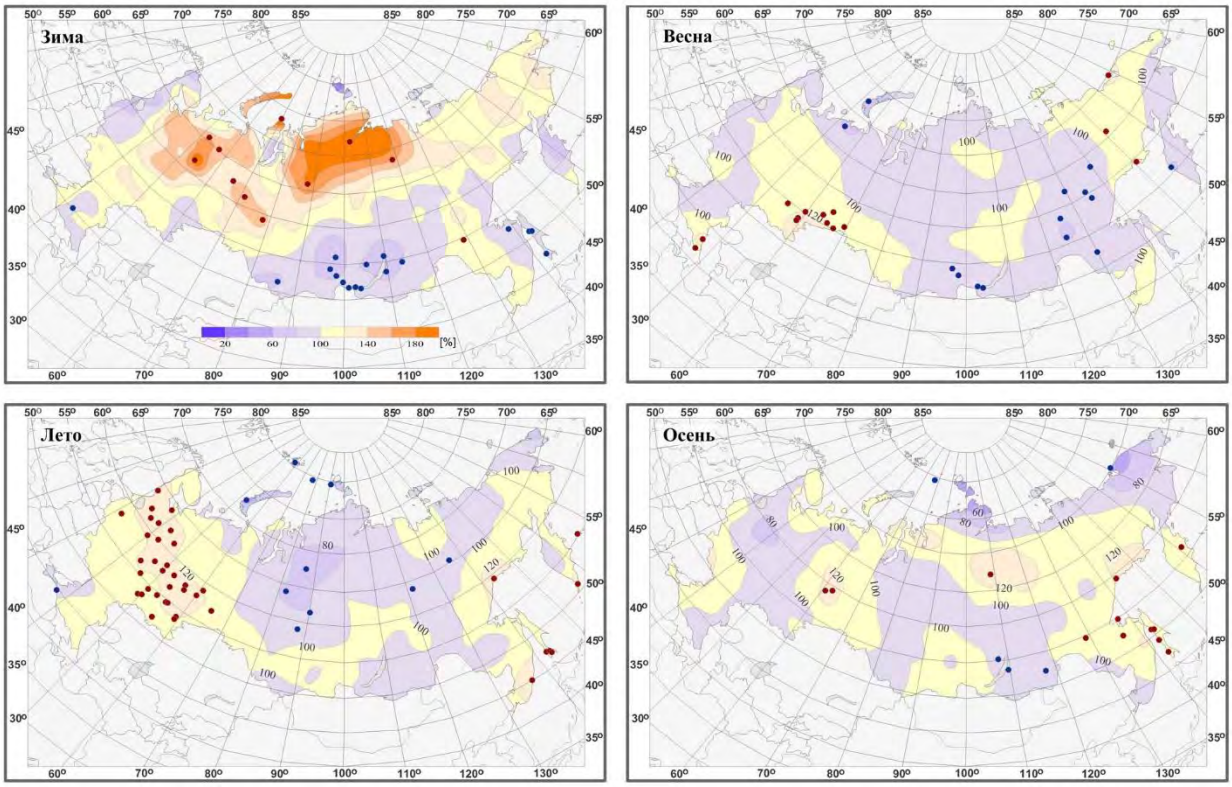


Рисунок 11.2 – Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния (*RS*, %) на территории РФ в 2021 г. *Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля*.

Лето на территории России было солнечным. Площадь, занятая положительными аномалиями ПСС, по сравнению с весной расширилась. Средняя для территории РФ аномалия составила 105% от нормы, была положительной в течение всех трех летних месяцев и получила ранг 2 среди максимумов. В ЕЧР средняя аномалия составила 112% (также ранг 2 среди максимумов). ПСС на многих станциях стала рекордной с 1961 г., регион «Центр ЕЧР» получил ранг 1, а ПФО – ранг 2. В АЧР средняя за сезон ПСС была на уровне нормы. При этом в СФО сформировался очаг довольно существенных (на отдельных станциях менее 80% от нормы) отрицательных аномалий, а на крайнем востоке вдоль тихоокеанского побережья наблюдались положительные аномалии и регион «Дальний Восток» (*RS*=108%) попал в 5 максимумов. ***Июнь*** характеризовался преобладанием положительных аномалий как в ЕЧР (*RS*=114%), так и в АЧР (*RS*=102%). На отдельных станциях значения аномалий превышали 140% от нормы и на ряде станций (Кировская, Нижегородская, Свердловская области и др.) были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. ПСС, средняя для территории РФ в целом и ее европейской части, получила ранг 3 и 4 соответственно. При этом ПСС Центрального региона (*RS*=119%), СЗФО (*RS*=126%) и ПФО (*RS*=116%) попала в пять максимумов. Очаг значительных отрицательных аномалий (в центре менее 45% от нормы) сформировался в Западной Сибири и занимал большую часть ее территории. В ***июле*** преобладание положительных аномалий в ЕЧР сохранилось. Несмотря на то, что интенсивность аномалий несколько уменьшилась, экстремальность ПСС для РФ в целом и ЕЧР сохранилась (ранги 4 и 3 соответственно). Наиболее солнечно было в Центральном ФО (*RS*=121%, ранг 2 среди максимумов). В АЧР интенсивность отрицательных аномалий уменьшилась, но занятая ими территория существенно увеличилась. Очаг наибольшего

дефицита солнечного сияния сместился к востоку и положительные аномалии (до 160% от нормы) сохранились только в Приморском крае и на Сахалине. В ***августе*** на западе ЕЧР сформировалась область отрицательных аномалий ПСС, а очаг положительных аномалий (со значениями более 140% от нормы) сместился в юго-восточные районы региона. Средняя аномалия ПСС в ПФО составила 122% и попала в пять максимумов. В Челябинской и Оренбургской области были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. В АЧР территория, занятая отрицательными аномалиями, по сравнению с июлем, еще больше расширилась, а сами аномалии вновь усилились (на ряде станций Якутии были обновлены месячные минимумы), в результате средняя для региона «Центр и юг Восточной Сибири» аномалия составила 83% от нормы (ранг 3 среди минимумов). Положительные аномалии ПСС наблюдались на тихоокеанском побережье и Камчатке (на отдельных станциях более 140% от нормы).

Осенью средняя аномалия для территории РФ в целом была положительной (*RS*=102%), при этом в ЕЧР несколько преобладали отрицательные аномалии (*RS*=99%)**.** Значительная территория АЧР была занята положительными аномалиями и ПСС ряда станций Дальневосточного региона попала в 95%-й квантиль, а регион в целом – в пять максимумов (ранг 4). Наиболее существенные отрицательные аномалии в АЧР отмечались вблизи Арктического побережья (менее 60% от нормы). В ***сентябре*** на территории ЕЧР наблюдался существенный дефицит солнечного сияния. ПСС ряда южных станций попала в 5%-й квантиль, а регион «Юг ЕЧР» в целом (*RS*=84% от нормы) – в пять минимумов. ПСС в СКФО оказалась минимальной с 1961 года (*RS*=78%, ранг 1). В АЧР наиболее значительные отрицательные аномалии наблюдались на юге Восточной Сибири и на Чукотке (менее 60% от нормы). Большая часть АЧР была занята положительными аномалиями. ПСС целого ряда станций и региона «Дальний Восток» в целом (*RS*=119%) попала в 95%-й квантиль, а ПСС региона «Север Восточной Сибири и Якутии» (*RS*=122%) получила ранг 4 среди максимумов. В ***октябре*** в распределении аномалий ПСС произошли кардинальные изменения. ЕЧР оказалась во власти положительных аномалий (на отдельных станциях более 180% от нормы). Средняя аномалия для Центрального ФО составила 148% от нормы (ранг 4 среди максимумов). В АЧР сформировалась обширная область отрицательных аномалий (на отдельных станциях Западной Сибири менее 30% от нормы). На юге АЧР наблюдались положительные аномалии (до 140% от нормы). В ***ноябре*** на территории страны преобладали отрицательные аномалии ПСС – средняя аномалия составила 96% от нормы. Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался в регионе «Центр ЕЧР» (*RS*=80% от нормы), в Северо-западном (*RS*=72%) и Приволжском (*RS*=73%) ФО. Однако за счет значительных положительных аномалий на юге ЕЧР (средняя аномалия для ЮФО составила 139% от нормы) средняя аномалия для ЕЧР в целом была положительной (106% от нормы). Очаги наиболее значительных положительных аномалий в АЧР располагались на севере Якутии и Чукотке (на отдельных станциях более 180% от нормы).

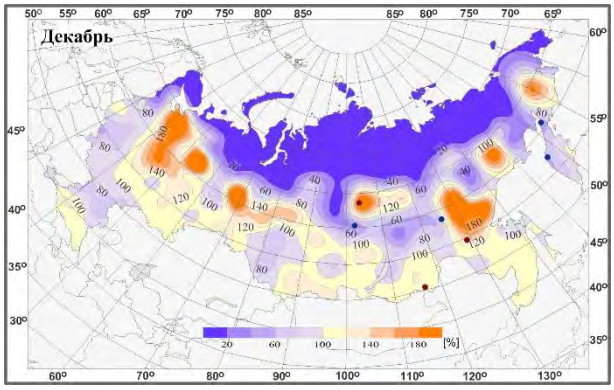


Рисунок 11.3 – Пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории РФ в декабре 2021 года.

В ***декабре*** (рисунок 11.3) средняя аномалия ПСС для ЕЧР составила 111% от нормы, для АЧР – 104%. Наиболее значительные месячные аномалии в ЕЧР превышали 20 часов, на юго-востоке АЧР – 40 часов.

На рисунке 11.4 видно, что для территории РФ в целом наиболее значительные положительные аномалии отмечались в июне (107% от нормы), июле

(106%) и октябре (108%). ПСС указанных двух летних месяцев попала в пять максимумов (с 1961 г.). Наибольший дефицит солнечного сияния для страны в целом наблюдался в январе. В ЕЧР положительные аномалии преобладали в течение девяти месяцев. Наибольшие из них (в июне, июле, октябре) определили преобладание положительных аномалий для территории РФ в целом. Наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС в ЕЧР наблюдались в январе (80% от нормы, ранг 5 среди минимумов) и сентябре (87% от нормы). В АЧР в течение шести месяцев преобладали отрицательные аномалии и только в течение четырех месяцев – положительные. Наиболее существенные отрицательные аномалии ПСС наблюдались в феврале (93% от нормы) и ноябре (91%).

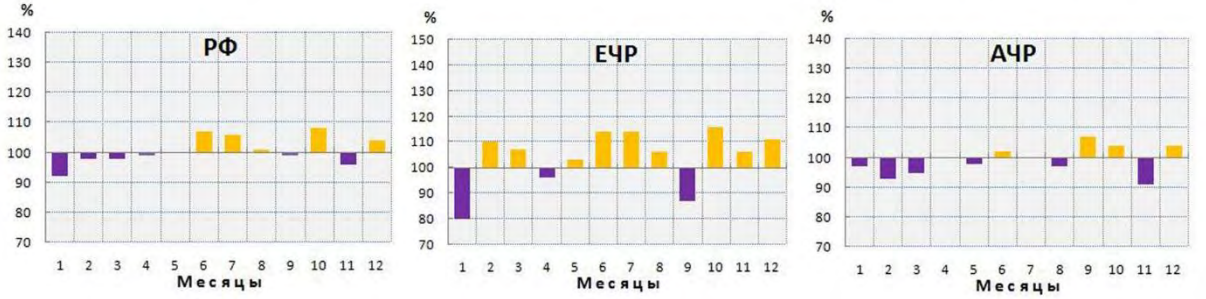


Рисунок 11.4 – Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР; 2021 г.

Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Географическое распределение коэффициентов линейного тренда годовых сумм ПСС, рассчитанных для периода 1976-2021 гг., представлено на рисунке 11.5. Оно мало отличается от полученного годом ранее. По-прежнему изменения ПСС почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом. Из 267-ми станций, для которых рассчитывался тренд годовых сумм ПСС, положительный тренд наблюдается на 189-ти станциях (70.8%), причем на 55.6% этих станций тренд является статистически значимым (на 5%-м уровне). Средняя скорость роста ПСС (коэффициент линейного тренда *b*) для территории России в целом составляет 1.1% в 10 лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 30% (таблица 11.3). Положительный тренд для России в целом наблюдается во все сезоны и является статистически значимым (за исключением осени). Статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС и отдельно для ЕЧР и АЧР, при этом его скорость в ЕЧР более чем в 2 раза больше. Наибольший вклад в тренд годовых сумм в ЕЧР вносит тренд летнего сезона (*b*=2.6% / 10лет), а в АЧР – зимнего (*b*=2.5% / 10лет).

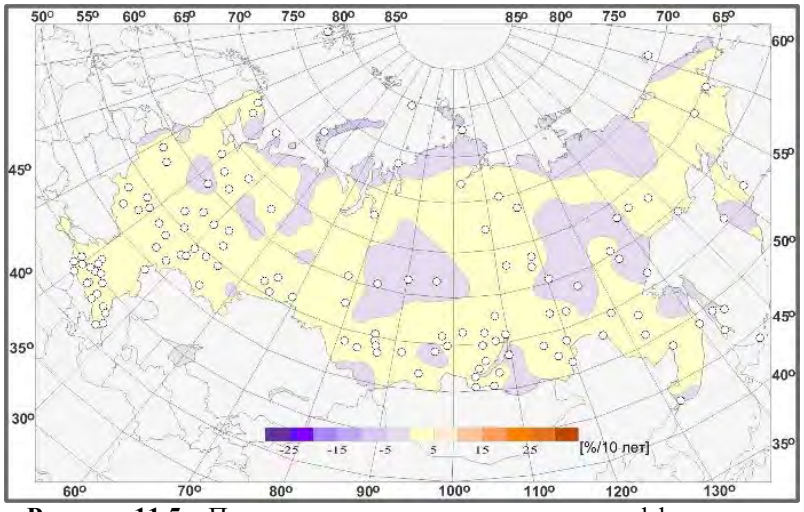


Рисунок 11.5 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий годовой продолжительности солнечного сияния на территории России, по данным за 1976-2021 гг. (%/10 лет). *Белыми кружками выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-м уровне.*

Наибольший тренд годовых сумм ПСС наблюдается на юге ЕЧР (3.1% / 10лет в ЮФО).

На рисунке 11.6 показано географическое распределение коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий ПСС, а на рисунке 11.7 – многолетний ход средних годовых и сезонных аномалий ПСС для территории РФ в целом и отдельно для ЕЧР и АЧР.

В географическом распределении коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий ПСС по сравнению с прошлым годом существенных изменений не произошло.

Наибольший рост ПСС отмечается в **зимний** сезон, он несколько замедлился и составил 1.6% / 10лет. При этом на западе ЕЧР прослеживается отрицательный тренд, который в Центральном и Северо-западном ФО составляет соответственно -5.4 и -5.0% в 10 лет. Отрицательный тренд является результирующим для зимнего сезона в ЕЧР в целом, составляет -0.7% / 10лет, но статистически незначим. На рисунке 11.7 видно, что в зимний сезон в ЕЧР многолетние изменения ПСС имеют волнообразный характер, который не находит отражения в оценках линейного тренда. Наиболее значительное увеличение зимних сумм ПСС по-прежнему отмечается в регионе «Север Восточной Сибири и Якутии» (9.0% / 10лет).

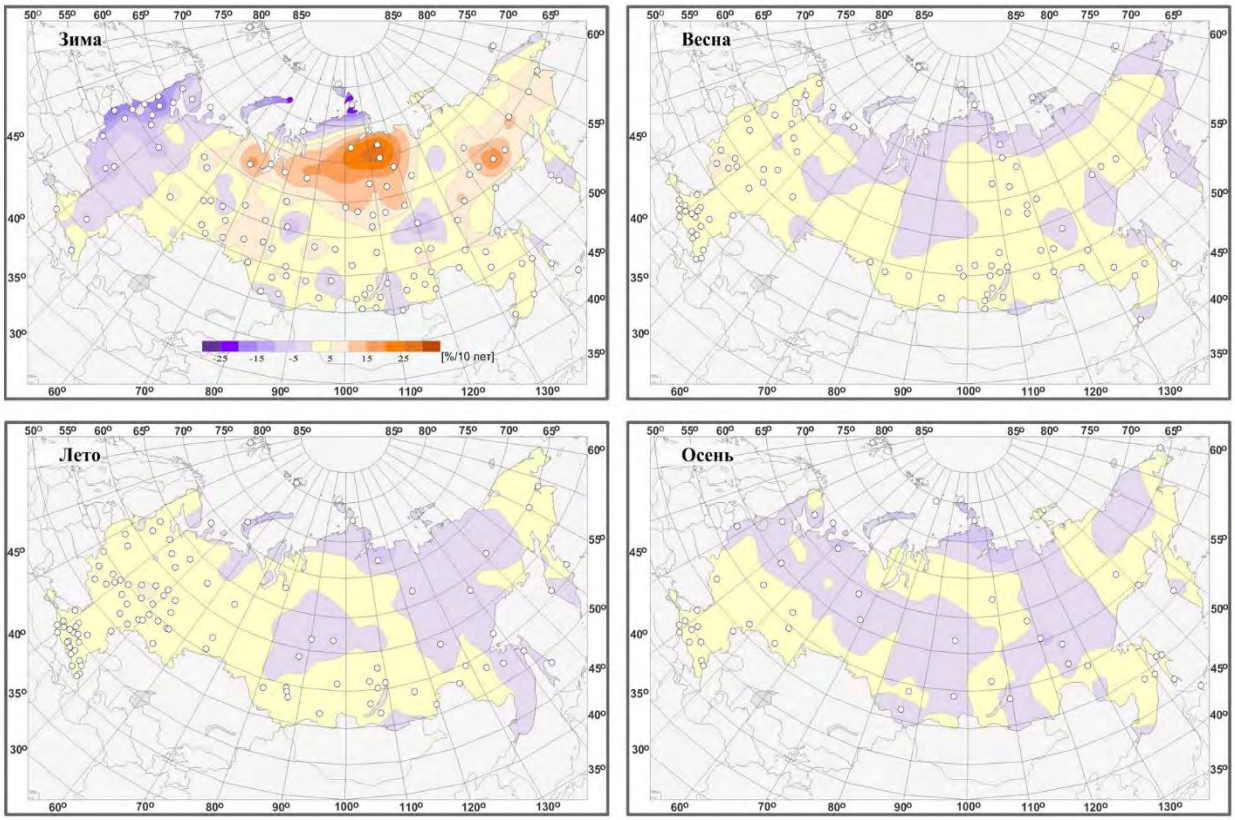


Рисунок 11.6 – Смотри рисунок 11.5, но для коэффициентов линейного тренда относительных аномалий **сезонной** продолжительности солнечного сияния.

Весной статистически значимый положительный тренд ПСС наблюдается как для РФ в целом (*b*=1.1% / 10лет, *D*=17%), так и отдельно для ЕЧР (*b*=1.9% / 10лет, *D*=18%). Наибольший тренд отмечается в ЮФО (3.8% / 10лет) и ЦФО (3.5% / 10лет), но по сравнению с прошлым годом этот тренд несколько уменьшился. В АЧР, при среднем статистически незначимом положительном тренде (0.7% / 10лет), в Восточной Сибири наблюдается статистически значимый положительный тренд (1.4% / 10лет), а на Чукотке – отрицательный (-2.4% / 10лет).

В **летний** сезон средняя для территории РФ скорость роста ПСС составляет, как и весной, 1.1% / 10лет. В ЕЧР, по сравнению с весной, тренд более существенный (2.6% / 10лет), поскольку к значительному положительному тренду в центре и на юге ЕЧР добавляется столь же значительный (3.3% / 10лет) тренд в ПФО.

