

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И  
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
(РОСГИДРОМЕТ)

ДОКЛАД  
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТА  
НА ТЕРРИТОРИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЗА 2011 ГОД

Москва, 2012 г.

ДОКЛАД подготовлен коллективом НИУ Росгидромета:

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН»  
(ФГБУ ИГКЭ, головной)  
Академик

Ю.А. Израэль  
Г.В. Груза  
М.Ю. Бардин  
Э.Я. Ранькова  
Э.В. Рочева

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

Г.В. Алексеев  
В.Ф. Радионов

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

В.Н. Разуваев  
О.Н. Булыгина  
Н.Н. Коршунова

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

О.Д. Сиротенко  
Е.В. Абашина

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

О.А. Анисимов  
А.Л. Шалыгин

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
ГУ «Главная Геофизическая обсерватория»  
(ФГБУ ГГО)

Е.И. Хлебникова

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

Н.С. Сидоренков  
Б.М. Гинзбург

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

В.А. Юшков  
Г.М. Крученицкий

С участием и при координации Управления научных программ, международного сотрудничества и информационных ресурсов Росгидромета

Начальник УМНС Росгидромета  
Главный специалист-эксперт

В.Г. Блинов  
В.В. Кузнецова

**СОДЕРЖАНИЕ**  
**TABLE OF CONTENTS**

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО .....	4
OPENING ADDRESS	
ВВЕДЕНИЕ .....	6
INTRODUCTION	
1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА .....	8
SURFACE AIR TEMPERATURE	
2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ .....	20
PRECIPITATION	
3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2010/2011 гг. ....	30
SNOWCOVER IN WINTER 2010/11	
4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК .....	40
RIVER FREEZE-UP AND SPRING BREAK	
5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ .....	42
NORTH POLAR REGION	
6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА .....	52
PERMAFROST	
7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .....	58
CLIMATIC AGRICULTURE CONDITIONS	
8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ .....	62
DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS	
9. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ .....	66
SOLAR RADIATION	
10. ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ .....	72
OZONE LAYER	
ВЫВОДЫ .....	79
SUMMARY (in English) .....	82

## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Вы держите в руках новый выпуск “Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2011 году”. Доклад является официальным изданием Росгидромета. Его ежегодная публикация началась пять лет назад в связи со значительным ростом интереса в нашей стране к проблемам климата и его изменений. С тех пор “Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации” стал признанным авторитетным источником информации о состоянии климата на территории Российской Федерации для правительственных кругов, научного сообщества, средств массовой информации и широкой общественности.

“Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации” подготовлен на основе данных государственной наблюдательной сети Росгидромета и содержит сведения об основных особенностях климатического режима на территории Российской Федерации и ее регионов в 2011 году.

В целом, 2011 год в России вошел в пять самых теплых лет за период инструментальных наблюдений, среднегодовая аномалия температуры составила + 1,55 °С. Величина среднегодовой аномалии температуры в России почти в два раза больше аномалии глобальной температуры, что свидетельствует о сохранении большей скорости потепления на территории нашей страны по сравнению с глобальным потеплением. Важной сезонной особенностью года стали теплые весна и лето и очень холодная зима. Очаги холода в зимний период (до -3 .. -4 °С) наблюдались на севере Европейской части России, юге Западной Сибири и в центре Средней Сибири.

Для Северной полярной области 2011 год стал первым по рангу теплых лет за период с 1936 года. Наблюдаемое с начала 1980-х годов сокращение площади морского льда резко ускорилось в конце 1990-х годов, а в сентябре 2011 года площадь льда составила 4,61 млн. км<sup>2</sup>, что является вторым минимальным значением после 2007 года (4,30 млн. км<sup>2</sup>). Теплое лето 2011 года способствовало увеличению в среднем на 10-15% толщины сезонно-талого слоя (СТС) вечной мерзлоты, за исключением Чукотки и Камчатки. Европейский север России характеризуется наибольшим приростом СТС за период наблюдений.

Климатические условия, определившие продуктивность сельского хозяйства России в 2011 году, были в целом более благоприятные по сравнению с засушливым 2010 годом. Но в результате засухи, охватившей юго-восточную часть Европейской России, сельское хозяйство понесло значительные потери по сравнению с высокоурожайным 2008

годом. Значительные территории пострадали от почвенной засухи также в Алтайском крае и Забайкалье.

Пиковые значения размеров и интенсивности озоновой “дыры” над Арктической зоной в 2011 году были более высокими по сравнению с долгосрочными средними значениями. Весенняя аномалия общего содержания озона в высоких широтах Северного полушария была одной из самых значительных за время, более чем полувековых наблюдений. Это дает основание говорить об обострении озоновой проблемы в Арктике.

Хочется надеяться, что представленные в “Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации” результаты мониторинга современного климата на территории Российской Федерации найдут практическое применение в ходе реализации единой государственной политики по адаптации к изменением климата, будут способствовать более эффективному управлению рисками, связанными с экстремальными климатическими явлениями, приводящими к стихийным бедствиям, а также будут стимулировать рациональное использование ценных климатических ресурсов.