Таблица 11.3 – Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России; 1976-2021 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**	**30**	**1.6**	**10**	**1.1**	**17**	**1.1**	**29**	0.5	3
ЕЧР	**1.9**	**33**	-0.7	1	**1.9**	**18**	**2.6**	**38**	1.4	5
АЧР	**0.7**	**14**	**2.5**	**24**	0.7	8	0.2	1	0.0	0
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	-0.3	0	-2.1	1	-0.5	1	0.2	0	-1.8	3
Север Вост. Сибири и Якутии	0.6	6	**9.0**	**36**	0.6	3	-0.3	1	-0.4	0
Чукотка и север Камчатки	0.1	0	3.5	4	**-2.4**	**9**	1.7	5	-0.2	0
Центр ЕЧР	**2.0**	**19**	-1.2	1	**1.7**	**9**	**2.9**	**28**	1.7	3
Центр и юг Зап. Сибири	0.6	3	**3.9**	**9**	0.5	1	0.4	1	-0.6	0
Центр и юг Вост. Сибири	**0.9**	**16**	**2.5**	**20**	**1.4**	**20**	0.4	2	-0.2	0
Дальний Восток	0.4	4	**1.7**	**12**	0.5	1	-0.9	3	0.9	5
Алтай и Саяны	0.8	8	1.1	3	1.1	6	0.8	5	0.0	0
Юг ЕЧР	**2.7**	**45**	0.6	0	**3.4**	**25**	**3.1**	**48**	**2.1**	**10**
Федеральные округа РФ										
Центральный	**2.6**	**22**	-5.4	8	**3.5**	**19**	**3.4**	**30**	2.2	3
Южный	**3.1**	**46**	0.9	1	**3.8**	**22**	**3.2**	**43**	**2.7**	**14**
Северо-Западный	0.4	1	-5.0	8	0.8	2	1.1	3	-2.0	4
Дальневосточный	**0.5**	**12**	**2.2**	**21**	0.6	6	-0.2	1	0.3	1
Сибирский	**0.8**	**10**	**2.8**	**11**	1.0	6	0.4	2	-0.2	0
Уральский	0.9	4	3.7	7	0.1	0	1.3	4	-0.1	0
Приволжский	**2.3**	**18**	0.8	0	1.2	3	**3.3**	**27**	2.5	5
Северо-Кавказский	**2.4**	**38**	0.3	0	**3.0**	**22**	**3.2**	**43**	1.7	6

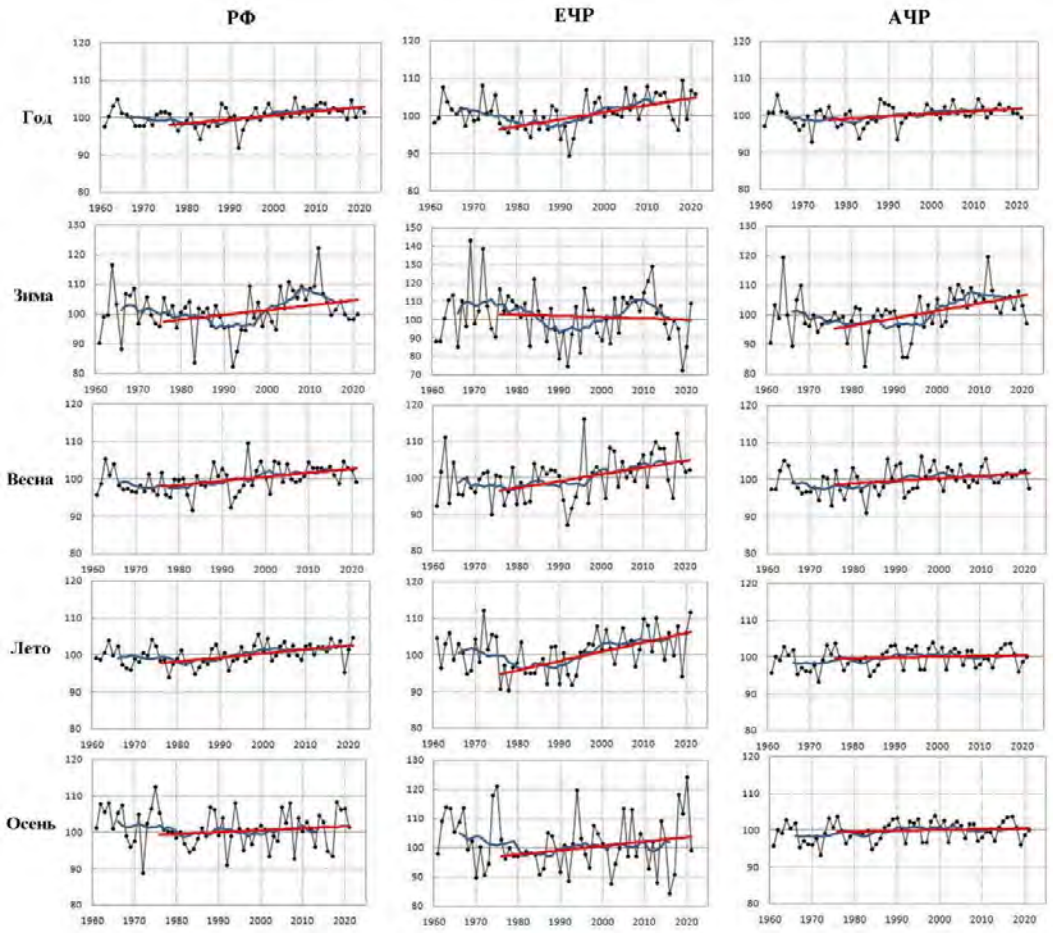


Рисунок 11.7 – Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей.

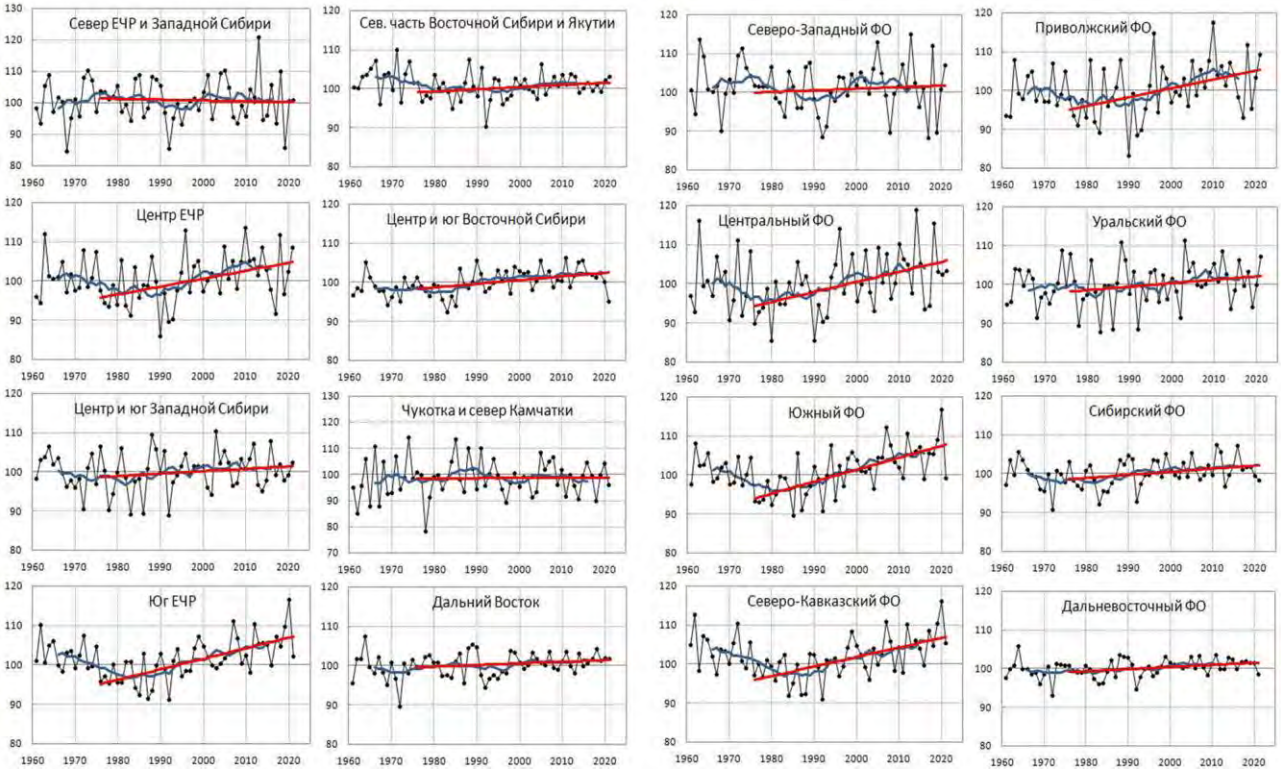


Рисунок 11.8 – Относительные аномалии (%) суммарной за год продолжительности солнечного сияния, осредненной по квази-однородным физико-географическим регионам и федеральным округам РФ.

В АЧР летом заметно увеличивается территория с отрицательным трендом, средняя скорость роста ПСС составляет всего 0.2% / 10лет, являясь статистически не значимой. Для регионов «Север Восточной Сибири и Якутии» и «Дальний Восток» средний тренд имеет отрицательный знак.

В **осенний** сезон территория страны, занятая отрицательным трендом, еще больше увеличивается, средний тренд составляет всего 0.5% / 10лет и является статистически не значимым. Для ЕЧР в среднем наблюдается слабый положительный тренд (1.4% / 10лет), а в АЧР тренд отсутствует. При этом для целого ряда регионов и федеральных округов как ЕЧР, так и АЧР результирующим является слабый отрицательный тренд. Статистически значимый положительный тренд сохраняется осенью только на юге ЕЧР, составляя в регионе «Юг ЕЧР» 2.1% / 10лет, в ЮФО 2.7%/10лет.

Временные ряды аномалий годовых сумм ПСС для физико-географических регионов и федеральных округов РФ представлены на рисунке 11.8. Во всех регионах и федеральных округах РФ тренд в период 1976-2021 гг. положительный, причем во многих из них является статистически значимым (см. таблицу 11.3). Исключение составляет регион «Север ЕЧР и Западной Сибири», где отмечается слабый, статистически не значимый отрицательный тренд (-0.3% / 10лет).

Для уточнения влияния 2021 года на тенденции многолетних изменений ПСС дополнительно проведено сопоставление оценок трендов для двух последних 30-летних периодов (таблица 11.4).

Согласно полученным оценкам, в среднем для территории РФ зимний и весенний рост ПСС несколько замедлился, причем весенний тренд стал статистически незначимым (на 5%-м уровне), а летний и осенний – увеличились. В ЕЧР произошло ослабление тренда для двух сезонов: весеннего и осеннего, и значительное усиление в летний сезон, при этом тренд стал статистически значимым. В АЧР при сравнении 30-летних периодов наблюдается ослабление положительного тренда зимой и усиление в весенний и осенний сезоны.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что оценки сезонных региональных трендов претерпели некоторые изменения, однако характеристики тренда годовых сумм ПСС для территории РФ в целом практически не изменились. Средний рост ПСС в последнее 30-летие составляет 1.4% / 10лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 23%.

Таблица 11.4 – Оценки линейного тренда аномалий годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ЕЧР и АЧР, ***b*** *– коэффициент линейного тренда,* ***D*** *– вклад тренда в общую дисперсию. ряда (%).*

Сезон	1991-2020			1992-2021		
	b(ч/10л)	*b(%/10л)*	*D*	*b(ч/10л)*	*b(%/10л)*	*D*
РФ						
Год	**26.5**	**1.4**	**23**	**26.3**	**1.4**	**23**
Зима	**8.2**	**3.8**	**19**	**7.0**	**3.3**	**14**
Весна	**9.1**	**1.4**	**13**	8.3	1.3	11
Лето	4.9	0.7	5	6.3	0.8	9
Осень	3.9	1.2	5	4.9	1.5	7
ЕЧР						
Год	**42.3**	**2.3**	**20**	**41.3**	**2.2**	**20**
Зима	1.9	1.2	1	2.0	1.3	1
Весна	**18.9**	**3.3**	**19**	**16.1**	**2.8**	**14**
Лето	15.5	1.9	12	**19.3**	**2.4**	**17**
Осень	5.3	1.8	2	4.6	1.5	2
Год	**42.3**	**2.3**	**20**	**41.3**	**2.2**	**20**
АЧР						
Зима	**17.6**	**0.9**	**15**	**17.7**	**0.9**	**16**
Весна	**12.0**	**4.9**	**36**	**10.1**	**4.1**	**26**
Лето	3.6	0.5	3	3.8	0.6	3
Осень	-1.0	-0.1	0	-0.9	-0.1	0

12. 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 2021 г российских станций, включая антарктические и СП. Около 700 станций глобальной сети расположены в Северном полушарии. На основе собранных месячных порций радиозондовых данных срочных наблюдений рассчитывается массив статистических характеристик различных метеорологических величин в свободной атмосфере, включая статистические характеристики температуры, на стандартных изобарических поверхностях для каждой из станций. На основе взвешенного вертикального обобщения рассчитываются также значения температуры в основных слоях атмосферы: 850-300 гПа (тропосфера), 100-50 гПа (нижняя стратосфера), 300-100 гПа

(переходный слой, характеризующийся значительной нестабильностью). Следующим этапом расчетов является расчет месячных аномалий температуры. Аномалии температуры на основных изобарических поверхностях и в каждом из указанных слоев атмосферы для каждого месяца, - вычислялись для каждой станции. В качестве норм использовались соответствующие характеристики температуры для этой станции, осредненные за период 1981-2010 гг. Такой выбор периода вычисления норм объясняется, во-первых, целесообразностью проводить в дальнейшем сопоставления с рядами аномалий температуры в свободной атмосфере, полученными на основе спутниковых наблюдений, начало которым положено с 1979 года. Во-вторых, оценки норм за такой период вычисления наименее, по сравнению с другими вариантами выбора тридцатилетнего периода, подвержены влиянию возможных неоднородностей в рядах, возникающих из-за особенностей функционирования глобальной сети радиозондирования.

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

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

Наконец, наряду с пространственным осреднением постанционных месячных аномалий по пятиградусным и тридцатиградусным широтным поясам Северного полушария и по Северному полушарию в целом, проводилось дополнительно осреднение постанционных месячных аномалий по сезонам для каждого сезона 2021 года (зимний сезон включал декабрь 2020 г и январь-февраль 2021 г), а также для 2021 года в целом.

Особенности температурного режима в свободной атмосфере в 2021 г.

В таблице 12.1 приведены значения аномалий температуры за 2021 г. 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.

Таблица 12.1 - Аномалии температуры за 2021 г. для двух широтных зон Северного полушария (30-60 с. ш. и 60-90 с. ш.) на отдельных изобарических поверхностях. *Цветной заливкой показаны отрицательные (голубой) и положительные (желтый) аномалии.*

МЕСЯЦ	30-60 С. Ш.				60-90 С. Ш.			
	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа	850 гПа	500 гПа	300 гПа	100 гПа
Январь	0.16	-0.11	-0.09	-1.73	-0.51	0.09	0.40	2.15
Февраль	-0.04	1.02	1.19	-0.21	-1.53	-0.11	0.73	2.63
Март	0.80	0.67	0.40	-1.39	-1.31	-1.23	-0.69	-1.97
Апрель	0.07	0.13	0.25	-0.12	0.68	0.13	-0.89	-2.92
Май	0.13	0.21	0.30	-0.00	0.95	0.20	-1.01	-0.98
Июнь	1.37	1.12	0.80	-0.52	1.21	1.05	0.76	-0.33
Июль	1.27	1.23	1.20	-0.39	0.74	1.33	1.22	-0.45
Август	0.97	0.75	0.82	-0.20	1.49	1.92	1.45	-0.86
Сентябрь	0.56	0.71	0.55	-0.37	0.63	0.50	-0.04	-0.87
Октябрь	0.68	0.68	0.65	-0.16	1.38	0.38	-0.36	-0.25
Ноябрь	0.97	0.61	-0.03	0.30	-0.01	-0.68	-0.21	-0.18
Декабрь	1.24	0.74	0.75	-0.21	-1.22	-0.15	0.05	-1.24

В умеренных широтах в тропосфере в 2021 году преобладали положительные аномалии температуры. Небольшие отрицательные аномалии, не превышающие -0.11°С по абсолютному значению, наблюдались только в январе на высотах 500 и 300 гПа, а также в феврале на высоте 100 гПа. Наибольшие аномалии температуры наблюдались в

июне и июле, а также в феврале в верхних слоях тропосферы. Аномалии в эти месяцы превышали 0.80ºС и достигали 1.37ºС. Также в декабре на высоте 850 гПа аномалия температуры достигла 1.24ºС. Наименьшие положительные аномалии в умеренных широтах Северного полушария, также как и в 2020 году, наблюдались в апреле. Во всем слое тропосферы они не превышали 0.25ºС, а на высоте 850 гПа составляли всего 0.07ºС. В феврале, апреле, мае аномалии температуры в тропосфере росли с увеличением высоты. В июле и октябре аномалии практически не менялись на всем протяжении тропосферы. В нижней стратосфере положительная аномалия наблюдалась только в ноябре и составила 0.30ºС. В мае наблюдалась нулевая аномалия температуры. Наибольшие аномалии в нижней стратосфере умеренных широт наблюдались в январе и марте и составили -1.73 и -1.39ºС соответственно. Наибольшее изменение аномалий температуры с высотой наблюдалось в марте: разность аномалий на поверхностях 850 и 100 гПа составила 2.19ºС.

В высоких широтах в тропосфере Северного полушария в 2021 году наблюдалось много отрицательных аномалий температуры. В январе аномалия температуры на высоте 850 гПа составила -0.51ºС, в феврале – -1.53 и -0.11ºС на высотах 850 и 500 гПа соответственно. В апреле, мае, сентябре и октябре наблюдались отрицательные аномалии температуры на высоте 300 гПа. В апреле они достигли -1.01ºС. В марте и ноябре отрицательные аномалии наблюдались во всем протяжении тропосферы, и в марте они достигали -1.31ºС. В декабре отрицательные аномалии наблюдались на высотах 850 и 500 гПа и достигали -1.22ºС в нижнем слое тропосферы. Наибольшие положительные аномалии температуры в тропосфере высоких широт наблюдались с июня по август. В августе на высоте 300 гПа они достигли 1.92ºС. Также высокая аномалия наблюдалась в октябре на высоте 850 гПа и составила 1.38ºС. В нижней стратосфере высоких широт в январе и феврале наблюдались большие положительные аномалии температуры. Они превышали 2.15ºС. Март и апрель стали самыми холодными месяцами в нижней стратосфере высоких широт. Аномалии температуры в апреле достигали -2.92ºС.

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

В таблице 12.2 приведены аномалии температуры, обобщенные для каждого из четырех сезонов 2021 г. (зимний сезон включает период декабрь 2019-февраль 2021 гг.) и для года в целом, осредненные по вертикали внутри слоев 850-300 гПа (тропосфера) и 100-50 гПа (нижняя стратосфера) для тридцатиградусных широтных зон Северного полушария и полушария в целом.

Таблица 12.2 – Аномалии температуры в тропосфере и нижней стратосфере от норм 1981-2010 гг., ΔT_{2021} - *величина аномалии в градусах Цельсия,* R (-R) – ранг (обратный ранг) в рядах, упорядоченных по возрастанию значений соответствующих аномалий за период 1958-2021 гг.

Сезон	**0-30 С. Ш.**		**30-60 С. Ш.**		**60-90 С. Ш.**		**Северное полушарие**	
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
	ΔT_{2021}	-R	ΔT_{2021}	-R	ΔT_{2021}	-R	ΔT_{2021}	-R
Зима	0.69	4	0.32	15	-0.08	42	0.41	9
Весна	0.40	8	0.34	13	-0.29	44	0.30	13
Лето	0.36	6	1.09	1	1.35	1	0.88	1
Осень	0.53	7	0.66	4	0.20	28	0.58	4
Год	0.51	5	0.64	5	0.24	20	0.57	5
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100–50 гПа								
	ΔT_{2021}	R	ΔT_{2021}	R	ΔT_{2021}	R	ΔT_{2021}	R
Зима	-1.33	8	-0.99	9	1.32	43	-0.91	10
Весна	-0.77	11	-0.76	9	-2.26	2	-0.89	7
Лето	-0.18	24	-0.55	13	-0.67	4	-0.46	15
Осень	0.23	35	-0.01	25	-0.46	7	0.02	29
Год	-0.54	19	-0.58	10	-0.58	10	-0.57	11

Вертикально-широтная структура для годовых аномалий температуры в 2021 г показана на рисунке 12.1, а для аномалий температуры отдельных сезонов 2021 г – на рисунке 12.2.

На рисунке 12.3 представлены посезонно ранги 10 самых теплых в тропосфере и 10 самых холодных в нижней стратосфере лет, причем отдельно выделено положение 2021 г.

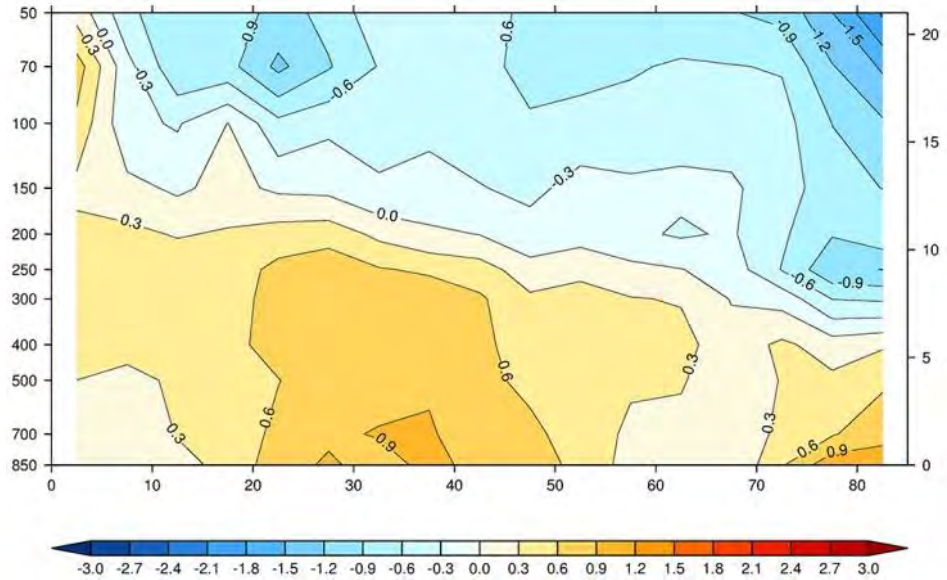


Рисунок 12.1 – Вертикально-широтная структура годовых аномалий температуры свободной атмосферы в 2021 г. Горизонтальная ось – широты, левая вертикальная ось – давление на стандартных изобарических поверхностях, правая вертикальная ось – высоты над уровнем моря, в км.

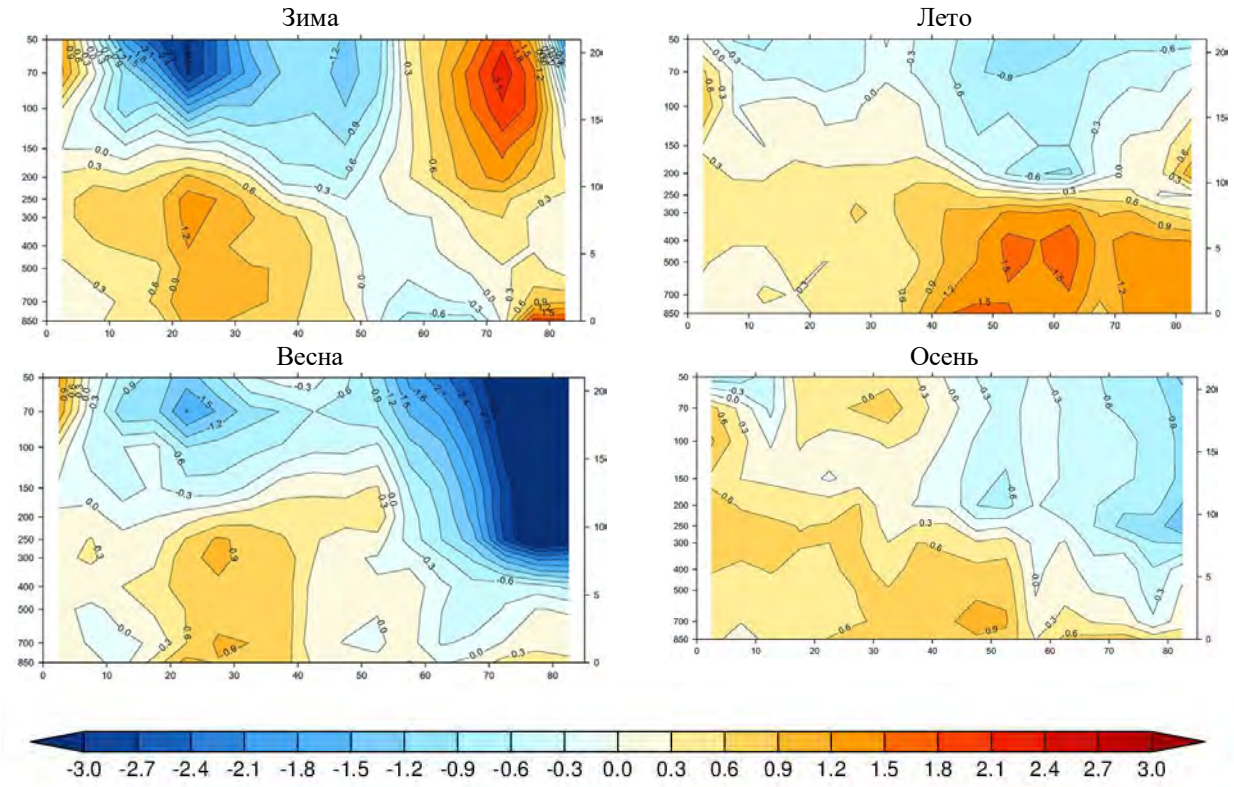


Рисунок 12.2 – То же, что на рис 12.1, но для отдельных сезонов (зима 2020-2021 гг., весна, лето и осень 2021 г.).

В тропосфере низких широт 2021 год вошел в десятку самых теплых лет во всех сезонах. Самым теплым сезоном стала зима с аномалией температуры 0.69ºС и 4 местом в ряду самых теплых лет. Лето 2021 года стало рекордно теплым в умеренных и высоких широтах, а также в целом по Северному полушарию. В высоких широтах аномалия температуры достигла 1.35ºС, а в целом по Северному полушарию – 0.88ºС, что на 0.07ºС больше предыдущего рекорда 2010 года. Осень 2021 года стала 4 самой теплой осенью с начала инструментальных наблюдений в умеренных широтах и в целом по Северному полушарию (0.66 и 0.58ºС соответственно). Зимой и весной в высоких широтах

наблюдались отрицательные аномалии температуры, достигавшие весной -0.29ºС. В среднем за год 2021 год стал пятым в ряду самых теплых лет во всех широтных зонах, за исключением высоких широт, а аномалия температуры по всему Северному полушарию составила 0.57ºС.

В нижней стратосфере в 2021 году зимой в высоких широтах, осенью в низких широтах и в целом по Северному полушарию наблюдались положительные аномалии температуры. Зимой они достигали 1.32ºС, осенью – 0.23ºС в низких широтах и 0,02ºС в целом по Северному полушарию. В низких широтах в десятку самых холодных лет вошла зима 2021 года. В умеренных широтах – зима и весна. В высоких широтах в десятку самых холодных лет вошли весна, лето и осень. Причем весна стала второй в ряду самых холодных лет с аномалией температуры -2.26ºС. В целом по Северному полушарию в десятку самых холодных лет вошли зима и весна с аномалиями температуры -0.91 и -0.89 ºС соответственно. В среднем за год аномалии температуры во всех широтных зонах были близки друг к другу и составили около -0.57ºС.

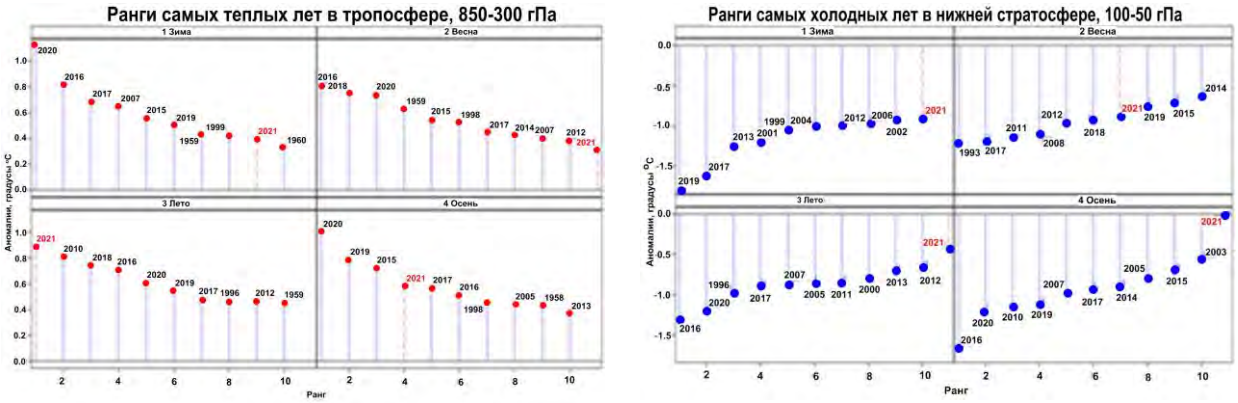


Рисунок 12.3 – Ранги самых значительных сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1958-2021 гг. Левая панель – положительные аномалии, тропосфера (850-300 гПа), правая панель – отрицательные аномалии, нижняя стратосфера (100-50 гПа). Обозначения сезонов по аналогии с рисунком 12.2, 2021 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 12.4, где, наряду с рядами сезонных аномалий, представлены линии трендов.

Таблица 12.3 содержит значения линейных трендов, вычисленных за период 1981-2021 гг. на основе рядов сезонных и годовых аномалий отдельных широтных зон и Северного полушария в целом для тропосферы и нижней стратосферы соответственно.

Как следует из таблицы 12.3, в тропосфере тенденции потепления во всех широтных зонах всех сезонов статистически значимы. По сравнению с 2020 годом тренды температуры в летний и осенний сезоны во всех широтных зонах и в целом по северному полушарию увеличились. Наибольшее увеличение тренда температуры (на 0.03ºС/10 лет) произошло летом в верхних широтах. Зимние и весенние тренды в верхних и, в меньшей степени, в умеренных широтах уменьшились по сравнению с 2020 годом. В среднем по Северному полушарию значения трендов температуры принимали значения от 0.17ºС/10 лет зимой до 0.21ºС/10 лет осенью. Годовой тренд по сравнению с 2020 годом не изменился и составил 0.19ºС/10 лет.

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

в высоких широтах. В низких широтах абсолютные значения трендов уменьшились во всех сезонах, за исключением осени.

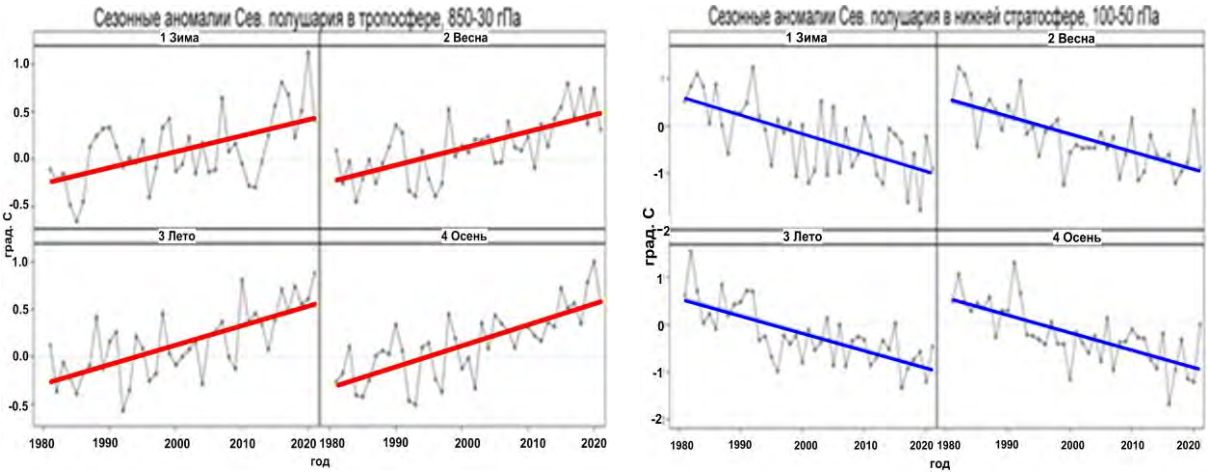


Рисунок 12.4 – Ряды сезонных аномалий температуры в свободной атмосфере Северного полушария за период 1981-2021 гг. Левая панель – тропосфера (850-300 гПа), правая панель – нижняя стратосфера (100-50 гПа). Линии трендов построены методом наименьших квадратов для тропосферы (красный цвет) и нижней стратосферы (синий цвет). Обозначения сезонов по аналогии с рисунком 12.2.

Летом наблюдалось наибольшее уменьшение значений трендов с -0.54ºС/10 лет до -0.50ºС/10 лет. В умеренных широтах уменьшился летний тренд по абсолютному значению, осенний – увеличился. В верхних широтах абсолютные значения трендов всех сезонов за исключением зимнего увеличились. Весенний тренд изменился с -0.34ºС/10 лет до -0.39ºС/10 лет. В среднем по Северному полушарию увеличилось абсолютное значение осеннего тренда, а также уменьшились значения зимнего и летнего трендов. Годовой тренд уменьшился с -0,39ºС/10 лет до -0.37 ºС/10 лет.

Таблица 12.3 – Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2021 гг.)
b – значения сезонного или годового тренда (ºС/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	**0.21**	**41**	**0.15**	**13**	**0.14**	**20**	**0.17**	**47**
Весна	**0.12**	**19**	**0.21**	**41**	**0.14**	**14**	**0.18**	**53**
Лето	**0.10**	**21**	**0.25**	**47**	**0.26**	**39**	**0.20**	**45**
Осень	**0.15**	**26**	**0.24**	**47**	**0.26**	**39**	**0.21**	**57**
Год	**0.15**	**37**	**0.22**	**57**	**0.19**	**43**	**0.19**	**57**
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100–50 гПа								
Зима	**-0.64**	**50**	**-0.32**	**21**	-0.01	0	**-0.39**	**41**
Весна	**-0.49**	**53**	**-0.30**	**29**	**-0.39**	**17**	**-0.37**	**49**
Лето	**-0.50**	**49**	**-0.33**	**43**	**-0.22**	**33**	**-0.37**	**51**
Осень	**-0.59**	**49**	**-0.34**	**50**	**-0.22**	**39**	**-0.40**	**58**
Год	**-0.54**	**64**	**-0.31**	**55**	**-0.22**	**20**	**-0.37**	**65**

Выводы

В тропосфере Северного полушария лето 2021 года было рекордно теплым летом с 1958 года. Среднегодовая аномалия температуры составила 0.88ºС, что на 0.07ºС больше предыдущего рекорда 2010 года. Осень 2021 года стала четвертой в ряду самых теплых лет с аномалией температуры 0.58ºС. В низких широтах все сезоны попали в десятку самых теплых лет. А в высоких широтах наблюдались холодные зима и весна с отрицательными аномалиями температуры и относительно холодная осень. В целом 2021 год стал пятым в ряду самых теплых лет. Таким образом, 2015-2021 гг. являются семью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере северного полушария.

В нижней стратосфере температурных рекордов в 2021 году не наблюдалось, но в высоких широтах весна, лето и осень вошли в десятку самых холодных лет, причем весна была второй в соответствующем ряду с температурной аномалией -2.26ºС. Зимой в

высоких широтах наблюдалась большая положительная аномалия 1.32ºС. Осенью положительная аномалия температуры 0.23ºС наблюдалась в низких широтах, а в средних широтах и в целом по Северному полушарию осенние аномалии температуры были близки к 0. В среднем за год аномалии температуры во всех широтных зонах были близки друг к другу и составили около -0.57ºС, а 2021 год не попал в десятку самых холодных лет.

Структура климатических трендов температуры, исследованных за период с 1981 года по 2021 год, подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере. Добавление оценок аномалий за 2021 год к соответствующим рядам, ранее исследованным за период до 2020 года включительно, привело к увеличению абсолютных значений летнего и осеннего трендов в тропосфере, а также осеннего тренда в нижней стратосфере. Абсолютные значения зимнего и летнего трендов в нижней стратосфере уменьшились по сравнению с предыдущим годом. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере не изменился и составил 0.19ºС/10 лет. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере уменьшилось по сравнению с предыдущим годом на 0.02ºС/10 и составило -0.37ºС/10 лет.

13. РЕЖИМ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА

Мониторинг скорости приземного ветра проведен на основе данных из архива Госфонда и данных оперативного потока, поступающих по каналам связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с метеорологических станций (≈ 1480 пунктов наблюдений). Нормативные характеристики, используемые для оценки аномальности и экстремальности режима ветра в 2021 году, рассчитаны за 30-летний период с 1981 по 2010 год. Анализ многолетних изменений режима приземного ветра проводился по осредненным для 9 квази-однородных климатических регионов характеристикам ветра. Регионы обозначены на рисунке 3 Введения.

Пространственное распределение максимальной скорости ветра, полученной из средних за 10-минутный интервал времени, представлено на рисунке 13.1а.

Максимальная из средних скоростей ветра 15 м/с и выше наблюдалась в 2021 году преимущественно в северных и южных районах страны. В обширных зонах, которые протянулись от западных границ до Прикамья на ЕЧР и от Прибайкалья до бассейна Колымы на АЧР, максимальная из средних скорость ветра не превысила 15 м/с. На арктических островах, восточном побережье Чукотки и Камчатки наблюдались максимальные скорости ветра более 20 м/с. Отклонения среднегодовой скорости ветра от среднемноголетних значений в 2021 году на территории РФ преимущественно отрицательны (рисунок 13.1б). Максимальные по абсолютной величине отрицательные значения, также, как и в прошлом году, отмечаются на метеорологических станциях Невельск и в Кургане (-2.2 и -2.13 м/с соответственно). Положительные аномалии отмечались в Республиках Алтай и Тыва, Забайкалье, прибрежных районах Хабаровского края и Магаданской области, на Чукотке и севере Камчатки. Наибольшие положительные аномалии получены на Камчатке (Усть-Воямполка – 1.49 м/с) и в Республике Тыва (метеорологическая станция Мугур-Аксы – 1.47 м/с).

Наибольшее число дней со средней скоростью ветра ≥ 15м/с (рисунок 13.1 в), как и в предыдущие годы, отмечалось на метеорологической станции мыс Лопатка. В 2021 году это число равно 164, что на 8 дней больше, чем в 2020. На о. Сахалин (метеорологическая станция Мыс Крильон) было 100 дней с сильным ветром (≥ 15м/с), что на 12 дней больше, чем 2020 году. Наиболее высокая повторяемость дней с сильным ветром среди пунктов, удаленных от морских побережий, наблюдалась на Алтае (метеорологическая станция Кара-Тюрек) – 64 дня, что на 10 дней больше значения предыдущего года.

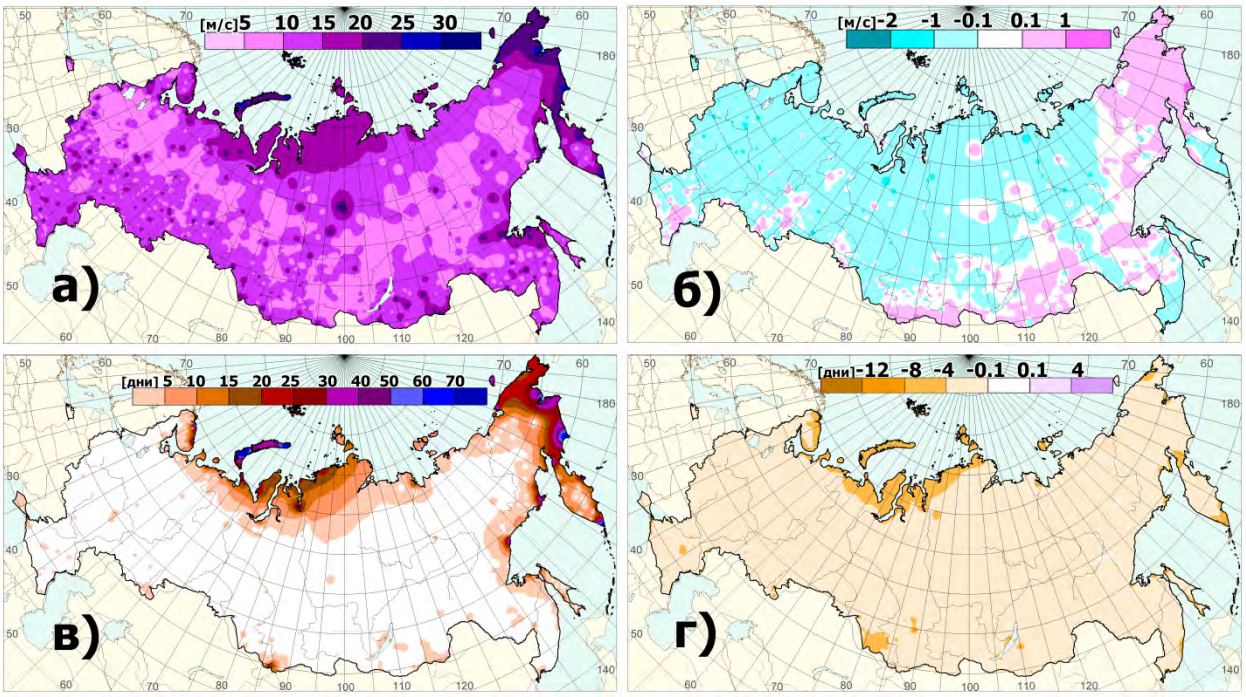


Рисунок 13.1 – а) Максимальная скорость ветра за 2021 г. (без учета порывов); б) Аномалии среднегодовой скорости ветра в 2021 г.; в) Число дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с в 2021 г.; г) Аномалии (отклонение от средних многолетних значений) числа дней со скоростью ветра ≥ 15м/с в 2021 г.

Аномалии числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с (рисунок 13.1 г) на территории России преимущественно отрицательные. Наибольшая по абсолютной величине отрицательная аномалия числа дней с сильным ветром в 2021 году отмечалась на метеорологической станции Дальне-Зеленецкая Мурманской области и составила -12 дней. Также значительные отклонения (более -10 дней) наблюдались на о. Шикотан (метеорологическая станция Малокурильское), Кольском п-ове (метеорологическая станция Цып-Наволок), Камчатском п-ове (станция Петропавловский Маяк), в Республике Хакасия (станция Ненастная) и Владивостоке. Положительные аномалии числа дней со скоростью ветра больше (или равно) 15 м/с, наблюдались исключительно в Хабаровском крае и в Магаданской области и не превышали значения в 0.31 дня.

Распределение аномалий скорости ветра по сезонам показаны на рисунке 13.2.

Зимой отрицательные аномалии среднесезонной скорости ветра отмечались на большей части ЕЧР и Западной Сибири. Зимой и весной положительные аномалии преобладали на юге и северо-востоке АЧР. Значительные отрицательные аномалии отмечались на метеорологической станции Невельск зимой (-2.42 м/с) и осенью (-2,79 м/с), на метеорологической станции Гамов (Приморский край) весной (-2.96 м/с) и на метеорологической станции Орёл летом (-1.89). Наибольшее положительное отклонение от среднемноголетних значений отмечались зимой на метеорологической станции Апука (Камчатский край) и составило 2.64 м/с. Весной, летом и осенью наибольшие аномалии отмечались в Дагестане на метеорологической станции о. Тюлений (1.99 м/с), Южно-Сухокумск (1.66 м/с) и метеорологической станции Воейково (Ленинградская область) со значением 2.31 м/с.

Количество дней с экстремальным ветром (скорость ветра выше значения, соответствующего 95-ому процентилю) в 2021 году на территории РФ отмечено цифрами на рисунке 13.2. Наибольшее количество таких дней наблюдались на метеорологической станции Валькаркай (Чукотский АО) – 7 дней зимой. В общем, для всей территории России количество случаев с экстремальным ветром (превышающим 95-й процентиль) выше для зимне-весеннего периода (224), чем для летне-осеннего периода (166 случаев).

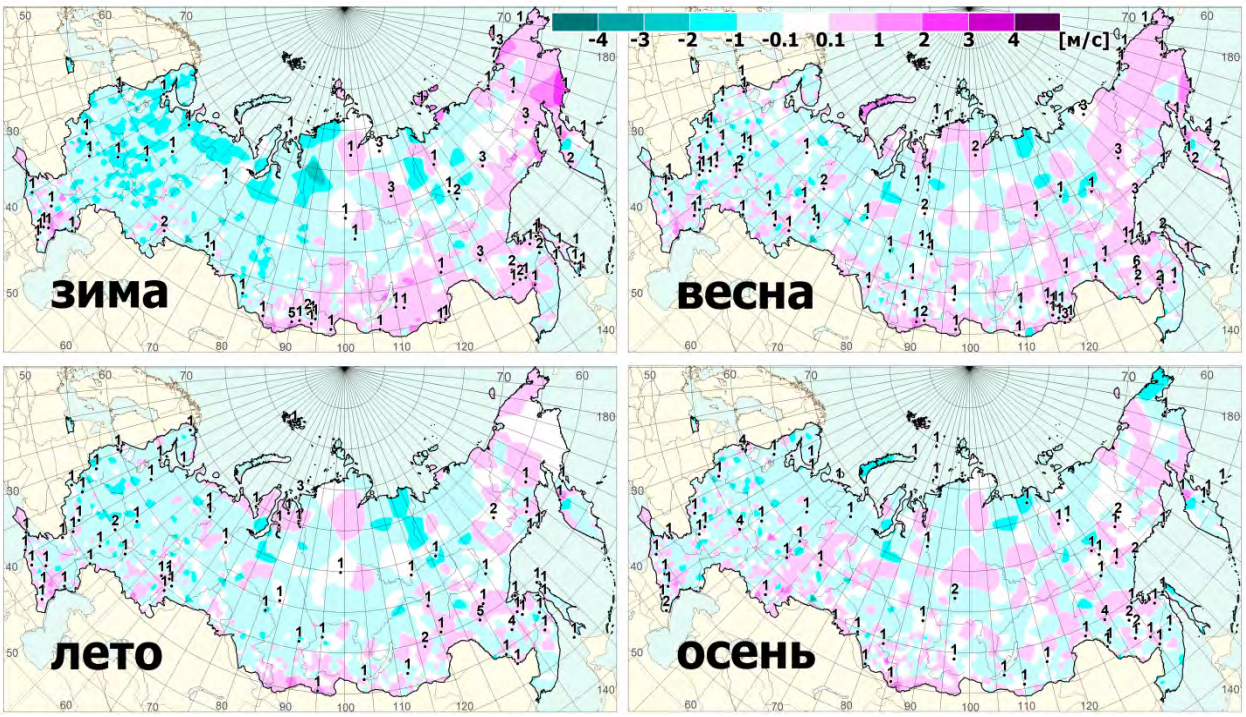


Рисунок 13.2 – Аномалии средней скорости ветра.Точками и цифрами обозначены станции, на которых скорость ветра превышала 95-й процентиль и число дней с такой экстремальной скоростью ветра.