Руководитель Росгидромета,  
А.В. Фролов

## 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 2011 году. В частности, приводятся данные об основных климатических аномалиях температуры и осадков, об особенностях радиационного режима и агроклиматических условий, о состоянии снежного покрова, о вскрытии и замерзании рек, об экстремальных погодных и климатических явлениях. Представлены данные о современном состоянии вечной мерзлоты и озонового слоя. Рассмотрены особенности климатических условий в северной полярной области и Северном Ледовитом океане. 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, кончающийся 2011 годом. Временные ряды приводятся, как правило, для средних годовых и сезонных аномалий рассматриваемых величин, осредненных по всей территории России и по территории избранных регионов (рис.1, рис.2).

Впервые в Докладе приводятся временные ряды аномалий температуры и осадков, осредненных по территории Федеральных округов РФ.



Рисунок 1 – Физико-географические регионы России, рассматриваемые в Докладе

Все оценки, приведенные в Докладе, получены на основе данных гидрометеорологических наблюдений на станциях государственной наблюдательной сети Росгидромета (ссылки на списки используемых станций приведены в соответствующих разделах Доклада). Аномалии определены как отклонения наблюдаемых значений от нормы, за которую принято многолетнее среднее за базовый период (1961-1990 гг.).



**Рисунок 2 – Федеральные округа Российской Федерации**

Доклады за предыдущие годы можно найти на Интернет-сайте Росгидромета <http://www.meteorf.ru>. Дополнительная информация о состоянии климата на территории России и бюллетени оперативного мониторинга климата регулярно размещаются на веб-сайтах НИУ Росгидромета: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (<http://climatechange.ru>), ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://www.meteo.ru/climate>), ФГБУ «Гидрометцентр России» (<http://meteoinfo.ru>, <http://seakc.meteoinfo.ru>), ФГБУ «ГГО» (<http://voeikovmgo.ru>), ФГБУ «ААНИИ» (<http://www.aari.ru/main.php>).

## 1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

*Данные.* Приводимые ниже оценки получены по данным наблюдений о температуре приземного воздуха месячного разрешения на сети 455 метеостанций России, стран СНГ и Балтии (каталог станций см. на сайте <http://climatechange.su>), из которых 310 станций расположены на территории РФ.

Наряду с полями точечных оценок (в точках расположения станций), рассматриваются их региональные обобщения для всей территории России, для избранных регионов (рис. 1) и федеральных округов РФ (рис.2). Аналогично, наряду с месячными данными, приводятся усредненные оценки для календарных сезонов и года в целом. Зимний сезон включает декабрь предыдущего года. Среднегодовые значения относятся к календарному году, т.е. к интервалу времени с января по декабрь рассматриваемого года.

Пространственное осреднение выполняется по стационарным данным об аномалиях климатических переменных с использованием двухступенчатой процедуры. На первом этапе территория региона покрывается регулярной сеткой (разрешением 2.5 градуса широты на 5 градусов долготы), и в каждой ячейке сетки рассчитывается среднее арифметическое из значений аномалий на попавших в эту ячейку станциях. На втором этапе выполняется взвешенное осреднение «ячеечных» средних с весами, пропорциональными площади пересечения ячейки с территорией региона.

Аналогичным образом, по данным о стационарных «нормах» (средних многолетних за базовый период) для каждого региона рассчитываются «региональные нормы». Регионально осредненные значения самих климатических переменных рассчитываются суммированием «региональных норм» и «региональных аномалий» (этот алгоритм уменьшает смещение оценок, вызываемое пропусками в рядах наблюдений).