Многолетние изменения характеристик ветра

Пространственное распределение локальных оценок трендов, характеризующих знак и среднюю скорость изменений средней по сезонам скорости ветра и числа дней с большими скоростями на интервале 1976-2021 гг., которые рассчитаны, по данным станционных наблюдений, показано на рисунках 13.3 и 13.4. Тренд выражен в м/с за 10 лет и в днях за 10 лет соответственно.

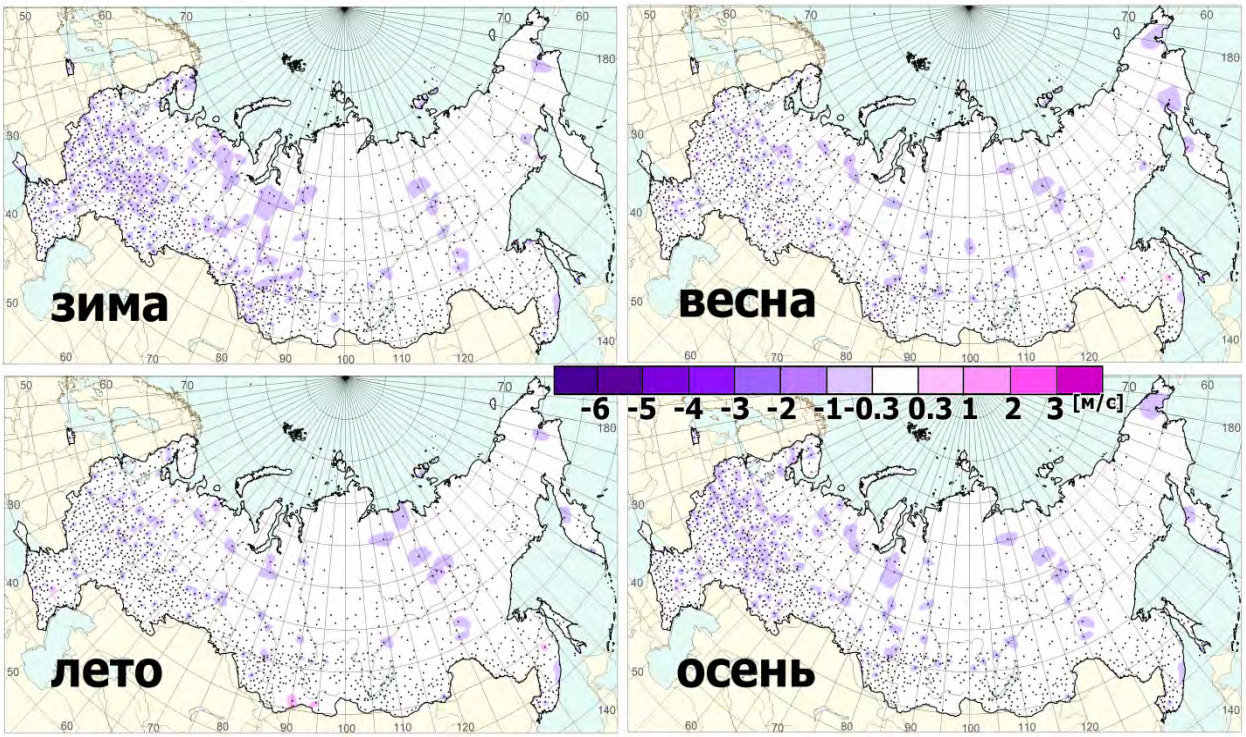


Рисунок 13.3 – Коэффициенты линейного тренда ((м/с)/10 лет) в рядах средней скорости ветра (статистически значимые на 5%-ом уровне значимости). 1976-2021 гг.

Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Дагестан (о. Тюлений) во все сезоны года, кроме лета, и не превышает 0.6 м/с за 10 лет. Летом наибольший коэффициент линейного тренда отмечается на метеорологической станции Мраково (Республика Башкортостан). Наибольшая тенденция уменьшения скорости ветра отмечается в Невельске (Сахалинская обл.). Это единственный пункт, где скорость ветра во все сезоны уменьшалась больше, чем на 1 м/с за 10 лет. На метеорологической станции Серафимович Волгоградской области коэффициент линейного тренда близок к -1 м/с за 10 лет, но только зимой.

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней со скоростью ветра ≥ 15 м/с также статистически незначим на большей территории РФ (рисунок 13.4). Только в 11 пунктах наблюдений для всех сезонов отмечается положительный коэффициент линейного тренда. Наибольшие значения получены за осенне-зимний период для метеорологической станции Улья (Хабаровский край), весной – для станции Певек (Чукотский АО). Максимальный по абсолютной величине отрицательный коэффициент линейного тренда (-5,7 дней/10 лет) получен зимой на метеорологической станции Ненастная (Республика Хакасия), весной, летом и осенью – на станции Невельск. В целом, осенью, зимой и весной отрицательные тенденции более выражены, чем летом. В эти же сезоны заметное уменьшение числа дней с сильным ветром отмечено на метеорологической станции Усть–Чарышская пристань (Алтайский край).

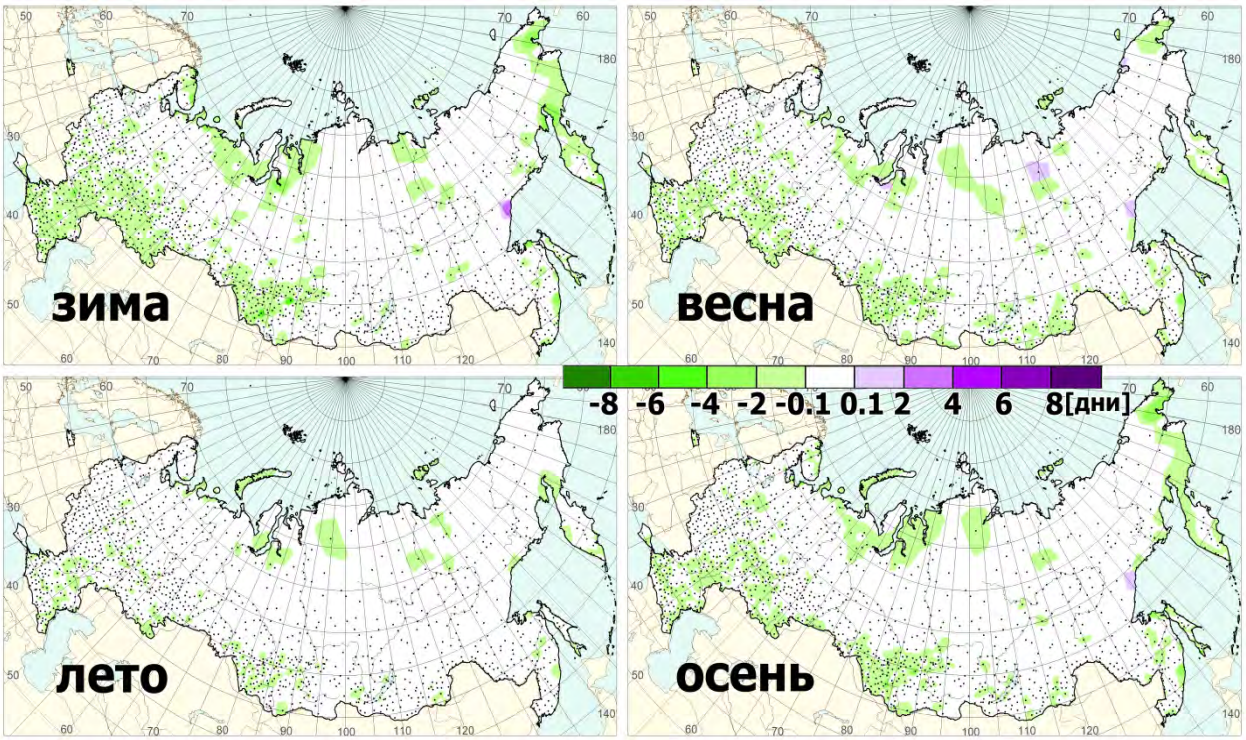


Рисунок 13.4 – Коэффициенты линейного тренда (день/10 лет) в рядах числа дней со скоростью больше 15 м/с (статистически значимые на 5%-м уровне значимости). 1976-2021 гг.

При оценке региональных изменений получено, что во все сезоны года средняя по территории России скорость ветра уменьшается (таблица 13.1). Среднесезонные скорости ветра уменьшаются и во всех квази-однородных регионах. Число дней с ветром более 15 м/с также уменьшается во все сезоны во всех квази-однородных регионах. По двум представленным характеристикам коэффициенты линейного тренда не изменились или возросли по сравнению с результатами, полученными за 2020 год.

Таблица 13.1 – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-м уровне значимости) регионально осредненных характеристик ветра для регионов России за 1976-2021 гг.: ***bV, (м/с) / 10 лет –*** средней сезонной скорости ветра; ***bNd, дни / 10 лет*** - числа дней со скоростью ветра больше 15 м/с.

Регион	***bV***				***bNd,***			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Россия	-0.14	-0.10	-0.10	-0.14				-0.16
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0.21	-0.16	-0.16	-0.19	-0.53	-0.13	-0.13	-0.58
Север Восточной Сибири и Якутии	-0.07	-0.09	-0.09	-0.06				
Чукотка и север Камчатки	-0.20							
Центр ЕЧР	-0.24	-0.15	-0.15	-0.22	-0.75	-0.15	-0.15	-0.31
Центр и юг Западной Сибири	-0.22	-0.12	-0.12	-0.17	-1.04	-0.32	-0.32	-0.95
Центр и юг Восточной Сибири			-0.05	-0.05				
Дальний Восток	-0.10	-0.09	-0.09	-0.13	-0.39	-0.32	-0.32	-0.73
Алтай и Саяны	-0.08	-0.03	-0.03	-0.06				
Юг ЕЧР	-0.16	-0.08	-0.08	-0.12	-1.58	-0.32	-0.32	-0.52

14. 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 2021 г включал декабрь 2020 г и январь-февраль 2021 г) и для 2021 года в целом. Для анализа конкретного временного интервала: месяца или сезона – использовались только станции, число наблюдений на которых за соответствующий период составляет не менее 50% от максимального числа наблюдений за этот период на соответствующей изобарической поверхности или слое.

На рисунках 14.1 и 14.2 изображены годовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в тропосфере. В целом за 2021 год над большей частью территории России в тропосфере аномалии скорости ветра были в пределах от -1 до 1 м/с. 2 м/с аномалии скорости ветра достигали на юге Сибири, на Камчатке и в Крыму. Положительные аномалии наблюдались преимущественно южнее 60° с. ш., а отрицательные – севернее. Аномалий направления ветра в среднем за год не наблюдалось.

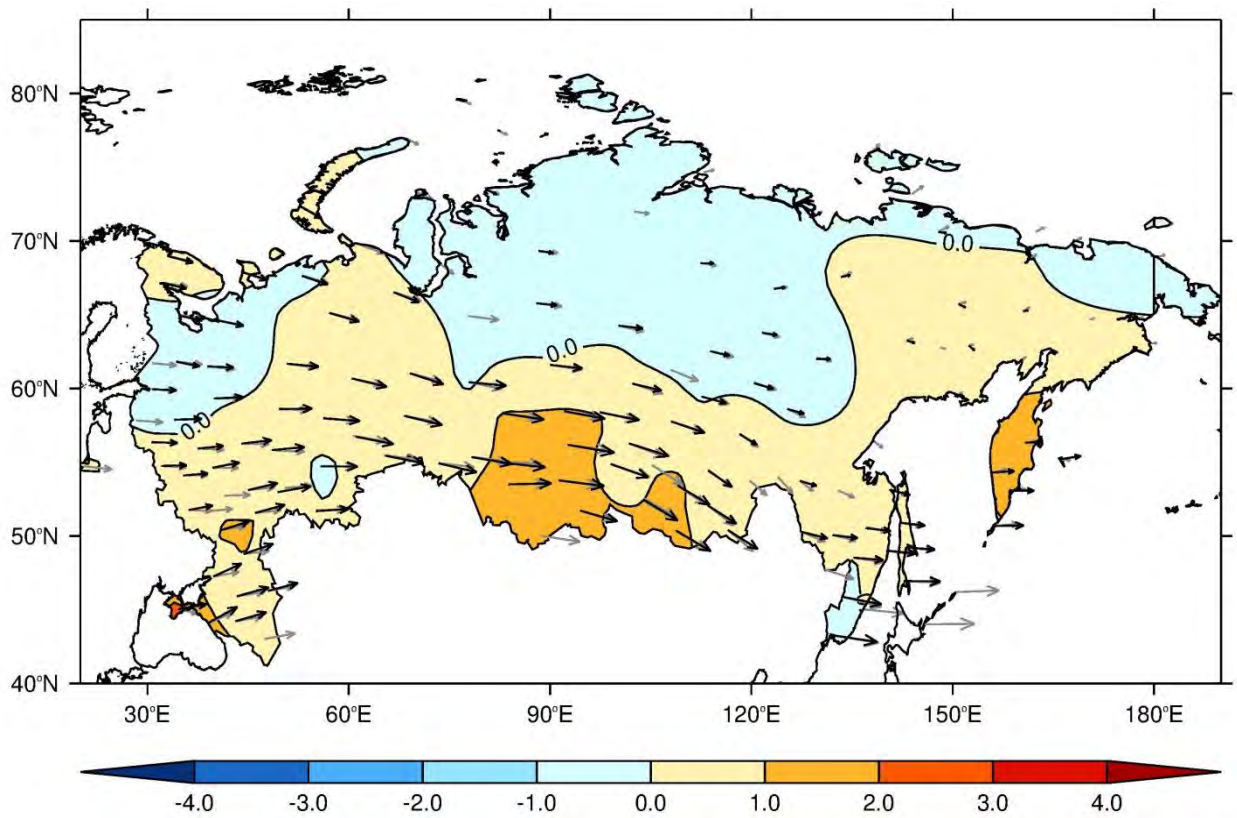


Рисунок 14.1 – Аномалии скорости ветра в 2021 г. в тропосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2021 г., серые – за период 1985-2014 гг.

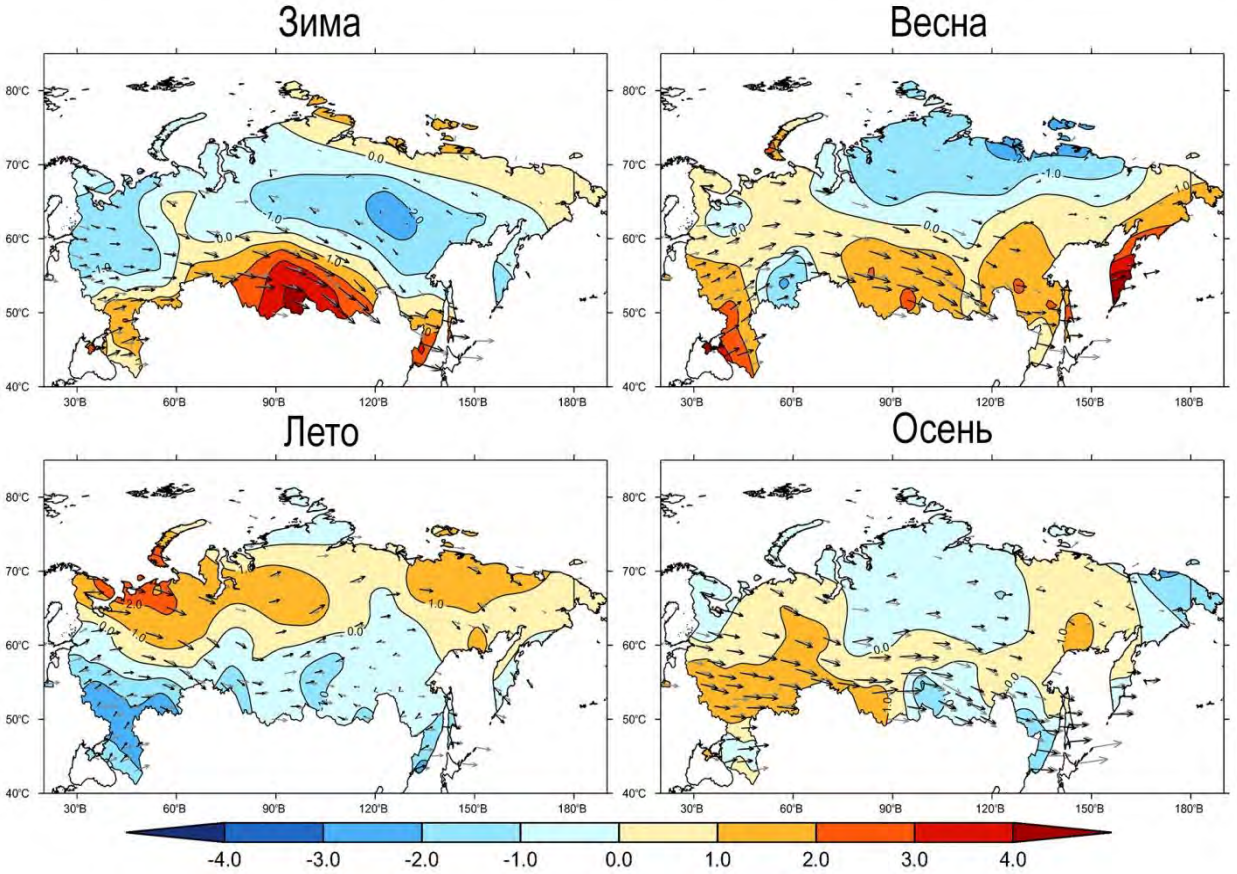


Рисунок 14.2 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2020-2021 гг., весна, лето и осень 2021 года) в тропосфере.

Зимой 2021 года в тропосфере положительные аномалии скорости ветра наблюдались на Юге России, юге Сибири, в Приморском крае, а также на северо-востоке России вдоль Северного Ледовитого океана. Наибольшие положительные аномалии на юге Сибири превышали 4 м/с. Наибольшие отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались на востоке Сибири и достигали -3 м/с. Аналогичная картина наблюдалась и среди месячных аномалий в январе и феврале. В декабре 2020 г на юге России наблюдались отрицательные аномалии, достигавшие -6 м/с, а скорость ветра не имела доминирующего направления. В целом за сезон направление ветра соответствовало климатическому. Только на юге ЕЧР наблюдались положительные аномалии меридионального ветра, а на северо-востоке европейской части – отрицательные аномалии меридионального ветра.

Весной 2021 года в тропосфере на севере Сибири и на юго-востоке европейской части России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, преимущественно не превышавшие -2 м/с. наибольшие положительные аномалии, превышавшие 4 м/с, наблюдались над Крымом и на юге Камчатки. В апреле и мае направление ветра над европейской частью России было юго-западным из-за больших положительных аномалий меридионального ветра. В мае также наблюдались большие отрицательные аномалии меридионального ветра, и направление было северо-западным. В целом за сезон большие положительные аномалии меридионального ветра наблюдались над европейской часть России.

Летом 2021 года отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались южнее 60° с. ш., а также над полуостровом Таймыр. Наибольшие отрицательные аномалии, достигавшие -3 м/с, наблюдались на юге ЕЧР. Направление ветра там было юго-западное за счет положительных аномалий меридионального ветра. Наибольшие положительные аномалии, достигавшие 3 м/с, наблюдались над Баренцевым морем. В июне на северо-востоке ЕЧР наблюдалось северо-западное направление ветра, а на западе и в центре ЕЧР доминирующего направления ветра не было. В июле направление ветра в целом соответствовало климатическому, только на Юге России отсутствовало доминирующее направление. В августе на западе и юге ЕЧР наблюдалось юго-западное направление ветра, а на востоке европейской части – северо-западное.

Осенью 2021 года отрицательные аномалии скорости ветра преобладали над азиатской часть России. Наибольшие достигали -2 м/с на юге Сибири, в Приморском крае и над Чукоткой. В европейской части России отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались над Карелией и Мурманской областью, а также на юге России. Положительные аномалии скорости ветра не превышали 2 м/с. Направление ветра за сезон в целом соответствовало климатическому, только на севере Сибири наблюдались положительные аномалии меридионального ветра. Наибольшие месячные аномалии направления ветра наблюдались в сентябре. На западе ЕЧР направление ветра было северо-западным из-за отрицательных аномалий меридионального ветра, а над северной половиной Сибири из-за положительных аномалий меридионального ветра и больших отрицательных аномалий зонального ветра направление ветра было южным.

На рисунках 14.3 и 14.4 показаны среднегодовые и среднесезонные аномалии скорости и направления ветра в нижней стратосфере. В целом за 2021 год практически над всей территорией России были в пределах от -2 до 2 м/с. Положительные аномалии скорости ветра больше 2 м/с наблюдались на северо-востоке Дальнего Востока. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались в центральной Сибири, а также над Ленинградской областью и Карелией. Значительных аномалий направления ветра в среднем за год не наблюдалось.