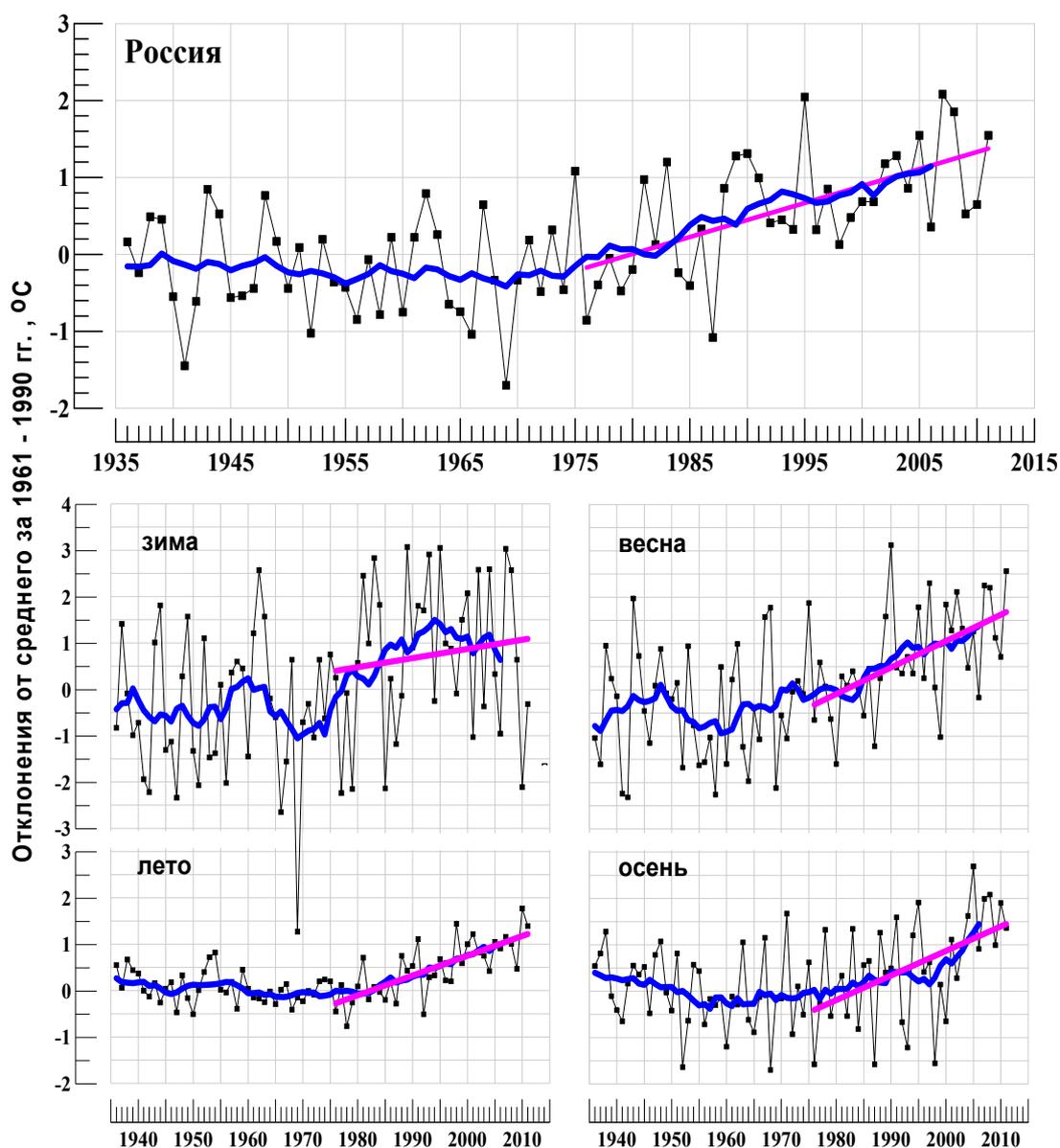
Оценки условий 2011 года получены по данным стационарных сводок КЛИМАТ, своевременно поступивших по каналам связи в оперативном потоке (354 из числа 455 используемых станций, в том числе 262 из 310 российских станций). Данные о внутримесячных изменениях температуры в очагах крупных аномалий приведены на основе 8-срочных наблюдений, поступающих по каналам связи в виде сообщений СИНОП (каталог станций см. на сайте <http://www.meteo.ru>).

### *Особенности температурного режима в 2011 г.*

В среднем по территории России, среднегодовая температура приземного воздуха в 2011 году превысила норму 1961-1990 гг. на 1.55°C. Ход средних годовых и сезонных аномалий температуры, осредненных по территории России, приведен на рис. 1.1. Можно видеть, что 2011 год вошел в пятерку самых теплых лет, повторив температуру 2005 г. Более теплыми были рекордный 2007 год (+2.08 °C) и следующие за ним 1995 и 2008 гг. (соответственно, +2.05 и +1.86 °C).

Из сезонов, в целом по России, выделяются экстремально теплые весна (+2.56 °C) и лето (+1.40 °C). Весна оказалась второй после 1990 г. (+3.12°C), а лето – третьим, после уникального 2010 года и вплотную к 1998 г. (соответственно, +1.78 и +1.45 °C).

Пространственные распределения средних годовых и сезонных аномалий температуры 2011 года представлены на рисунке 1.2 в форме поля изолиний. «Пустыми» ромбами указано местоположение станций, на которых осуществились 5%-ые экстремумы (соответствующие отрицательные аномалии ниже 5-го перцентиля, а положительные – выше 95-го перцентиля; значения перцентилей были получены для каждого месяца/сезона/года и для каждой станции по данным за 1936-2010 гг.). Залитый ромб соответствует «рекордному» экстремуму (т.е. осуществившемуся впервые с 1936 года).