Зимой 2021 года в нижней стратосфере практически над всей территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра. Наибольшие аномалии наблюдались в центральной Сибири и достигали -8 м/с.

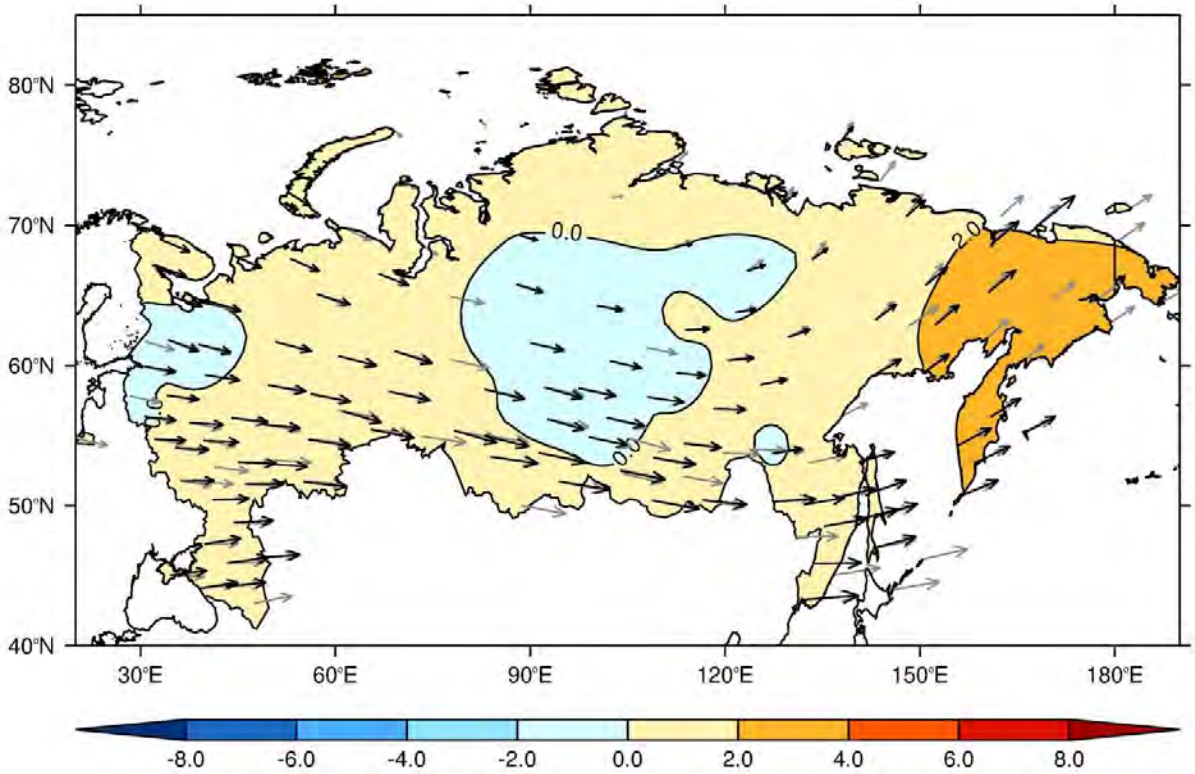


Рисунок 14.3 – Аномалии скорости ветра в 2021 г. в нижней стратосфере. Черные стрелки указывают среднее направление ветра в 2021 г., серые – за период 1985-2014 гг.

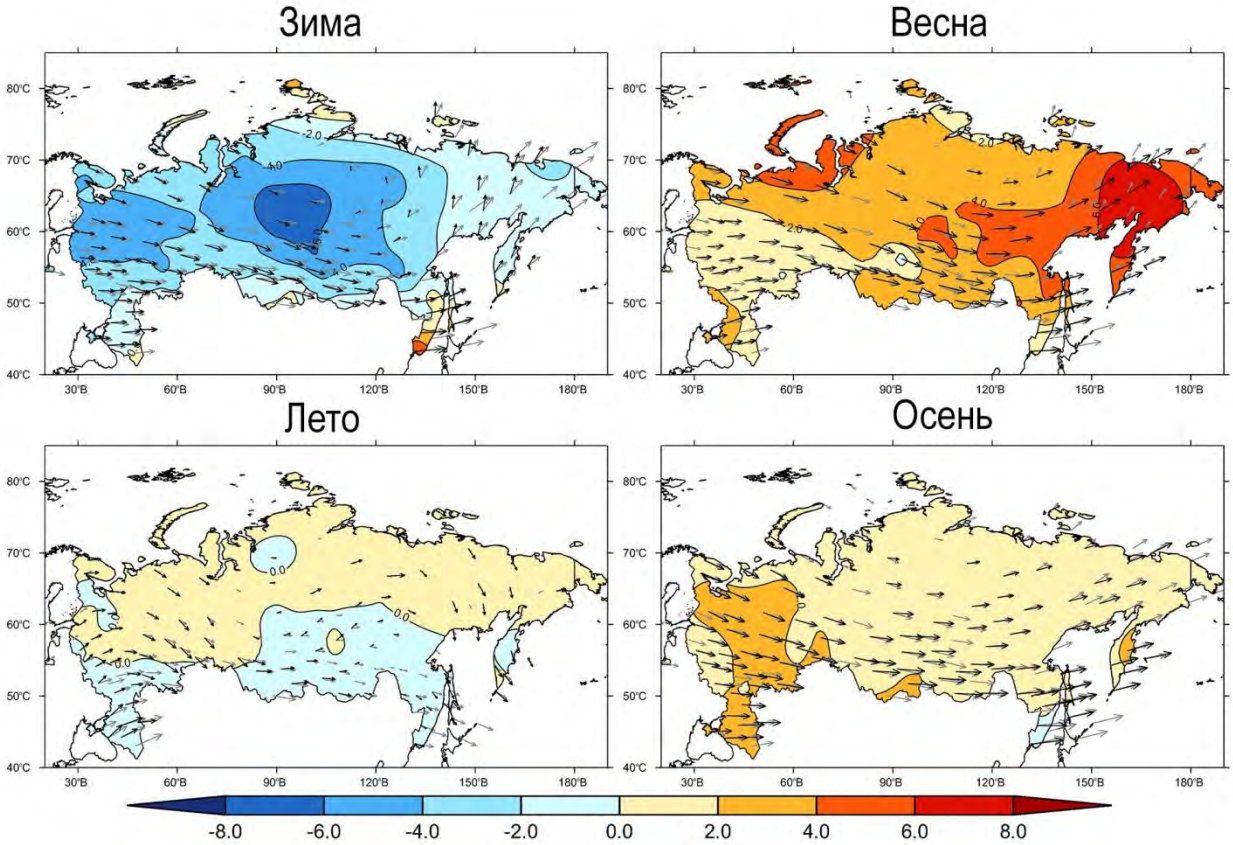


Рисунок 14.4 – Аномалии скорости ветра для отдельных сезонов (зима 2020-2021 гг., весна, лето и осень 2021 г.) в нижней стратосфере.

Положительные аномалии скорости ветра наблюдались только на севере Таймыра, юге Сахалина и в Приморском крае. В Приморском крае они превышали 4 м/с. Аналогичное распределение положительных аномалий скорости ветра наблюдалось в

январе, но области положительных аномалий были больше и проходили также по югу европейской части России и югу Сибири. В декабре 2020 года над территорией России преобладали положительные аномалии скорости ветра, но в среднем значение всех аномалий не превышало 3.5 м/с по абсолютному значению. В феврале над всей территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра. На севере Дальнего Востока зимой 2021 года наблюдалось аномальное южное направление ветра из-за отрицательных аномалий зонального ветра.

Весной 2021 года в нижней стратосфере над всей территорией России, за исключением отдельных станций, наблюдались положительные аномалии скорости ветра. Наибольшие аномалии, превышавшие 6 м/с, наблюдались в районе Чукотского АО и Камчатского края. Они сопровождались большими аномалиями зонального и меридионального ветра, и направление ветра было более западным, чем при 30-летних нормах. Такое направление ветра наблюдалось на протяжение всех весенних месяцев, но к концу мая доминирующее направление ветра исчезло. В апреле и мае над европейской частью России наблюдались положительные аномалии меридионального ветра. Из-за чего на западе европейской части России направление ветра было юго-западным. Но в целом за сезон направление ветра над европейской частью России соответствовало климатическому западному.

Летом 2021 года в нижней стратосфере аномалии скорости ветра не превышали 2 м/с по модулю. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались, в основном, южнее 55° с. ш. над европейской частью и южнее 60° с. ш. над азиатской часть России. На северо-востоке Дальнего Востока наблюдалось существенное северное направление ветра при практически отсутствующем доминирующем направлении ветра за 30-летний базовый период.

Осенью 2021 года в нижней стратосфере над всей территорией России, за исключением Приморского края, наблюдались положительные аномалии скорости ветра. Наибольшие аномалии, превышавшие 2 м/с, наблюдались над европейской частью России, и на отдельных станциях на юге Сибири и Камчатке. Направление ветра в целом соответствовало климатическому.

Таким образом, в 2021 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались на юге Сибири, Камчатке и в Крыму. Зимой и весной аномалии скорости ветра в этих областях превышали 3-4 м/с. Летом в этих областях наблюдались отрицательные аномалии, а область наибольших положительных аномалий скорости ветра наблюдалась над Баренцевым морем. Осенью область наибольших аномалий пришлась на европейскую часть России. Направление ветра в целом за год и в отдельные сезоны соответствовало климатическому, но зимой, весной и летом на западе европейской части России наблюдались положительные аномалии меридионального ветра (зимой только на юге). Также положительные аномалии меридионального ветра наблюдались осенью на севере Сибири.

В нижней стратосфере в среднем за год над Россией преобладали положительные аномалии скорости ветра, превышавшие 2 м/с только на северо-востоке Дальнего Востока. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались в центральной Сибири, а также над Ленинградской областью и Карелией. Положительные аномалии скорости ветра преобладали над всей территорией России весной и осенью. Весной среднее значение аномалий скорости ветра превышало 2 м/с, а северо-востоке Дальнего Востока 6 м/с. Зимой практически над всей территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, превышавшие -6 м/с в Сибири. Направление ветра в целом за год соответствовало климатическому, но в отдельные сезоны наблюдались существенные аномалии направления ветра на север-востоке Дальнего Востока. Зимой направление ветра там было южным при отрицательных аномалиях зонального ветра. Весной – юго-западным при больших положительных аномалиях зонального и меридионального ветра.

Летом направление ветра там было северным из-за отрицательных аномалий меридионального ветра, в то время как за 30-летний базовый период доминирующего направления ветра в этом регионе нет.

15. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Анализ изменчивости концентрации парниковых газов выполнен на основе результатов измерений в приземном слое атмосферы на пяти станциях. Три станции (Териберка, Тикси, Новый порт) расположены в Арктической зоне РФ. Программу измерений на этих станциях курирует ФГБУ «ГГО», выполняя измерения в соответствии с требованиями ВМО, что подтверждено результатами официальных сравнений ВМО по парниковым газам (http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/wmorr/). Две станции расположены в центральном районе ЕЧР: Обнинск (ФГБУ «НПО «Тайфун») и Приокско-Террасный биосферный заповедник – ПТБЗ (ФГБУ «ИГКЭ»). На станции Обнинск, кроме измерений ПГ в приземном слое атмосферы, выполняются измерения общего содержания во всей толще атмосферы, представлены также данные измерений закиси азота. Характеристики станций приведены в таблице 15.1.

Таблица 15.1 – Станции мониторинга концентрации парниковых газов в приземном слое и общего содержания во всей толще атмосферы.

Станция	Широта	Долгота	Высота над у. м.	Период наблюдений	Программа наблюдений
Териберка	69.20º 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
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

Станция Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря) и станция Тикси (арктическое побережье, море Лаптевых, залив Сого) расположены в условиях, близких к фоновым, входят в систему станций Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, результаты их измерений поступают в Мировой центр данных по парниковым газам (WDCGG). Станции Новый Порт, Обнинск и ПТБЗ подвержены влиянию региональных источников, которое было рассмотрено в Докладе об особенностях климата на территории РФ за 2020 г.

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

Содержание и изменчивость CO_2 и CH_4 в северных широтах РФ

Результаты мониторинга парниковых газов на российских арктических станциях представлены на рисунке 15.1 (среднемесячные значений концентрации CO_2 и CH_4 в сравнении с данными станции Барроу) и в таблице 15.2 - среднегодовые значения и межгодовой рост для станций Териберка и Тикси.

Увеличение концентрации как CO_2, так и CH_4 продолжается. Уровень концентрации CO_2 в атмосфере северных широт достиг в 2021 г. очередного максимума. Среднегодовое значение на фоновых станциях РФ приблизилось к 419 млн$^{-1}$, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили значение 425 млн$^{-1}$. Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу.

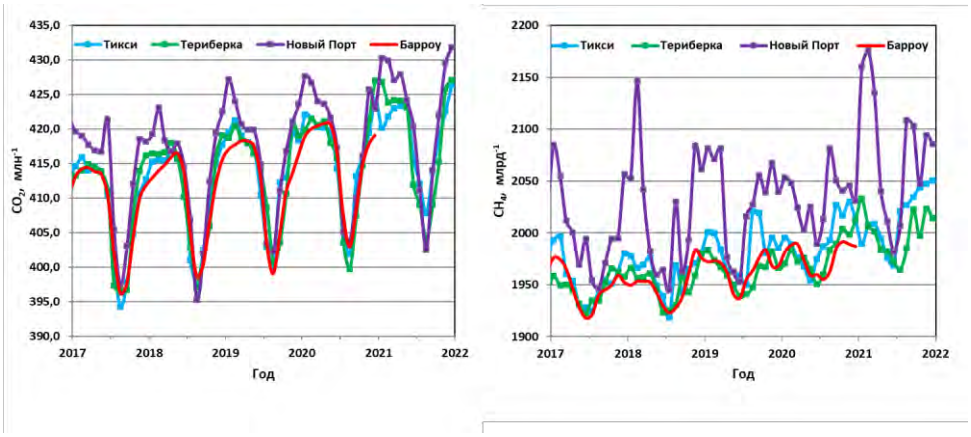


Рисунок 15.1 – Временной ход концентрации CO_2 и CH_4 на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу (НУОА, США).

Таблица 15.2 – Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации CH_4 и CO_2.

Год	Териберка				Тикси			
	CH_4, млрд$^{-1}$	ΔCH_4, млрд$^{-1}$	CO_2, млн$^{-1}$	ΔCO_2, млн$^{-1}$	CH_4, млрд$^{-1}$	ΔCH_4, млрд$^{-1}$	CO_2, млн$^{-1}$	ΔCO_2, млн$^{-1}$
2016	1946.7	22.3	405.5	3.5	1946.4	6.3	406.1	2.9
2017	1947.1	0.4	409.0	3.5	1956.7	10.3	408.7	2.6
2018	1950.4	3.3	411.1	2.1	1960.4	3.7	411.3	2.6
2019	1961.8	14.7	414.1	2.7	1983.7	23.3	414.3	3.0
2020	1980.4	18.6	415.6	1.7	1993.6	9.9	416.5	2.2
2021*	1998.8	18.4	418.7	2.8	2014.1	20.5	419.1	2.6

* Данные 2021 г. могут быть уточнены за счет дополнения и отбраковки.

Темпы роста концентрации CO_2, снизившиеся в 2020 г. (таблица 15.2), скорей всего, в результате введения ограничений, связанных с пандемией Covid-19, начинают восстанавливаться в 2021 г. Сокращение выбросов в 2020 г. было зафиксировано как прямыми измерениями потоков CO_2 в семи городах Европы, так и инвентаризационными оценками. Результаты исследований влияния ограничений, связанных с COVID-19, на содержание CO_2 в атмосфере обобщены в Бюллетене ВМО по парниковым газам №16 от 23 ноября 2020 г.

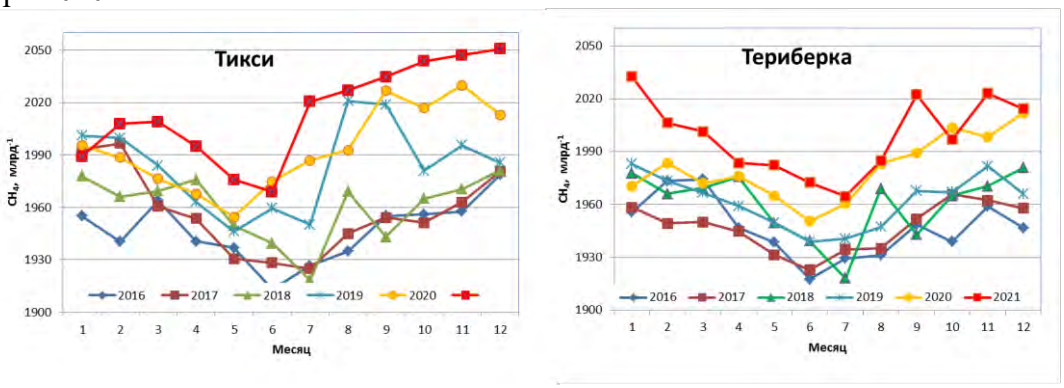


Рисунок 15.2 – Сезонный ход концентрации CH_4 на станции Тикси и Териберка.

2021 г. явился выдающимся по росту концентрации метана в атмосфере (18.4млрд$^{-1}$ и 20.5 млрд$^{-1}$для станций Териберка и Тикси соответственно). Особенности сезонного хода концентрации метана (рисунок 15.2), наиболее ярко проявляющиеся на станции Тикси, отмечались начиная с 2019 г., в котором регистрировались высокие значения концентрации в период максимума природной эмиссии (август-сентябрь), в 2020 г. значения CH_4 оставались высокими до конца года и эта тенденция начала прослеживаться

на станции Териберка. Прирост концентрации метана в 2021 г. для большинства месяцев больше 20 млрд$^{-1}$. Среднегодовая концентрация метана перешагнула значение 2000 млрд$^{-1}$. Поступление метана в атмосферу происходит как от антропогенных, так и природных источников, при этом возрастание природной эмиссии может быть вызвано потеплением климата. Какая из этих причин является ответственной за изменение темпов роста концентрации метана пока не установлено.

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

Динамика содержания парниковых газов над центром Европейской территории России

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

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

Сезонный ход средних месячных концентраций CO_2, CH_4 и N_2O в 2021 г. (с оценкой среднеквадратичных отклонений результатов измерений) приведен на рисунке 15.3, а динамика многолетней изменчивости средних годовых значений - на рисунке 15.4.

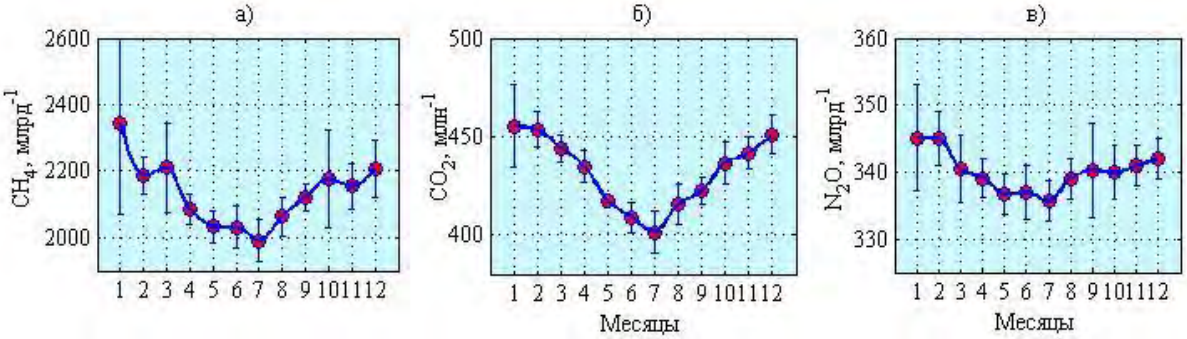


Рисунок 15.3 – Сезонный ход концентрации CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) в приземном слое атмосферы на станции Обнинск в 2021 году.

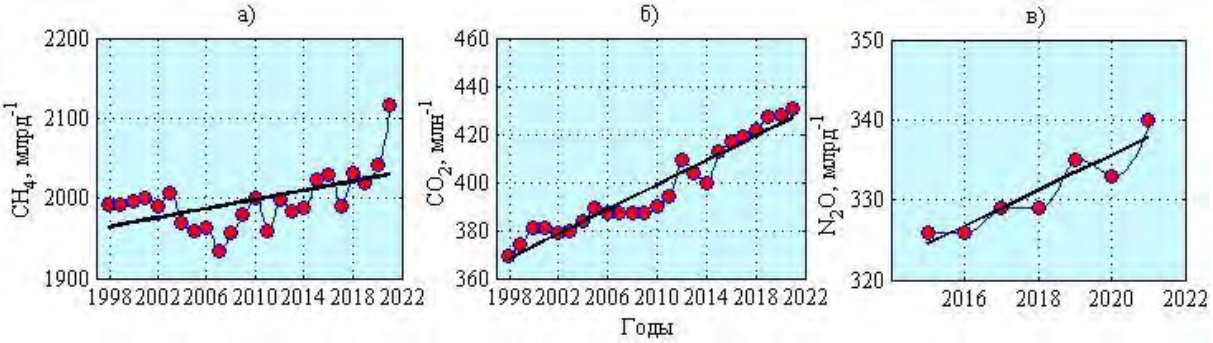


Рисунок 15.4 – Динамика многолетней изменчивости средних годовых значений CH_4 (а), CO_2 (б), N_2O (в) в приземном слое атмосферы на станции Обнинск.

Для расположенной в центре ЕЧР станции Обнинск тенденция роста парниковых газов в приземном слое сохраняется. В 2021 г. в отличие от 2015-2020 гг. отмечались аномально высокие концентрации метана (3000-4000 млрд$^{-1}$) 15-19 января, 24-25 марта и 8 октября. По расчетам обратных траекторий HYSPLIT, воздушные массы в январе и марте пришли с северо-восточного направления из района г. Москвы. Для определения источника повышенных концентраций 8 октября нужны дополнительные исследования.