**Рисунок 1.1** – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), осредненные по территории РФ, 1936-2011 гг.

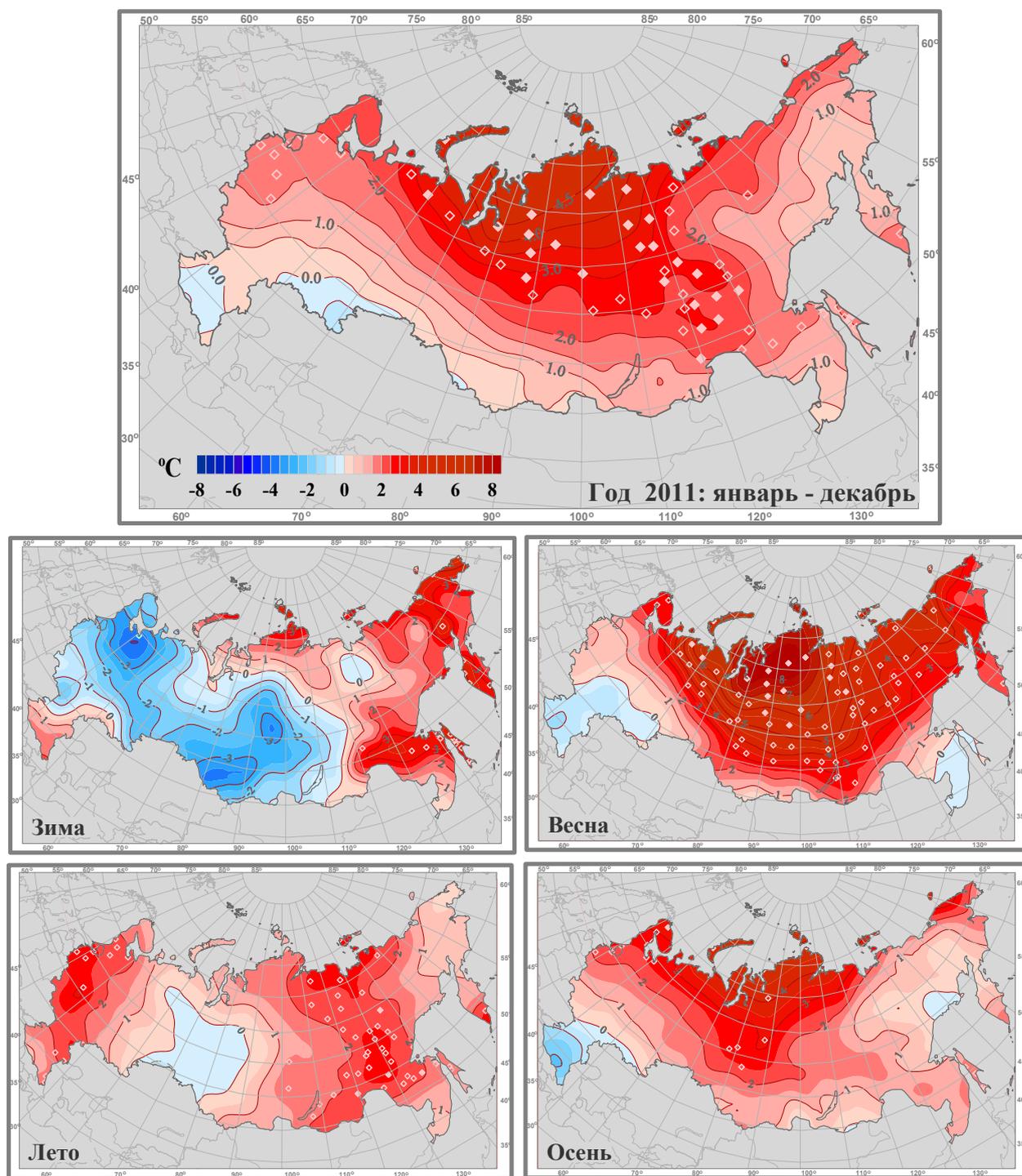
*Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2011 гг.*

В поле среднегодовых аномалий (верхний фрагмент рис. 1.2) выделяется большая область положительных аномалий температуры, охватившая почти всю территорию России, с очагом максимальных аномалий в Таймырском АО (около  $5^{\circ}\text{C}$ ). Слабые отрицательные аномалии температуры отмечались лишь в крайних южных районах Европейской части России и Западной Сибири.

Высокая пространственная связность наблюдаемых аномалий, их повышенная интенсивность и большая пространственная протяженность характерны как для поля среднегодовых аномалий, так и для полей весеннего и осеннего сезонов. Летом эта область разделяется областью слабых отрицательных аномалий над Западной Сибирью.

В дополнение к точечным оценкам на рис.1.2 в таблице 1.1 приведены количественные данные об аномалиях температуры, осредненных по площади шести крупных физико-географических регионов России, восьми Федеральных округов РФ и территории России в целом (границы регионов приведены на рис. 1 и 2 Введения). Для

каждого региона в таблице приведены региональные значения аномалии (средние за год и за каждый сезон) и их ранги в ряду за 1936 – 2011 гг. (ранг 1 означает, что текущее значение – максимальное в ряду наблюдений и осуществилось в 2011 г. впервые с 1936 г.). Данные таблицы 1.1 характеризуют региональные особенности температурных условий в целом для территории региона.



**Рисунок 1.2** – Поля аномалий средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2011 г. (отклонения от средних за 1961-1990 гг.) с указанием локализации экстремальных аномалий.

*Ромбами показаны станции, на которых наблюдаемая температура оказалась ниже 5-го или выше 95-го перцентиля. Станции, на которых температура 2011 года оказалась рекордной, отмечены залитым ромбом.*

**Таблица 1.1** – Средние годовые и сезонные аномалии температуры приземного воздуха, осредненные по территории России, ее регионов и Федеральных округов в 2011 г.:  $\nu T_{2011}$  - отклонения от средних за 1961-1990 гг. (°C); **R** – ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936-2011 гг.

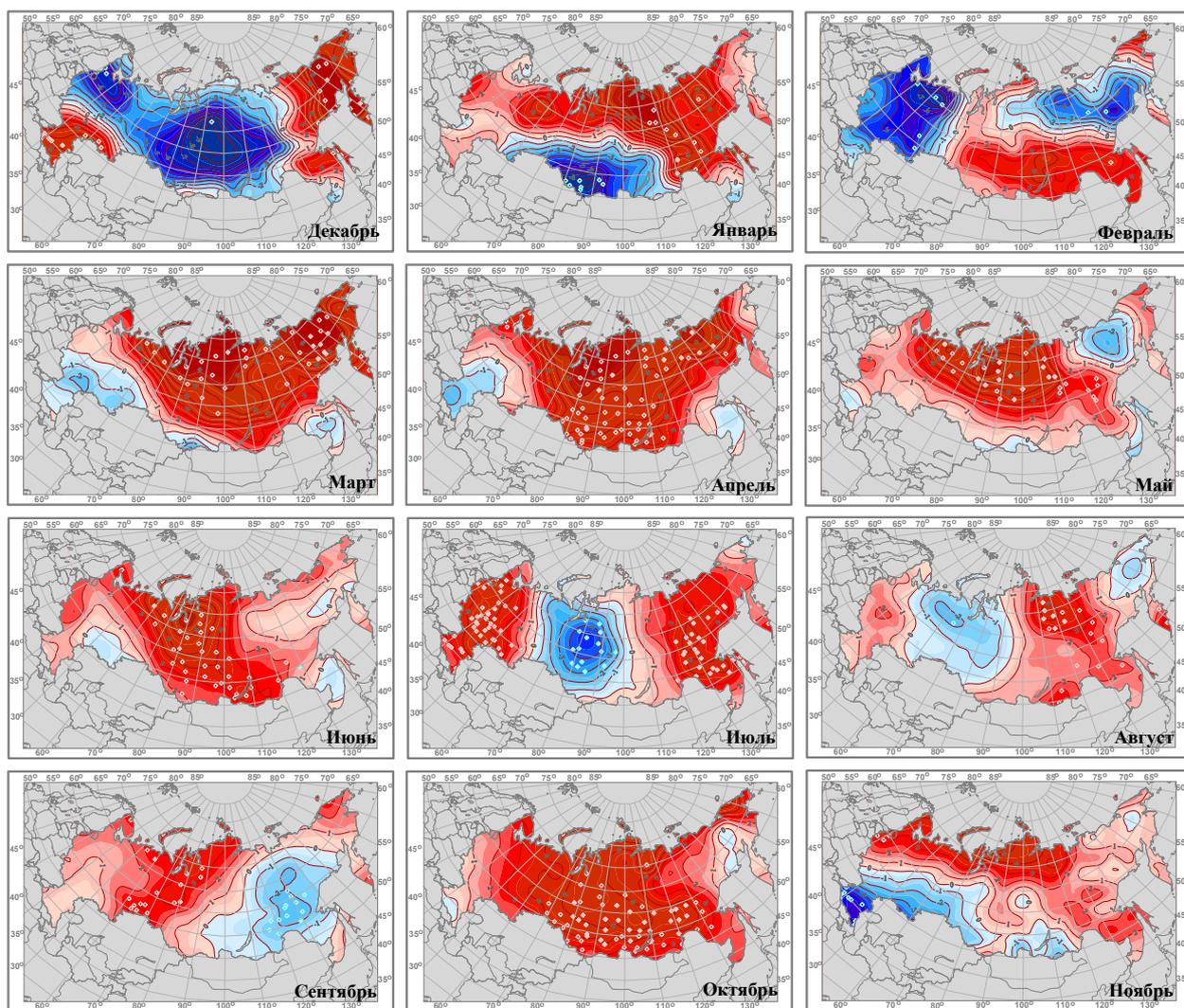
Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\nu T_{2011}$	R								
<b>Российская Федерация (РФ)</b>										
	1.55	5	-0.31	47	2.56	2	1.40	3	1.36	9
<b>Физико-географические регионы России</b>										
Европейская часть РФ	0.97	16	-1.40	58	0.70	22	1.73	7	0.97	19
Западная Сибирь	1.51	8	-1.87	59	3.33	3	-0.02	43	2.10	8
Средняя Сибирь	<b>2.62</b>	1	-0.53	50	4.79	2	1.62	4	2.03	13
Прибайкалье и Забайкалье	1.43	7	-0.51	46	2.51	5	1.78	4	0.92	18
Приамурье и Приморье	<b>1.51</b>	3	2.65	5	0.48	26	1.84	1	1.36	9
Восточная Сибирь	1.40	8	1.93	8	3.23	4	1.63	3	0.72	36
<b>Федеральные округа РФ</b>										
Северо-Западный	1.93	5	-2.53	66	2.30	6	1.66	8	<b>2.42</b>	3
Центральный	1.32	12	-1.30	50	0.58	25	2.58	5	1.05	15
Приволжский	0.30	31	-1.18	54	-0.08	39	1.32	13	0.62	31
Южный	0.10	34	-0.01	38	-0.71	48	1.96	6	-0.87	58
Северо-Кавказский	-0.15	45	1.39	18	-0.74	51	1.36	11	-1.74	71
Уральский	1.94	8	-1.24	52	3.78	3	0.01	45	2.29	9
Сибирский	1.69	5	-1.60	57	3.53	3	1.03	7	1.72	13
Дальневосточный	<b>1.79</b>	3	1.88	8	2.86	2	1.84	2	1.11	22

*Примечание.* Жирным курсивом выделены положительные аномалии, попавшие в число трех наибольших значений (ранг 1, 2 или 3).