Одновременно в эти периоды наблюдались повышенные концентрации углекислого газа, окиси углерода и закиси азота. При обработке данных, (средние, тренды) эти измерения отбраковывались.

По сравнению с 2020 г. в 2021 г. среднегодовое значение CO_2 увеличилось на 3 млн$^{-1}$, CH_4 на 76 млрд$^{-1}$, N_2O на 7 млрд$^{-1}$. За время наблюдений с 1998 по 2021 г. величина положительного линейного тренда среднегодовых концентраций CO_2 равна 2.6 ± 0.6 млн$^{-1}$ в год. Для CH_4 тренд равен 2.8 ± 1.1 млрд$^{-1}$ в год для всего периода измерений и 8.3 ± 2.6 млрд$^{-1}$ в год для периода роста с 2007 г. Линейный тренд N_2O за период 2015 по 2021 г. составил 2.2 ± 1.0 млрд$^{-1}$ в год. Для сравнения, за период 2015 - 2020 гг., расчет глобально усредненных трендов по данным ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/) дает значения 8.9 ± 4.0 млрд$^{-1}$, 2.4 ± 1.1 млн$^{-1}$ и 1.0 ± 0.5 млрд$^{-1}$ для CH_4, CO_2 и N_2O соответственно.

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

Вариации среднемесячных значений средней по высоте концентрации CO_2, CH_4 и N_2O в 2015 – 2021 гг. представлены на рисунке 15.5.

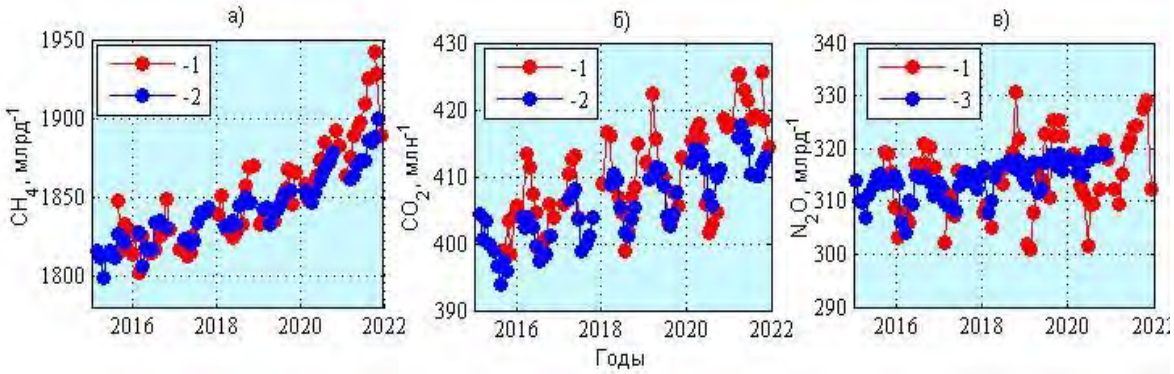


Рисунок 15.5 – Средняя по высоте объемная концентрация CO_2 (а), CH_4 (б), N_2O (в). 1 – ст. Обнинск, 2 – спутниковые данные GOSAT, 3 - данные ст. Карлсруэ, подробнее см. текст.

Данные ст. Обнинск сопоставлены с результатами измерений средней по высоте объемной концентрации CO_2 и CH_4 спутниковым прибором GOSAT (The Greenhouse Gases Observing Satellite, https://data2.gosat.nies.go.jp). Спутниковые данные, имеющие пропуски по времени и в пространстве, были усреднены для области (34° - 38°) в. д. и (53° - 57°) с. ш.). Для сопоставления результатов измерений N_2O использовались последние доступные данные (по 11.2020) станции «Карлсруэ», Германия (49,1° с. ш., 8,44° в. д.), входящей в сеть TCCON (Total Carbon Column Observing Network, https://tccon.org).

По среднегодовым данным за период полных лет измерений с 2016 по 2021 гг. для ст. Обнинск характерен значимый положительный тренд средней по высоте объемной концентрации парниковых газов. Для CH_4, CO_2 и N_2O он составляет 15 ± 7 млрд$^{-1}$ в год, 2.7 ± 1.2 млн$^{-1}$ в год и 1.0 ± 0.6 млрд$^{-1}$ в год соответственно. Линейный тренд общего содержания водяного пара незначим. По данным GOSAT тренды CH_4 и CO_2 составляют 10 ± 1 млрд$^{-1}$ в год и 2.5 ± 0.3 млн$^{-1}$ в год. Тренд N_2O по данным ст. Карлсруэ равен 1.3 ± 0.3 млрд$^{-1}$ в год. Результаты измерений средних по высоте концентраций парниковых газов на ст. Обнинск показывают достаточно хорошее согласие со спутниковыми данными и измерениями на ближайших европейских станциях.

Усредненный за период с 2015 по 2021 гг. сезонный ход изменчивости парниковых газов в приземном слое и во всей толще атмосферы на ст. Обнинск показан на рисунке 15.6.

Для закиси азота и метана приземные концентрации выше средних по высоте для всех сезонов. Концентрация углекислого газа в приземном слое близка по величине к средней концентрации в толще атмосферы в конце весны и в летний период. Максимальные превышения приземных концентраций над концентрациями в толще атмосферы для всех парниковых газов наблюдаются в зимний период и достигают для

CH_4, CO_2 и N_2O 250 млрд$^{-1}$, 29 млн$^{-1}$ и 26 млрд$^{-1}$ соответственно и могут быть обусловлены местными источниками и региональным переносом.

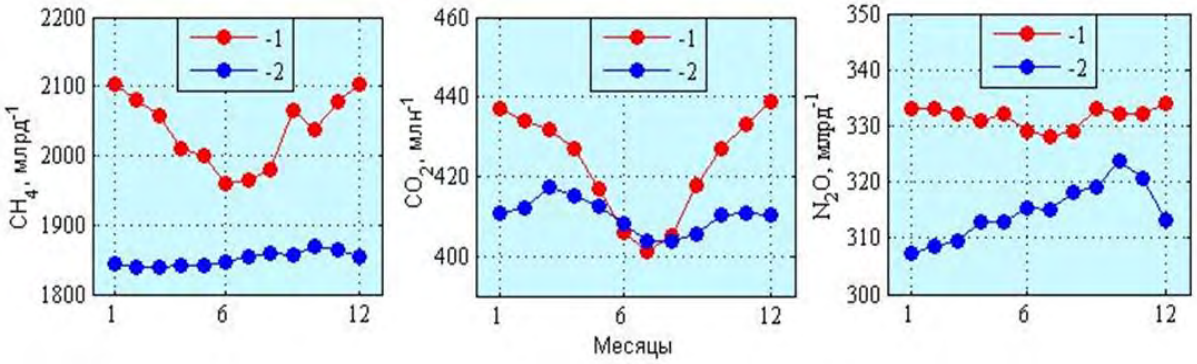


Рисунок 15.6 –Усредненный за 2015-2021 гг. сезонный ход приземных (1) и средних по высоте (2) концентраций CH_4, CO_2 и N_2O.

Изменения среднемесячных значений ***концентрации CO_2 и CH_4 в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Террасном биосферном заповеднике (ПТБЗ)*** представлены на рисунке 15.7.

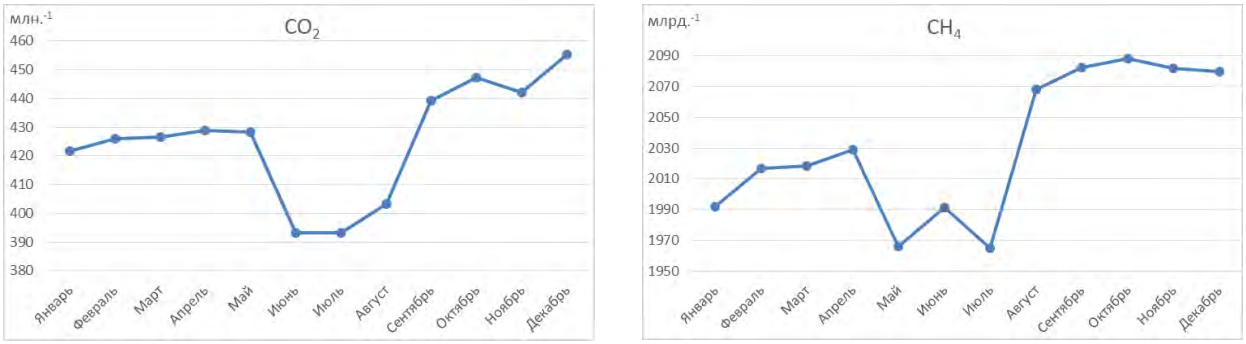


Рисунок 15.7 – Изменение среднемесячных концентраций CO_2 и CH_4 в приземном слое атмосферы на станции ПТБЗ в 2021 году.

В 2021 году на станции ПТБЗ наблюдался рост содержания диоксида углерода в приземном слое атмосферы по сравнению с предыдущим годом, среднегодовая концентрация CO_2 в 2021 году равна 425 млн$^{-1}$. За всё время наблюдения с 2011 года рост среднегодовой концентрации диоксида углерода составил 12 млн$^{-1}$.

Для среднегодовой концентрации метана в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Террасном биосферном заповеднике также характерен рост. Так, по результатам многолетних измерений с 2011 года содержание метана в приземном слое атмосферы увеличилось на 48 млрд$^{-1}$, и составило в 2021 году 2032 млрд.$^{-1}$.

Сезонные изменения содержания диоксида углерода и метана по результатам измерений, выполненных в течение 2021 года, представлены на рисунке 15.7 Минимальные в течение года концентрации CO_2 регистрируются в летний период, наименьшие концентрации метана наблюдаются в мае-июле, что является типичным для сезонной изменчивости CO_2 и CH_4, наблюдаемой в средних широтах Северного полушария.

Заключение:

Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2021 г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ, расположенных в фоновых условиях, приблизилось к значению 419 млн$^{-1}$. Станции, подверженные влиянию региональных источников, также демонстрируют рост концентрации CO_2. В 2021 г. среднегодовые значения концентрации CO_2 составили

422.5 млн$^{-1}$; 425.4 млн$^{-1}$; 431.3 млн$^{-1}$ на станциях Новый Порт, ПТБЗ и Обнинск соответственно.

Темпы роста концентрации CO_2, снизившиеся в 2020 г. возможно в результате введения ограничений, связанных с пандемией Covid-19 до значений 1.8-2.2 млн$^{-1}$/год начинают восстанавливаться, составив в 2021 г. 2.6-2.8 млн$^{-1}$/год на станциях Териберка и Тикси.

2021 г. явился выдающимся по росту концентрации метана в атмосфере (18.4 млрд$^{-1}$/год и 20.5 млрд$^{-1}$/год для станций Териберка и Тикси соответственно). Среднегодовая концентрация метана в фоновых условиях близка к 2000 млрд$^{-1}$, а на станции Тикси перешагнула этот рубеж. Аномально высокие значения метана (3000-4000 млрд$^{-1}$) в приземном слое атмосферы зарегистрированы в 2021 г. на станции Обнинск, среднегодовая концентрация метана увеличилась на 76 млрд$^{-1}$, что является рекордным для этой станции за весь период измерений начиная с 1998 г.

16. ТЕМПЕРАТУРА ПОЧВЫ

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

Данные. Использованы данные о суточной температуре почвы на глубинах до 320 см по 466 метеорологическим станциям России. Для анализа выбраны наблюдения по вытяжным термометрам на глубинах 80 см, 160 см, 320 см. Использованы нормы (среднемноголетние значения) минимальной температуры почвы на глубинах за период 1971-2000 гг.

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

Особенности температурного режима почвы в 2021 г.

Пространственное распределение аномалий минимальной температуры почвы за 2021 г. (от нормы за период 1971-2000 гг.) на глубинах 80, 160, 320 см представлено на рисунке 16.1.

На глубине 80 см (рисунок 16.1а) аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные на западе Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, в восточной части Западной Сибири и в западной части Средней Сибири, а также в Восточной Сибири и составляют менее 1ºС. При этом на юге, в описанных регионах аномалии достигают 1 – 2ºС и повышаются до 3 – 5ºС в северо-восточной части Дальнего Востока. Преимущественно слабые отрицательные аномалии наблюдаются на востоке Восточно-Европейской равнины, в западной части Западной Сибири, а также в восточной части средней Сибири и составляют >-1ºС. На юге Дальнего Востока (Амуро-Сахалинская часть) отрицательные аномалии в пределах -1 – -2ºС.

На глубине 160 см (рисунок 16.1б) аномалии минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные и составляют менее 1ºС. Положительные аномалии 2 – 3ºС наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, а

также на востоке Средней Сибири и на севере Восточной Сибири. Более высокие значения аномалий 3 – 5ºС наблюдаются на крайней северо-восточной части Дальнего Востока. Отрицательные аномалии вблизи Уральских гор и на юге Дальнего Востока выражены слабее, чем в вышележащем слое и составляют >-1ºС.

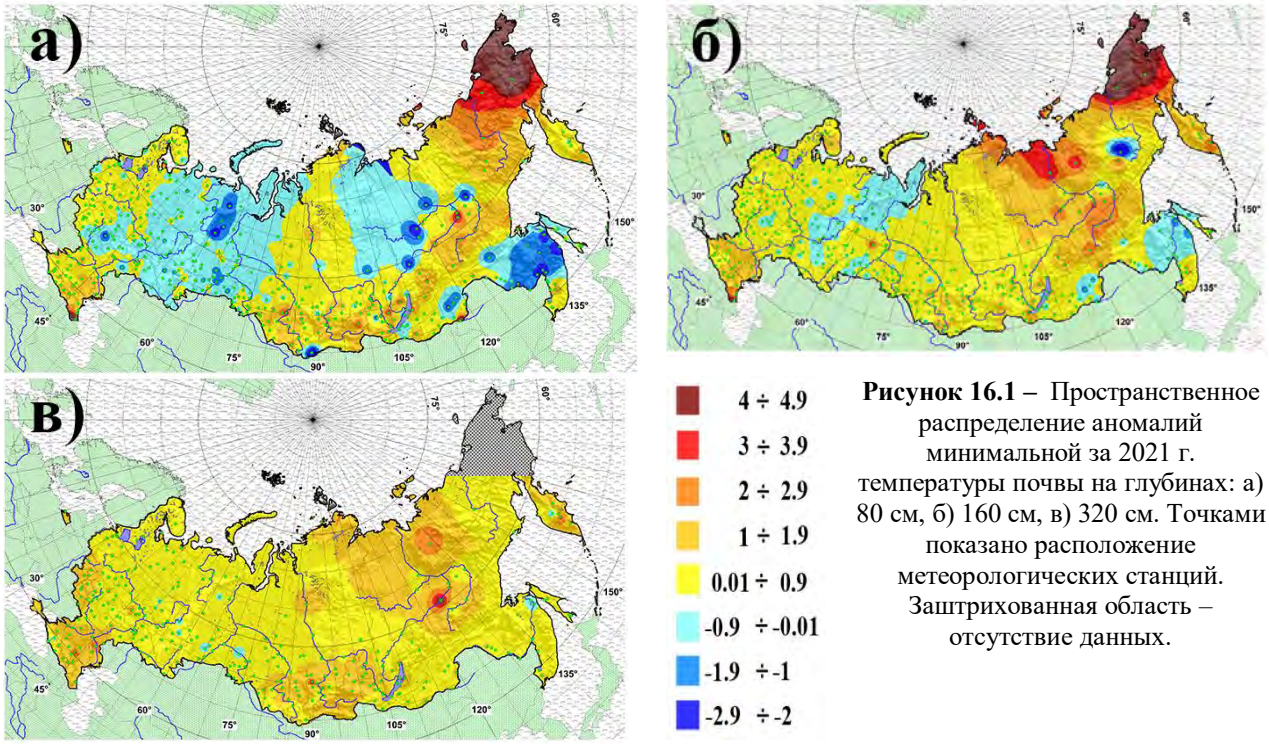


Рисунок 16.1 – Пространственное распределение аномалий минимальной за 2021 г. температуры почвы на глубинах: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций. Заштрихованная область – отсутствие данных.

На глубине 320 см (рисунок 16.1в) 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. Положительные аномалии 1 – 2ºС наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе, на востоке Средней Сибири и на севере Восточной Сибири, а также на юге Западной и Средней Сибири.

Из сопоставления трех карт (рисунок 16.1) 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 2ºС. Наибольшие аномалии потепления почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Северо-Восточной Сибири.

Тенденции изменений температуры почвы

Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвы на глубинах до 320 см показано на рисунке 16.2.

На глубине 80 см (рисунок 16.2а) тренды минимальной за год температуры почвы преимущественно положительные на большей части территории России. Повышенные значения трендов 0.4 – 0.8ºС / 10 лет наблюдаются в зоне многолетней мерзлоты. Статистически достоверные (с вероятностью 95%) положительные тренды охватывают южную половину Средней Сибири, а также север Восточной Сибири и Дальнего Востока. В этих районах преобладают тренды 0.2 – 0.8ºС / 10 лет. Исключением являются долины рек Яна и Алдан с отрицательными, но незначимыми трендами около -0.4ºС / 10 лет. В южной части ЕЧР потепление составило 0.2 – 0.4ºС / 10 лет, а на остальной части ЕЧР и в Западной Сибири преобладают слабые положительные тренды.

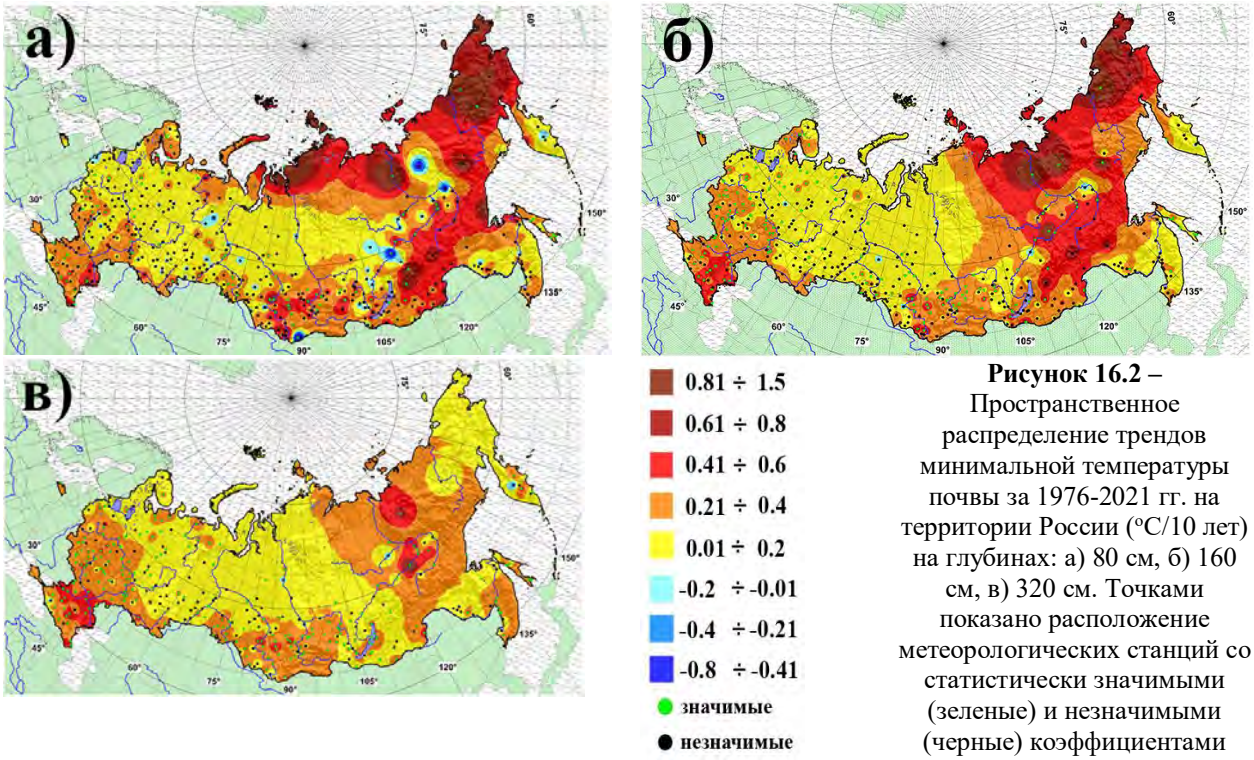


Рисунок 16.2 – Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвы за 1976-2021 гг. на территории России (°С/10 лет) на глубинах: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций со статистически значимыми (зеленые) и незначимыми (черные) коэффициентами линейного тренда.

На глубине 160 см (рисунок 16.2б) по всей России преобладают положительные тренды, но область повышенных значений (>0.4°С / 10 лет) в высоких широтах смещена к Востоку. Положительные тренды 0.2 – 0.8°С/10 лет охватывают север Восточной Сибири и Дальнего Востока. Статистически достоверное (с вероятностью 95%) потепление (>0.2°С / 10 лет) также наблюдается в южной половине ЕЧР и в Средней Сибири. На остальной части ЕЧР и в Западной Сибири слабые положительные тренды. Отрицательные тренды не наблюдаются.

На глубине 320 см (рисунок 16.2в), тренды положительные на всей территории России, повышенные значения (>0.4°С / 0 лет) местами встречаются в южной половине ЕЧР и в северной половине Восточной Сибири. Статистически достоверные (с вероятностью 95%) тренды >0.2°С / 10 лет наблюдаются в южной половине ЕЧР, на юге Западной и Средней Сибири, а также в Восточной Сибири.

Из сопоставления трех карт (рисунок 16.2) можно сделать вывод, что в 1976-2021 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, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири, в устьях рек Лена и Яна.

17. 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 2021 год. Более подробная информация о поведении ОСО над территорией Российской Федерации и прилегающими территориями ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология».

В первом квартале 2021 г. средние за квартал значения ОСО над большей частью контролируемой территории были ниже средних многолетних значений за период 1974-1984 гг. Над северными районами Сибири снижение достигало 9-16 %. Во втором квартале средние за квартал значения ОСО над большей частью контролируемой территории также были ниже средних многолетних значений. В третьем и четвертом кварталах 2021 г. средние за квартал значения ОСО над контролируемой территорией были близки к средним многолетним значениям.

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

- в январе: 330–420 ед. Д.; над северными и центральными районами Европейской части территории России и Северным и Средним Уралом: 313–330 ед. Д., над Приморьем, Сахалином, Магаданской областью и Камчаткой: 420–467 ед. Д. Над северными районами Урала, Западной и Центральной Сибири наблюдались пониженные на 8-15% среднемесячные значения ОСО (330-352 ед. Д.);

- в феврале: 400–455 ед. Д.; над южными районами Европейской части территории России, Каспийским и Аральским морями: 341–400 ед. Д., над северными районами Европейской части территории России и Магаданской областью: 455–460 ед. Д. Повышенные на 10-23 % среднемесячные значения ОСО наблюдались над северными и центральными районами Европейской части территории России и Урала (418-458 ед. Д.);

- в марте: 395–430 ед. Д.; над севером Сибири: 362–395 ед. Д. Над Магаданской областью и Камчаткой: 430–446 ед. Д. Над северными районами Сибири, Якутии и островами Северного Ледовитого океана наблюдались пониженные на 16-23% среднемесячные значения ОСО (362-395 ед. Д.);

- в апреле: 360–430 ед. Д.; над Каспийским и Аральским морями: 349–360 ед. Д., над севером Красноярского края, Якутией и Магаданской областью: 430–445 ед. Д. Над о. Хейс, Уралом и севером Сибири наблюдались пониженные на 6-12% среднемесячные значения ОСО (367-411 ед. Д.);

- в мае: 350–410 ед. Д.; над юго-восточными районами Европейской части территории России, Южным и Средним Уралом, западными районами Казахстана: 320–350 ед. Д., над островами Северного Ледовитого океана и Мурманской областью: 410–434 ед. Д. Над Уралом, Западной Сибирью и западными районами Казахстана наблюдались пониженные на 6-12 % среднемесячные значения ОСО (320-360 ед. Д.);

- в июне:330–380 ед. Д.; над западными районами Казахстана – 316–330 ед. Д.;

- в июле: 310–362 ед. Д;

- в августе: 300–346 ед. Д.; над о. Хейс и севером Якутии 286-300 ед. Д.;

- в сентябре: 275–338 ед. Д.; над островами Северного Ледовитого океана и севером Якутии – 239–275 ед. Д.;

- в октябре: 285–340 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России и Сибири: 256–285 ед. Д. Над Магаданской областью и Камчаткой: 340–364 ед. Д. Над северными регионами России наблюдались пониженные на 3-12% среднемесячные значения ОСО (256-285 ед. Д.);

- в ноябре: 290–370 ед. Д.; над северными районами Европейской части территории России, Урала и Сибири: 277–290 ед. Д., над Магаданской областью и Камчаткой: 370–385 ед. Д.

- в декабре: 350–410 ед. Д.; над Европейской частью территории России, Уралом, Казахстаном, югом Красноярского края и Иркутской областью:301–350 ед. Д., над Магаданской областью и Камчаткой: 410-416 ед. Д.

Аномальными будем считать отклонения, превышающие 2.5 единицы среднеквадратического отклонения. В течение 2021 года отдельные существенные аномальные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в январе-марте, мае, августе и ноябре:

- 15 и 16 января пониженные на 27-32% среднесуточные значения ОСО над югом Урала и Западной Сибири (239-265 ед. Д.);

- с 16 по 18 февраля повышенные на 25-45% среднесуточные значения ОСО над центральными и северными районами Европейской части территории России (517-551 ед. Д.);

- с 15 по 18 марта пониженные на 26-30% среднесуточные значения ОСО над северными районами Красноярского края, Эвенкией, Якутией и Магаданской областью (322-357 ед. Д.).

- с 7 по 9 мая пониженные на 19-26% среднесуточные значения ОСО над северными районами Красноярского края, Якутией и Магаданской областью (310-345 ед. Д.).

- с 22 по 24 мая пониженные на 20-22% среднесуточные значения ОСО над юго-востоком Европейской части территории России, Средним и Южным Уралом, Западной Сибирью (285-312 ед. Д.).

- с 1 по 3 августа повышенные на 23-34% среднесуточные значения ОСО над северными районами Красноярского края и Эвенкией (386-419 ед. Д.).

- 15 и 16 ноября повышенные на 40-41% среднесуточные значения ОСО над Северным Уралом и Западной Сибирью (372-397 ед. Д.).

В 2021 г. наблюдаемые аномалии были непродолжительными и не очень сильными. Они были как отрицательными, так и положительными, поэтому не оказали существенного влияния на среднегодовые значения общего содержания озона. По спутниковым данным (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov) среднемесячные значения ОСО в полосе широт 30-60^0 с. ш. только в январе-марте 2021 г. были меньше аналогичных значений 2020 года (максимально в январе – на 12.7 ед. Д.). В полосе широт 60-90^0 с. ш. среднемесячные значения ОСО в 2021 г. все месяцы, кроме сентября, были больше соответствующих значений 2020 года.

Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2021 г. (рисунок 17.1) для всех анализируемых станций лежат в интервале от -7 до 6 %. Максимальный дефицит среднегодового значения ОСО (7 %) зарегистрирован в Красноярске. Максимальное превышение среднегодового значения ОСО над нормой (6 %) зарегистрировано в Томске.

Вариации среднегодовых значений ОСО с 1997 г. на трёх станциях российской озонометрической сети и в двух широтных поясах, в которых располагается территория Российской Федерации, проиллюстрированы на рисунке 17.2. Среднегодовые значения ОСО для широтных поясов рассчитаны по спутниковым данным (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov), для станций – по оперативным данным фильтровых озонометров М-124. В широтном поясе 60-90^0 с. ш. линейный тренд, рассчитанный по данным с 1997 г., положительный 0.36 ед. Д. за декаду, а в широтном поясе 30-60^0 с. ш. – отрицательный -0.35 ед. Д. за декаду. На фоне сильной межгодовой изменчивости трудно однозначно утверждать о значимых трендах в поведении ОСО в умеренных и высоких широтах. Если сравнивать полученные оценки трендов с оценками 2020 г., то значения трендов немного выросли, при этом знаки трендов сохранились.

Так как озоновые аномалии над территорией России в зимне-весенний период тесно связаны с особенностями развития и динамики циркумполярного арктического вихря, ведутся постоянные наблюдения за состоянием стратосферы в высоких широтах Северного полушария. Количественные показатели характеристик циркумполярного вихря и полярного озона, приведённые ниже, заимствованы с сайта NASA, США (http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov).

Рост площади циркумполярного вихря начался с первых чисел января 2021 г. К середине января, не затрагивая Северного полюса, вихрь растянулся от Канады до Якутии. Внутри большого вихря сформировались три более мелких вихря, наиболее интенсивный из которых располагался от Скандинавского полуострова до Западной Сибири (в это

время над Уралом и Западной Сибирью была зарегистрирована отрицательная аномалия ОСО).

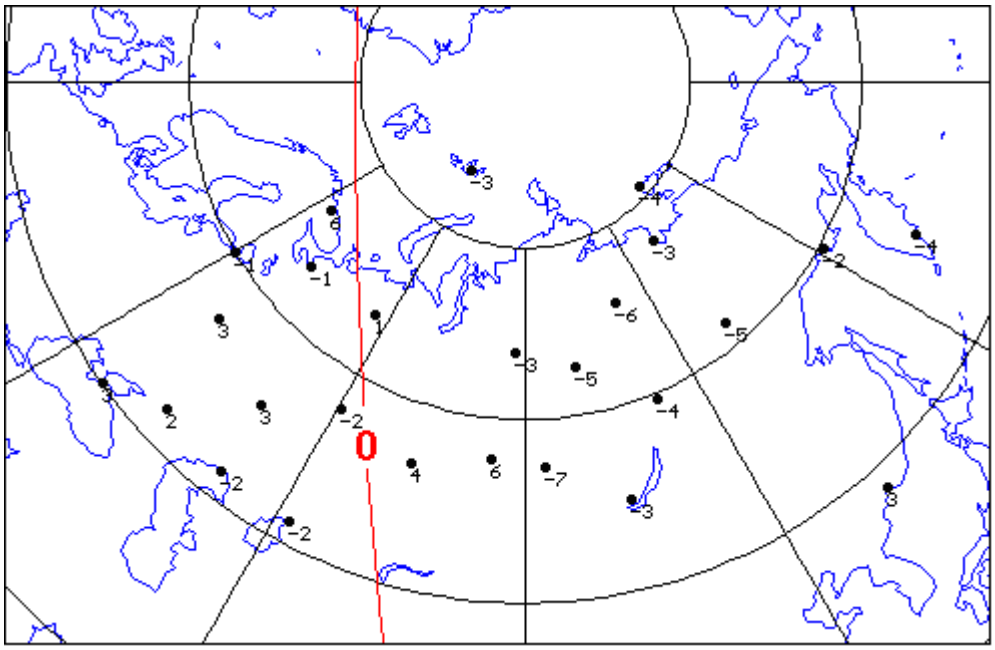


Рисунок 17.1 – Поле отклонений среднегодовых значений ОСО в 2021 г. (%) от многолетних среднегодовых значений за период 1974-1984 гг.

В середине февраля центр вихря располагался между Гренландией и северными островами Канады. В это время температура на уровне 50 гПа в центре вихря составляла около 200 К, а над северными районами ЕЧР превышала 220 К, где в это время была зарегистрирована положительная аномалия ОСО. Аномальное значение ОСО было также зарегистрировано 19 февраля 2021 г. на станции Соданкюла, Финляндия (67.4 с. ш., 26.7 в. д.).

К концу февраля центр вихря, пройдя над Северным полюсом, в начале марта перешел в восточное полушарие и 5 марта достиг полуострова Таймыр, а наиболее интенсивная его часть растянулась от Карелии до Камчатки. В середине марта, когда была зафиксирована отрицательная аномалия ОСО над северными районами Красноярского края, Эвенкией, Якутией и Магаданской областью, наиболее интенсивная часть вихря располагалась над этими территориями.

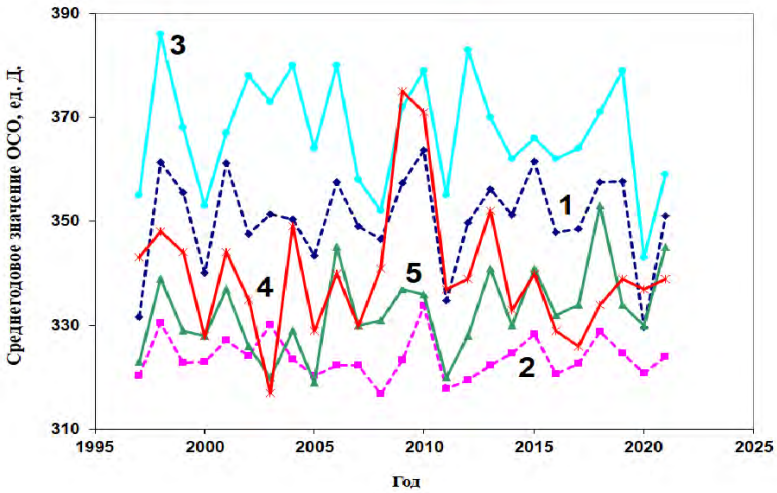


Рисунок 17.2 – Межгодовая изменчивость среднегодовых значений ОСО в интервалах широт 60^0-90^0 с. ш. (1), 30^0-60^0 с. ш. (2) и на станциях Якутск (3, 62° с. ш., 130° в. д.), Екатеринбург (4, 57° с. ш., 61° в. д.) и С.-Петербург (5, 60° с. ш., 30° в. д.

Рисунок 17.3 иллюстрирует поведение полярного арктического озона (среднее значение ОСО в поясе севернее 63^0 с. ш.) в 2021 г. Там же для сравнения представлен годовой ход полярного арктического озона в 2020 г. В январе-апреле 2021 г. полярный арктический озон был в среднем на 62 ед. Д. больше, чем в тот же период 2020 г.

На этом же рисунке представлены значения полярного антарктического озона (среднее значение ОСО в поясе южнее 63^0 ю. ш.) за 2020 и 2021 гг. Длительное время наблюдавшиеся в Антарктике в зимне-весенний период 2021 г. низкие стратосферные температуры, создавшие условия для образования большого количества долгоживущих стратосферных облаков, и сильные зональные ветры привели, как и в 2020 г., к значительному и продолжительному снижению полярного антарктического озона. Коэффициент корреляции полярного антарктического озона в августе- декабре 2021 и 2020 гг. равен 0.89.

Рисунок 17.3 – Годовая изменчивость полярного озона в Арктике (1 – в 2021 г., 2 – в 2020г.) и в Антарктике (3 – в 2021 г., 4 – в 2020 г.).

Выводы

Над территорией Российской Федерации в 2021 г. было зарегистрировано семь непродолжительных аномалий среднесуточных значений общего содержания озона. Так как наблюдаемые аномалии были непродолжительными и не очень сильными, а также они были как отрицательными, так и положительными, они не оказали существенного влияния на среднегодовые значения общего содержания озона, которые близки к средним многолетним значениям за 1974-1984 гг. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2021 г. для всех анализируемых станций лежат в интервале от -7 до +6%. Полученные оценки трендов среднегодовых значений общего содержания озона в широтных поясах 30-60^0 и 60-90^0 с. ш. по сравнению с оценками 2020 г. немного выросли, при этом знаки трендов сохранились. Это связано с тем, что в январе-апреле 2021 г. полярный арктический озон был в среднем на 62 ед. Д. больше, чем в тот же период 2020 г. Годовой ход полярного антарктического озона в 2021 г. в среднем повторил ход 2020 г., то есть в Антарктике в зимне-весенний период 2021 г. наблюдалось значительное и продолжительное снижение полярного антарктического озона.

ВЫВОДЫ

- Температура воздуха в 2021 году в среднем по территории России незначительно превысила норму: среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-90 гг.) составила +1.35ºС – пятнадцатая величина с 1936 года. Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны, кроме Чукотки. Тепло было на юге ЕЧР и ДФО: средняя по региону Приамурья и Приморья аномалия +1.69ºС – 5-я величина в ряду.

Такие температурные условия в среднем за год сложились при экстремально теплом лете и холодной зиме.

Летом средняя по РФ аномалия температуры составила +2.00ºС — это на 0.15 градуса выше предыдущего максимума лета 2016 года, и почти на 0.4 градуса выше, чем летом 2010 года. Рекордно теплым лето было также в АЧР с аномалией +1.66ºС, а в ЕЧР аномалия +2.92ºС — вторая в ряду.

Экстремумы выше 95-го процентиля отмечались на большей части ЕЧР, на Южном Урале, в Средней Сибири, в Приморье и на Сахалине. Прохладнее было в пограничных областях УФО и СФО, на Чукотке, где наблюдались небольшие отрицательные аномалии.

Зимой 2020/21 гг. средняя по России аномалия составила -0.46ºС. Температуры ниже нормы наблюдались в центре и на востоке ЕЧР, в центральных районах АЧР, наиболее холодные условия сложились в Западной Сибири (аномалии на станциях до -4 градусов, осредненная по региону аномалия -2.38ºС) и на востоке Средней Сибири (аномалии до -5 градусов). Температуры выше климатической нормы наблюдались на западе и юге ЕЧР, в Саянах, на юге ДФО, на азиатском побережье Северного Ледовитого океана, на северо-востоке страны.

Весной средняя по РФ аномалия составила +2.00ºС (ранг 13). На всей территории страны температуры были выше климатической нормы. Экстремально тепло (аномалии температуры выше +3ºС, на большинстве станций отмечались 95%-е экстремумы) на Южном Урале, в Приморье, на юге Камчатки

Осенью средняя по РФ аномалия составила +1.94ºС – 7 величина в ряду. Положительные аномалии наблюдались всюду на территории страны, кроме крайнего северо-востока страны и предгорий Кавказа. Аномально теплые условия (на станциях аномалии выше +2ºС, фиксировались 95%-е экстремумы) наблюдались в центре и на юге ДФО (аномалия +2.65ºС – ранг 3); 95%-е экстремумы фиксировались также в центре ЕЧР (аномалии здесь около 2ºС).

На станциях Северного Кавказа в *зимний* и *весенний* сезоны (исключение Теберда, Терскол), имели место положительные аномалии средних температур, превышающие стандартное отклонение. В *летний* сезон и в *году в целом* на всех м/станциях наблюдалось значительное превышение средней температуры, на станции Ахты — выше 95-го процентиля.

- Значение пространственно осредненной аномалии температуры воздуха Северной полярной области в 2021 году составили: зимой +1.6°С (ранг 12), весной +2.3°С ранг 8) и летом +1.4°С (ранг 5). В широтной зоне 70-85° с. ш. наиболее теплым в 2021 г. оказался зимний сезон (+3.6ºС –ранг 4), в широтной зоне 60-70° с. ш. – летний (+1.5ºС – ранг 4). В зимнем сезоне основная область положительных аномалий температуры воздуха располагалась в атлантико-американском секторе СПО, в весеннем и летнем сезонах - в евразийском секторе.

- Потепление продолжается на всей территории России в целом за год и во все сезоны. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за период 1976-2021 гг. составила 0.49°С / 10 лет (вклад в общую изменчивость 54%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной (0.66°С / 10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0.40°С / 10 лет: описывает 67% суммарной дисперсии).

Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири, где зимой все еще наблюдается область убывания температуры, хотя и на существенно меньшей территории и значительно более слабого, чем в период 1976-2014 гг. Летом и осенью рост температуры на юге Сибири (осенью также в центре) очень слаб.

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

- В СПО значимый тренд обнаруживается зимой, весной и летом. Наибольшее повышение температуры наблюдается в целом по СПО весной: 2.41°С за 86 лет (особенно в широтной зоне 70-85° с. ш.: 2.58°С за 86 лет). В районах арктических морей в течение 1936-2021 гг. в зимнем сезоне основное повышение температуры отмечается в районах Чукотского моря и моря Бофорта. Соответственно значения линейного тренда здесь

составляют 3.18 и 4.3°С за 86 лет. Весной линейное повышение температуры воздуха в районах морей Карского и Чукотского составило около 3.27 °С за 86 лет.

Скорость роста температуры во всех районах значительно увеличивается в последние 30 лет. Температура воздуха с середины 1990-х годов по 2020 год повысилась зимой более чем на 4°С, а летом – почти на 2.5°С. Ещё заметнее потеплело в 2010-е годы на акватории Сибирских арктических морей (Карское – Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь: повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2016 год почти на 10°С, а летней почти на 3°С. После 2019 года температура зимой понизилась к 2021 году на 2°С. Летом понижение ПТВ в эти годы составило 0.7°С.

Потепление в морской Арктике сопровождается сокращением площади морского льда, тесно связанное с ростом температуры воздуха в летний сезон. Площадь, занятая морским льдом на акватории морей в конце летнего сезона, в сентябре, быстро сокращалась с 1996 года и за десять лет к 2005 году уменьшилась более чем в три раза – с 1892 до 234 тыс. кв. км. В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26.3 тыс. кв. км в 2016 году, превысившим предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. кв. км). В 2021 летняя температура воздуха в морской Арктике понизилась на 0.7°С относительно 2020 г., а площадь, занятая льдом в сентябре, выросла на 26%.

● В тропосфере Северного полушария лето 2021 года было рекордно теплым с 1958 года. Среднегодовая аномалия температуры составила 0.88ºС, что на 0.07ºС больше предыдущего рекорда 2010 года. Осень 2021 года стала четвертой в ряду самых теплых лет с аномалией температуры 0.58ºС. В низких широтах все сезоны попали в десятку самых теплых лет. А в высоких широтах наблюдались холодные зима и весна с отрицательными аномалиями температуры и относительно холодная осень. В целом 2021 год стал пятым в ряду самых теплых лет. Таким образом, 2015-2021 гг. являются семью самыми теплыми годами с начала инструментальных наблюдений в тропосфере северного полушария.

В нижней стратосфере температурных рекордов в 2021 году не наблюдалось, но в высоких широтах весна, лето и осень вошли в десятку самых холодных лет, причем весна была второй в соответствующем ряду с температурной аномалией -2.26ºС. Зимой в высоких широтах наблюдалась большая положительная аномалия 1.32ºС. Осенью положительная аномалия температуры 0.23ºС наблюдалась в низких широтах, а в средних широтах и в целом по Северному полушарию осенние аномалии температуры были близки к 0. В среднем за год аномалии температуры во всех широтных зонах были близки друг к другу и составили около -0.57ºС, а 2021 год не попал в десятку самых холодных лет.

Структура климатических трендов температуры за период с 1981 года по 2021 год подтверждает тенденции потепления в тропосфере и тенденции значительного похолодания в нижней стратосфере. Добавление оценок за 2021 год привело к ускорению летнего и осеннего потепления в тропосфере, а также осеннего похолодания в нижней стратосфере. Абсолютные значения зимнего и летнего похолодания в нижней стратосфере уменьшились по сравнению с предыдущим годом. Среднегодовой тренд температуры в тропосфере не изменился и составил 0.19ºС/10 лет. Абсолютное значение среднегодового тренда температуры в нижней стратосфере уменьшилось по сравнению с предыдущим годом на 0.02ºС/10 и составило -0.37ºС/10 лет.

● Осадки в 2021 г. в целом по России составили 107% нормы (среднего за 1961-1990 гг.): 7-я величина в ряду с 1936 года. Значительный избыток осадков наблюдался на юге ЕЧР (в ЮФО: 126% нормы – 2-я величина в ряду, в СКФО: 132% - ранг 1), в среднем течении Амура. Заметный дефицит осадков (менее 80% нормы) наблюдался на Южном Урале, а также в Хабаровском крае.