Для более детальной характеристики изменений температурных условий в течение 2011 года (от месяца к месяцу), на рис. 1.3 приведены поля аномалий среднемесячной температуры, сгруппированные по сезонам (с декабря 2010 г. по ноябрь 2011 г.). На рис. 1.4 дополнительно приведены данные о температуре в декабре 2011 г.

Представленные оценки формируют следующее общее представление об особенностях температурного режима на территории России в 2011 г. (числовые значения региональных аномалий приведены в табл. 1.1 и в тексте, как правило, не дублируются).

**Зима.** В поле сезонных аномалий температуры (рис. 1.2) обширная трехцентровая область холода протянулась от северо-западных границ России до Забайкалья с аномалиями до  $-4.8^{\circ}\text{C}$  (Архангельская обл.) и  $-4.4^{\circ}\text{C}$  (Алтайский край и Эвенкия). На большей части Дальневосточного региона, в Таймырском АО и на Северном Кавказе зимний сезон, напротив, был теплым, с 95%-ми экстремумами тепла на отдельных станциях в Приморье, на Камчатке и Чукотке. Соответственно, регионально осредненные аномалии температуры зимнего сезона (табл. 1.1) были отрицательными во всех рассмотренных регионах и федеральных округах, кроме Приамурья и Приморья, Восточной Сибири, и Дальневосточного ФО. Однако ни в одном из них аномалия не была значительной (не вошла даже в число 10 минимальных), в отличие от положительных аномалий во всех трех отмеченных регионах, которым соответствуют ранги 5, 8, 8.



**Рисунок 1.3** – См. Рис. 1.2, но для среднемесячных аномалий (с декабря 2010 г. по ноябрь 2011 г.)

Межмесячные различия внутри сезона (рис. 1.3) оказались этой зимой весьма заметными. Самым холодным месяцем (притом похожим по пространственному распределению аномалий на сезонную зимнюю карту) был декабрь, тогда как температурные условия января и февраля оказались во многом взаимно противоположными. В результате, несмотря на наличие в каждом из этих месяцев существенных аномалий, их вклад в сезонные средние оказался не столь значительным.

В декабре 2010 г. огромная территория от западной границы России (кроме южных областей европейской части РФ) до среднего течения Лены занята одной областью холода с двумя обширными очагами, охватившими северо-запад Европейской части России (ЕЧР) и Западную и Среднюю Сибирь. В центрах очагов декабрьские аномалии температуры достигли  $-7.1^{\circ}\text{C}$  на территории ЕЧР и  $-10^{\circ}\text{C}$  и более в междуречье среднего течения Енисея и Лены. Положительные аномалии отмечались лишь на юге ЕЧР и в Восточной Сибири. В отдельных районах Магаданской области, Чукотского АО и Камчатского края наблюдались аномалии выше  $+10^{\circ}\text{C}$ , а на 38 станциях температура превысила 95-ый процентиль.

В январе область холода располагалась лишь на юге азиатской части России, от Южного Урала до Забайкалья (аномалии достигали  $-9.6^{\circ}\text{C}$ ). Остальная территория от западной границы России до Дальнего Востока (включая центральные районы ЕЧР, Средний и Северный Урал и Якутию) находилась в области тепла. Наибольшие аномалии наблюдались в Якутии (до  $+10.1^{\circ}\text{C}$ ). В феврале, напротив, две обширных области холода

охватили европейскую территорию, включая Урал (аномалии до  $-8.4^{\circ}\text{C}$ ) и север Якутии, Магаданскую область и Корякский АО (аномалии до  $-5.9^{\circ}\text{C}$ ), а вся южная полоса азиатской территории (от Якутии до Сахалина) была занята областью тепла.

**Весна.** Весенний сезон на территории России (рис. 1.2) был очень теплым и, в отличие от зимы, необычно однородным внутри сезона и по территории (рис.1.3). Во все три весенних месяца обширная область тепла занимала почти всю территорию страны, за исключением сравнительно небольших районов в Приморье и в Алтайском крае (в марте), на южной территории ЕЧР (в марте-апреле) и на северо-востоке Якутии и в Магаданской области (в мае). Три месяца подряд сохранялись крупные положительные аномалии температуры на северо-востоке европейской территории и на большей части Западной и Средней Сибири. В Таймырском АО сезонные аномалии температуры на отдельных станциях достигали  $+9.3^{\circ}\text{C}$ .

В 2011г. средняя температура весеннего сезона оказалась выше 95-го перцентиля на 88 станциях России. Для среднемесячной температуры значения выше 95-го перцентиля осуществились в марте на 48 станциях, в апреле – на 78 и в мае – на 37 станциях. Из них на 11, 11 и 15 станциях, соответственно, были обновлены абсолютные максимумы,.

Средняя по территории России аномалия температуры весеннего сезона составила  $+2.56^{\circ}\text{C}$  (вторая после весны 1990 г. с аномалией  $+3.12^{\circ}\text{C}$ ). Из регионов выделяются: Средняя Сибирь с рекордно теплой весной (ранг 1), Приамурье и Приморье (ранг 3). Экстремально теплой весна была также в Дальневосточном ФО (ранг 2), в Уральском и Сибирском ФО (ранг 3).

**Лето.** Лето было теплым практически на всей территории ЕЧР и Восточной Сибири (к востоку от Енисея). Слабые отрицательные аномалии (до  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ) наблюдались лишь на территории Западно-Сибирской низменности. На многих станциях Северо-Западного ФО и Дальневосточного ФО (Якутия, Хабаровский край, Амурская обл.) наблюдались экстремальные сезонные аномалии выше 95-го перцентиля (рис. 1.2).

В среднем по территории России сезонная аномалия температуры составила  $+1.40^{\circ}\text{C}$  (ранг 3, после 2010 и 1998 гг.). Регионально осредненные аномалии оказались экстремально высокими в регионах: Приамурье и Приморье (ранг 1) и Восточная Сибирь (ранг 3). В остальных регионах, кроме Западной Сибири, это лето вошло в число 7 самых теплых сезонов с 1936 года. В Дальневосточном ФО лето 2011 года оказалось на втором месте (табл. 1.1).

Из месяцев самым теплым (в среднем по территории России) оказался июнь, когда большую часть территории страны занимала одна область положительных аномалий температуры с очагом в Западной Сибири (Ямало-Ненецкий АО) (рис. 1.3). В центре этого очага, в районе Обской губы, аномалии достигали  $+8.4^{\circ}\text{C}$ . На 55-ти станциях в этой области зафиксированы 95%-е экстремумы, на десяти из них значения температуры июня 2011 года оказались рекордными.

Распределение аномалий температуры в июле по конфигурации очень похоже на распределение сезонных аномалий, но отличается интенсивностью. Как и в сезонном поле, две области крупных положительных аномалий на ЕЧР и в Восточной Сибири разделены обширной областью отрицательных аномалий в Западной и Средней Сибири. Однако в июле аномалии намного более значительны. На ЕЧР отмечены аномалии до  $+5.6^{\circ}\text{C}$ ; на 53-х станциях наблюдались 95%-ые экстремумы. В Восточной Сибири на 42 станциях аномалии превысили 95-й перцентиль, при том что половина из них перекрыла станционные абсолютные максимумы. Наконец, в области отрицательных аномалий на восьми станциях значения температуры воздуха в июле оказались рекордными минимумами, а еще на 8 станциях зафиксированы экстремумы ниже 5-го перцентиля.

В августе области положительных аномалий (на ЕЧР и в Восточной Сибири) чередовались с областями отрицательных аномалий (в Западной Сибири и на Чукотке), так что в среднем по территории России месяц был более прохладным. Область экстремального тепла сохранилась в Восточной Сибири: на 43-х станциях аномалии превысили 95-й процентиль и шесть из них оказались выше рекордных максимумов.

**Осенью** положительные аномалии температуры занимали практически всю территорию страны, кроме южных районов ЕЧР и северных районов Хабаровского края (рис. 1.2). Очень тепло было на побережье Карского моря (до  $+4.2^{\circ}\text{C}$ ). Немногочисленные сезонные экстремумы наблюдались на северо-западе ЕЧР, в Западной Сибири, на Сахалине.

Самым теплым месяцем осени, в среднем для территории России, был октябрь (аномалия  $3.06^{\circ}\text{C}$ , ранг 3), когда почти вся территория страны находилась в области положительных аномалий температуры (рис.1.3). Максимум (до  $+6.5^{\circ}\text{C}$ ) наблюдался в междуречье Оби и Енисея. На 86-ти станциях температура попала в число 5% самых теплых октябрей за период наблюдений. Небольшие области со слабыми отрицательными аномалиями температуры располагались на востоке Якутии, в Магаданской области (до  $-1.2^{\circ}\text{C}$ ), а также в предгорьях Кавказа (до  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ).

В сентябре положительные аномалии температуры наблюдались на севере от западной границы до побережья моря Лаптевых, охватывали всю Западно-Сибирскую низменность. Аномалии температуры в районе между Обской губой и Енисейским заливом достигали  $+3.8^{\circ}\text{C}$ . Область отрицательных аномалий температуры до  $-2.5^{\circ}\text{C}$  с центром на юге Якутии охватывала бассейн Лены, Прибайкалье и Приамурье, Хабаровский край; на 17-ти станциях в этой области температура была ниже 5-го процентиля.