Из сезонов выделяется «влажная» весна: в целом по РФ выпало 112% нормы – третья величина в ряду (особенно «влажно» в АЧР: 112% - ранг 2); «сухое» лето: в целом

по РФ выпало 93% нормы – среди трех-четырех самых «сухих» летних сезонов с 1936 года (особенно «сухие» условия сложились в Восточной Сибири (79%), в ПФО (71%)). Зимой экстремально «снежно» было в Прибайкалье и Забайкалье (159% - ранг 2).

На Северном Кавказе в 2021 году отмечено значительное превышение суммы осадков относительно нормы: более чем на стандартное отклонение на всех метеорологических станциях в *зимние* сезоны (за исключением Ахты); превышение осадков наблюдалось и в *весенний* сезон, и *в году в целом* на горных метеорологических станциях Теберда и Терскол. За последние 60 лет в Теберде годовые суммы осадков были наибольшими (1073.2 мм).

В целом в 2021 г. для СПО в суммы осадков холодного и теплого сезонов были ниже нормы: в холодном сезоне выпало 95% нормы, а в теплом – 99.1% (наименьшее количество осадков выпало в восточной части азиатского и западной части североамериканского секторов – около 90% нормы, наибольшее – в Атлантическом секторе: 110.5%).

• На территории России в целом преобладает тенденция к ***увеличению годовых сумм осадков***: тренд за 1976-2021 гг. составляет 2.2% / 10 лет, вклад в дисперсию 39%. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается ***весной*** (5.9% / 10 лет, вклад в дисперсию 41%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако ***летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают***: в ПФО -4.5% в десятилетие.

Тренд годовых осадков за период 1976-2020 гг. на всех станциях Кавказского региона статистически незначим, но весной на горной станции Теберда наблюдался статистически значимый на 5% уровне рост сумм осадков (D=10%).

В СПО наблюдается тенденция статистически значимого увеличения сумм осадков холодного сезона за период 1936-2021 гг. со средней скоростью около 3.17 мм / 10 лет. В теплом сезоне в большинстве районов присутствует тренд к уменьшению осадков. Тенденция к убыванию осадков уверенно обнаруживается в Чукотском районе и в районах арктических морей азиатского сектора СПО в течение всего года. Более всего рост осадков выражен в южной части Североевропейского района (14.5 мм / 10 лет), а уменьшение – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях (7.62 и 9.12 мм / 10 лет для сумм осадков холодного сезона и 5.9 и 4.6 для теплого сезона).

• В 2021 г. летом атмосферные засухи наблюдались во многих областях ПФО, в ряде областей ЦФО, на Южном Урале. Этому способствовал сильный дефицит осадков летом (осредненные по территории ЦФО летние осадки составили 76% нормы, по ПФО – 71%, по УФО – 85%) и экстремальные температурные аномалии: летние аномалии, составили для ЦФО 3.42ºС (3-я величина в ряду), для ПФО 3.33ºС(2-я).

• Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2020-2021 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы: вошла в десятку наименьших за рассматриваемый период. В северных районах страны отрицательная аномалия продолжительности залегания снежного покрова оказалась рекордной. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась значительно выше климатической нормы и попала в десятку наибольших значений, при этом значения максимальной высоты снега в II, III, V, VI и VIII квази-однородных регионах (это АЧР кроме района Обской губы, Приамурья и Приморья, Хабаровского края, Камчатки) также вошли в десятку самых высоких значений. Максимальный за прошедшую зиму запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в среднем по России оказался значительно ниже нормы в лесу, но превысил норму в поле. Отрицательные аномалии запаса воды в лесу получены почти во всех квази-однородных регионах, при этом значение для России в целом, попало в десятку наименьших. В поле значительные отрицательные аномалии запаса воды в снеге получены на севере ЕЧР и Западной Сибири, севере Восточной Сибири и Якутии, на Чукотке и Камчатке, причем значения запаса воды в снеге на полевых маршрутах на Чукотке и Камчатке оказались рекордно низкими.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова. Как и в период 1976 - 2020 гг., наблюдается увеличение максимальной за зиму высоты снежного покрова на большей части страны. Максимальный за зиму запас воды в снеге с 1976 по 2021 гг. по данным маршрутных наблюдений в поле увеличивается на 2.17 мм за 10 лет. По данным маршрутных наблюдений в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге.

- Суммарные за холодный период аномалии числа случаев **гололеда** были положительными на восточной половине ЕЧР и юге УФО, отрицательные - на западе ЕЧР, юге Западной Сибири.

Отрицательные аномалии числа случаев **кристаллической изморози** отмечались на всей ЕЧР (от 5 до 10 дней) положительные - на севере Камчатского края, востоке Магаданской области, западе Чукотки и в Амурской области (от 5 до 10 дней и более).

В распределении **числа случаев отложения мокрого снега** преобладали положительные аномалии. Значительные положительные аномалии **веса отложения мокрого снега** отмечены в Крыму, на Кавказе, западе ЦФО, ПФО, юге УФО, востоке Западной Сибири, Приморского и Камчатского краев, наиболее выраженные отрицательные аномалии - в Краснодарском крае, востоке ЦФО и юго-западе СЗФО.

В ПФО, на юго-востоке ЦФО, в Краснодарском крае, Калмыкии, Астраханской и Мурманской областях, на юге ЯНАО выявлена тенденция увеличения числа случаев **гололеда** (1.2-1.6 дней за 10 лет). На многих метеорологических станциях этот тренд статистически значим на 5% уровне.

Положительный тренд числа случаев **отложения мокрого снега** выявлен для большей части территории России.

На большей части ЕЧР наблюдается уменьшение продолжительности **кристаллической изморози**, особенно значительное на арктическом побережье, на северо-западе Красноярского края и на востоке Чукотки. На большей части территории России отмечается уменьшение веса **кристаллической изморози.**

- Аномалии показателей термического и влажностного режима оцениваются по отношению к предшествующему двадцатилетию (2001–2020 гг.). Осреднение по федеральным округам выполнено в пределах условной земледельческой зоны южнее 66.5° с. ш. (до 90° в. д.), 60° с. ш. (до 130° в. д.) и 55° с. ш. восточнее.

Продолжительность периода вегетации (T>5°C) превышала среднюю практически на всей рассматриваемой территории, за исключением СФО, где вегетационный период был в среднем короче на 3 суток.

Дата возобновления вегетации (переход через 5°C весной) на ЕЧР наблюдалась на 2–3 суток раньше, чем в среднем за последние двадцать лет, за исключением южных областей. Более поздние сроки начала вегетации наблюдались также на территории Сибири и Дальнего Востока. Продолжительность периода вегетации (T>5°C) превышала среднюю многолетнюю практически на всей рассматриваемой территории, за исключением СФО. Аномалии средней температуры воздуха за период вегетации яровых зерновых культур были положительными на всей территории земледельческой зоны и в среднем составили 1.2°C.

Сумма осадков за период вегетации яровых зерновых культур в 2021 г. в среднем по территории земледельческой зоны была ниже средней за 2001-2020 на 13%. На ЕЧР осадков выпало на 15–37% меньше, за исключением самых южных областей. На Урале и в Сибири также наблюдался дефицит атмосферных осадков – количество выпавших осадков ниже среднего на 38 и 10%, соответственно.

Уровень увлажнённости сельскохозяйственных угодий в 2021 г. на юго-востоке ЕЧР и на Урале был значительно ниже, чем в среднем за 2001–2020 гг. Исключительно засушливые условия наблюдались в УФО (гидротермический коэффициент ГТК составил -0.63, или от 40 до 60% климатической нормы). Почвенная засуха (запасы влаги в

метровом слое ниже 50 мм) за период с июня по август распространилась на ряд регионов ПФО, ЮФО, СКФО и УФО.

Теплообеспеченность периода активной вегетации сельскохозяйственных культур продолжает расти повсеместно в земледельческой зоне. Оценки линейного тренда суммы активных температур воздуха (T>10 °C) на ЕЧР от ~95°C/10 лет до ~150°C/10 лет в ЮФО, а на АЧР – на уровне ~60°C/10 лет. Сохраняется тенденция к росту продолжительности вегетационного периода (T>5°C) и периода активной вегетации (T>10°C).

Положительная тенденция к росту весенних осадков наблюдается на всей территории земледельческой зоны России и в среднем составляет 5 мм/10 лет. Тренды летних осадков за 1976–2021 гг. остаются отрицательными в основных сельскохозяйственных регионах ЕЧР и Урала и положительны в Сибири и на Дальнем Востоке. В целом по земледельческой зоне России степень засушливости растёт: оценки линейного тренда ГТК за период с мая по август и индекса сухости М.И. Будыко за весь тёплый период года (T>5°C) составляют −0.03/10 лет и 0.03/10 лет, соответственно.

- В 2021 г. на территории России для измерения мощности сезонно-талого слоя вечной мерзлоты была задействованы 46 площадки CALM. Более чем на 70 % площадок значения мощности СТС в 2021 году превышают средние многолетние величины, при этом сохраняется значительная изменчивость по регионам. По сравнению с предыдущим годом на Европейской территории России изменения мощности СТС были разнонаправленными. В Западной Сибири на большинстве площадок мощность СТС уменьшилась. В Центральной Сибири уменьшение глубины оттаивания наблюдалось в дельте р. Лена (на 10 и 6 см), на остальных площадках мощность СТС увеличилась. На северо-востоке Сибири повсеместно наблюдалось уменьшение мощности СТС, за исключением площадки R14 (р. Чукочья), где глубина оттаивания не изменилась относительно 2020 года. На Чукотке по сравнению с 2020 годом мощность СТС уменьшилась на 5-9 см.

Тренды практически на всех площадках сохраняют положительные значения, что свидетельствует об устойчивой тенденции увеличения глубины оттаивания вечной мерзлоты в XXI веке.

- На большей части территории России во всем слое почвы до 320 см преобладают положительные аномалии менее +2ºC. Наибольшие аномалии прогрева почвы, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Северо-Восточной Сибири. В целом с увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвы.

Тенденция повышения минимальной температуры почвы за период 1976-2021 гг. 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, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири, в устьях рек Лена и Яна.

- Темпы деградации ледников при потеплении различны. Наибольшая убыль площади зафиксирована у ледников с максимальной их шириной: Джикиуганкез (4.5 км) и Большой Азау (3 км) на склонах Эльбруса. Площади этих ледников уменьшились на 8.12 км^2 и 6.35 км^2. В последние 5 лет скорость деградации оледенения Эльбруса возросла в 5 раз и достигла 1.25 км^2 в год. Минимальное сокращение площади наблюдалось у ледника Девдораки (99 тыс. м^2), стекающего с горы Казбек.

Площадь долинных ледников в среднем сократилась на 13.96% (от 1-2 до 60%). Максимальная убыль площади зафиксирована у карово-долинного ледника Козицете в верховьях долины р. Мамихдон.

Современный этап деградации ледников характеризуется тем, что в разных районах мира происходят сходы ледников, всего таких случаев уже зафиксировано более 30-ти. В результате анализа для Северного Кавказа были выявлены признаки подготовки

ледников к сходу, в частности, относится резкое увеличение скорости движения ледников и их подвижки.

- В 2021 г. в целом на территории РФ отмечалось 1205 опасных гидрометеорологических явлений, включая агрометеорологические и гидрологические (на 205 явлений больше, чем в 2020 году). Из всех ОЯ, наблюдавшихся в 2021 г., 417 (ранг 6 из 26) нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. В целом за год оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета было выпущено 2833 штормовых предупреждений, оправдываемость которых достигла 96.8%.

В 2021 г. на территории России было зарегистрировано 612 случаев (максимальная величина за 26 лет). возникновения метеорологических ОЯ и комплексов метеорологических явлений (КМЯ). Высокой была повторяемость сильных осадков, сильного ветра, КМЯ и заморозков. Это составляет более 65 % от всех опасных метеорологических явлений.

- В целом режим солнечной радиации в 2021 г. характеризуется пониженным приходом прямой радиации на большей части территории России. Наиболее ярко это проявилось в весенний сезон. В поле рассеянной радиации, как и в предыдущие годы, доминировали отрицательные аномалии. При этом и весной, и летом, на севере Якутии зарегистрированы рекордно-высокие значения рассеянной радиации, связанные, по-видимому, с широким распространением по территории природных пожаров.

Анализ многолетних изменений пространственно-осредненных аномалий годовых сумм радиации показывает, что на территории ЕЧР с начала 90-х годов XXв. наблюдается положительная тенденции в изменении прямой радиации. В Средней Сибири сохраняется тенденция к снижению приходящей радиации, наметившаяся в начале XXIв. В последние годы наблюдались крупные отрицательные аномалии, сопоставимые с рекордно низкими значениями, которые проявляются на фоне сильной межгодовой изменчивости.

- В 2021 году на территории России существенных аномалий годовых сумм ПСС не наблюдалось. Средняя для РФ годовая ПСС была близка к норме (*RS*=102%), в ЕЧР превысила норму (*RS*=106%) (особенно в ПФО (*RS*=109% – ранг 4). В АЧР значительные территории были заняты отрицательными аномалиями, особенно значительные на юге Восточной Сибири (*RS*=95% – этот регион попал в пять минимумов).

Средние сезонные аномалии для ЕЧР и АЧР имели противоположные знаки. В ЕЧР во все сезоны, за исключением осени, наблюдались положительные аномалии, тогда как в АЧР, зимой и весной средняя аномалия была отрицательной, а осенью – положительной.

Зимой 2020/21 гг. на территории РФ наиболее существенные положительные аномалии ПСС наблюдались в северных районах Западной и Средней Сибири (на отдельных станциях более 200% от нормы), а также на северо-востоке ЕЧР. Дефицит солнечного сияния (до 60% от нормы) отмечался в южных районах АЧР. Весной 2021 г очагов с крупными аномалиями ПСС не наблюдалось. Летом средняя для территории РФ аномалия составила 105% от нормы, в ЕЧР – 112% нормы – вторые величины в рядах. Осенью в ЕЧР несколько преобладали отрицательные аномалии (*RS*=99%), а значительная территория АЧР была занята положительными аномалиями (в Дальневосточном регионе *RS*=109% – ранг 4).

Изменения ПСС почти на всей территории РФ характеризуются положительным трендом: рост наблюдается на 71% станций. Положительный тренд для России в целом наблюдается во все сезоны и является статистически значимым (за исключением осени). Статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС и отдельно для ЕЧР и АЧР, при этом его скорость в ЕЧР более чем в 2 раза больше (1.9%/10 лет), чем в АЧР (0.7%/10 лет).

- Максимальная средняя скорость ветра 15 м/с и выше наблюдалась в 2021 году преимущественно в северных и южных районах страны (на арктических островах, восточном побережье Чукотки и Камчатки - более 20 м/с). В обширных зонах, которые протянулись от западных границ до Прикамья на ЕЧР и от Прибайкалья до бассейна

Колымы на АЧР, максимальная из средних скоростей ветра не превысила 15 м/с. Отклонения среднегодовой скорости ветра от среднемноголетних значений в 2021 году на территории РФ преимущественно отрицательны. Наиболее высокая повторяемость дней с сильным ветром – на метеорологических станциях морских побережий. Количество случаев с экстремальным ветром (превышающим 95-й процентиль) выше для зимне-весеннего периода (224), чем для летне-осеннего периода (166 случаев).

Максимальный рост скорости ветра отмечается в Республике Дагестан во все сезоны года, кроме лета, и не превышает 0.6 м/с за 10 лет, а летом наибольший коэффициент линейного тренда отмечается в республике Башкортостан.

Коэффициент линейного тренда в рядах числа дней с сильным ветром (≥ 15 м/с) на большей части РФ отрицательный, но статистически незначим. В целом, осенью, зимой и весной отрицательные тенденции более выражены, чем летом.

При оценке региональных изменений получено, что во все сезоны года средняя по РФ скорость ветра уменьшается; среднесезонные скорости ветра уменьшаются и в всех квази-однородных регионах; число дней с ветром более 15 м/с также уменьшается во все сезоны во всех квази-однородных регионах.

• В 2021 году в тропосфере в среднем за год больших аномалий скорости ветра не наблюдалось. Наибольшие положительные среднегодовые аномалии (до 2 м/с) наблюдались на юге Сибири, Камчатке и в Крыму. Зимой и весной аномалии скорости ветра в этих областях превышали 3-4 м/с. Летом в этих областях наблюдались отрицательные аномалии, а область наибольших положительных аномалий скорости ветра наблюдалась над Баренцевым морем. Осенью область наибольших аномалий пришлась на европейскую часть России. Зимой, весной и летом на западе европейской части России и осенью на севере Сибири наблюдались положительные аномалии меридионального ветра.

В нижней стратосфере в среднем за год над Россией преобладали положительные аномалии скорости ветра, превышавшие 2 м/с только на северо-востоке Дальнего Востока. Отрицательные аномалии скорости ветра наблюдались в центральной Сибири, а также над Ленинградской областью и Карелией. Положительные аномалии скорости ветра преобладали над всей территорией России весной и осенью. Весной среднее значение аномалий скорости ветра превышало 2 м/с, а северо-востоке Дальнего Востока 6 м/с. Зимой практически над всей территорией России наблюдались отрицательные аномалии скорости ветра, <-6 м/с в Сибири. Направление ветра в целом за год соответствовало климатическому, но в отдельные сезоны наблюдались существенные аномалии направления ветра на север-востоке Дальнего Востока. Зимой направление ветра там было южным при отрицательных аномалиях зонального ветра. Весной – юго-западным при больших положительных аномалиях зонального и меридионального ветра. Летом направление ветра там было северным из-за отрицательных аномалий меридионального ветра, в то время как за 30-летний базовый период доминирующего направления ветра в этом регионе нет.

• Концентрация углекислого газа в атмосфере Земли неуклонно растет. В 2021 г. она достигла очередного максимума. Среднегодовое значение на станциях РФ, расположенных в фоновых условиях, приблизилось к значению 419 млн$^{-1}$. Станции, подверженные влиянию региональных источников, также демонстрируют рост концентрации CO_2. В 2021 г. среднегодовые значения концентрации CO_2 составили 422.5 млн$^{-1}$; 425.4 млн$^{-1}$; 431.3 млн$^{-1}$ на станциях Новый Порт, ПТБЗ и Обнинск соответственно.

Темпы роста концентрации CO_2, снизившиеся в 2020г. возможно в результате введения ограничений, связанных с пандемией Covid-19 до значений 1.8-2.2 млн$^{-1}$/год начинают восстанавливаться, составив в 2021 г. 2.6-2.8 млн$^{-1}$/год на станциях Териберка и Тикси.

2021 г. явился выдающимся по росту концентрации метана в атмосфере (18.4 млрд$^{-1}$/год и 20.5 млрд$^{-1}$/год для станций Териберка и Тикси соответственно).

Среднегодовая концентрация метана в фоновых условиях близка к 2000 млрд$^{-1}$, а на станции Тикси перешагнула этот рубеж. Аномально высокие значения метана (3000-4000 млрд$^{-1}$) в приземном слое атмосферы зарегистрированы в 2021 г. на станции Обнинск, среднегодовая концентрация метана увеличилась на 76 млрд$^{-1}$, что является рекордным для этой станции за весь период измерений начиная с 1998г.

• Над территорией Российской Федерации в 2021 г. было зарегистрировано семь непродолжительных аномалий среднесуточных значений общего содержания озона, как отрицательных, так и положительных. Они не оказали существенного влияния на среднегодовые значения общего содержания озона, которые близки к средним многолетним значениям за 1974-1984 гг. Отклонения среднегодовых значений ОСО от нормы в 2021 г. для всех анализируемых станций лежат в интервале от -7 до +6%. Полученные оценки трендов среднегодовых значений общего содержания озона в широтных поясах 30-60^0 и 60-90^0 с. ш. по сравнению с оценками 2020 г. изменились незначительно, при этом знаки трендов сохранились (для этих широтных поясов тренд среднегодовых значений ОСО за период 1997-2021 гг. составил -0.35 и 0.36 ед. Д. за декаду, а за период 1997-2020 гг.: -0.42 и 0.34 ед. Д. за декаду). Это связано с тем, что в январе-апреле 2021 г. полярный арктический озон был в среднем на 62 ед. Д. больше, чем в тот же период 2020 г. Годовой ход полярного антарктического озона в 2021 г. в среднем повторил ход 2020 г., то есть в Антарктике в зимне-весенний период 2021 г. наблюдалось значительное и продолжительное снижение полярного антарктического озона.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение	Полное название
WDCGG	World Data Centre for Greenhouse Gases
АЧР	Азиатская часть России
БКП	Биоклиматический потенциал
ВАОА	Весенняя Антарктическая озоновая аномалия
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ГИО	Гололедно-изморозевые отложения
ГСА	Глобальная служба атмосферы
ГТК	Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова
Доклад	Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации
ДФО	Дальневосточный федеральный округ
ед. Д.	Единица Добсона — единица измерения содержания озона в атмосфере Земли (одна единица Добсона равна слою озона 10 мкм при стандартных давлении и температуре)
ЕЧР	Европейская часть России
ИС	Индекс сухости М.И. Будыко
КМЯ	Комплекс метеорологических явлений
ММГ	Многолетнемерзлые грунты
МПАБ	Международная программа арктических буёв
н.у.м.	ниже уровня моря
ОСО	Общее содержание озона
ОЯ	Опасные гидрометеорологические явления
ПГ	Парниковые газы
ПСС	Продолжительность солнечного сияния
ПТБЗ	Приокско-Террасный биосферный заповедник
ПФО	Приволжский федеральный округ

СЗФО	Северо-Западный федеральный округ
СКФО	Северо-Кавказский федеральный округ
СЛО	Северный Ледовитый океан
СМП	Северный морской путь
СПО	Северная полярная область
СТС	Сезонно-талый слой
СФО	Сибирский федеральный округ
УФО	Уральский федеральный округ
ФО	Федеральный округ
ЦФО	Центральный федеральный округ
ЮФО	Южный федеральный округ
ЯНАО	Ямало-Ненецкий автономный округ