В ноябре область положительных аномалий охватила северную часть страны, вытянувшись вдоль Арктического побережья до Новосибирских островов (аномалии в Таймырском АО достигали  $+6^{\circ}\text{C}$ ). Южные районы оказались в области отрицательных аномалий температуры, достигающих в предгорьях Кавказа  $-6^{\circ}\text{C}$ . На десяти станциях области зафиксированы 5%-е экстремумы.

В декабре 2011 г. (рис. 1.4) самые высокие аномалии среднемесячной температуры воздуха ( $12-14^{\circ}\text{C}$ ) отмечены в Западной Сибири и ЕЧР. На многих станциях этого региона декабрь 2011 г. оказался самым теплым декабрём за период наблюдений. В Архангельске среднемесячная температура составила  $-1.1^{\circ}\text{C}$ , что на  $9.2^{\circ}\text{C}$  выше климатической нормы. Здесь в течение всего месяца даже минимальная температура превышала среднюю за период 1961-1990 гг. максимальную температуру воздуха.

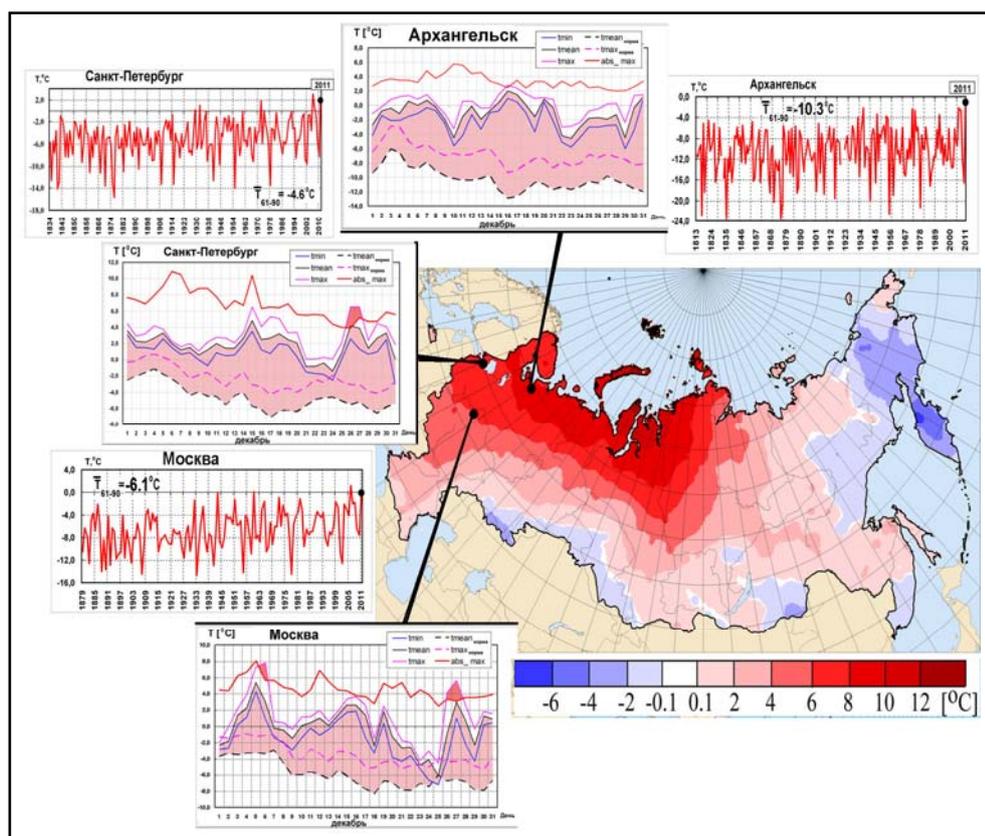
На северо-западе, в центральных областях ЕТР и в Поволжье аномально теплыми оказались последние дни месяца. 26 и 27 декабря были обновлены календарные рекорды максимальной температуры в Москве ( $4.1$  и  $5.8^{\circ}\text{C}$ ) и Санкт-Петербурге (оба максимума  $6.5^{\circ}\text{C}$ ). Предыдущий рекорд в Москве был установлен в 1898 г. ( $3.3^{\circ}\text{C}$ ), а в Санкт-Петербурге – в 1881 году ( $+5.2^{\circ}\text{C}$ ). Температурные рекорды были зафиксированы также в Калининграде, Пскове, Вологде, Твери, Смоленске, Петрозаводске, Костроме, Владимире, Туле, Орле, Брянске, Тамбове, Курске и Липецке.

### ***Тенденции современных изменений температуры воздуха***

В среднем по территории России линейный тренд среднегодовой температуры составляет  $+0.44^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Региональные оценки трендов, полученные по временным рядам регионально осредненных аномалий температуры, приведены в таблице 1.2 для всех рассматриваемых регионов (территория РФ, физико-географические регионы, федеральные округа РФ), а

сами временные ряды приведены рисунках 1.1 (для России в целом) и 1.7, 1.8 (для регионов). На всех временных рядах показан линейный тренд за 1976 - 2011 гг.



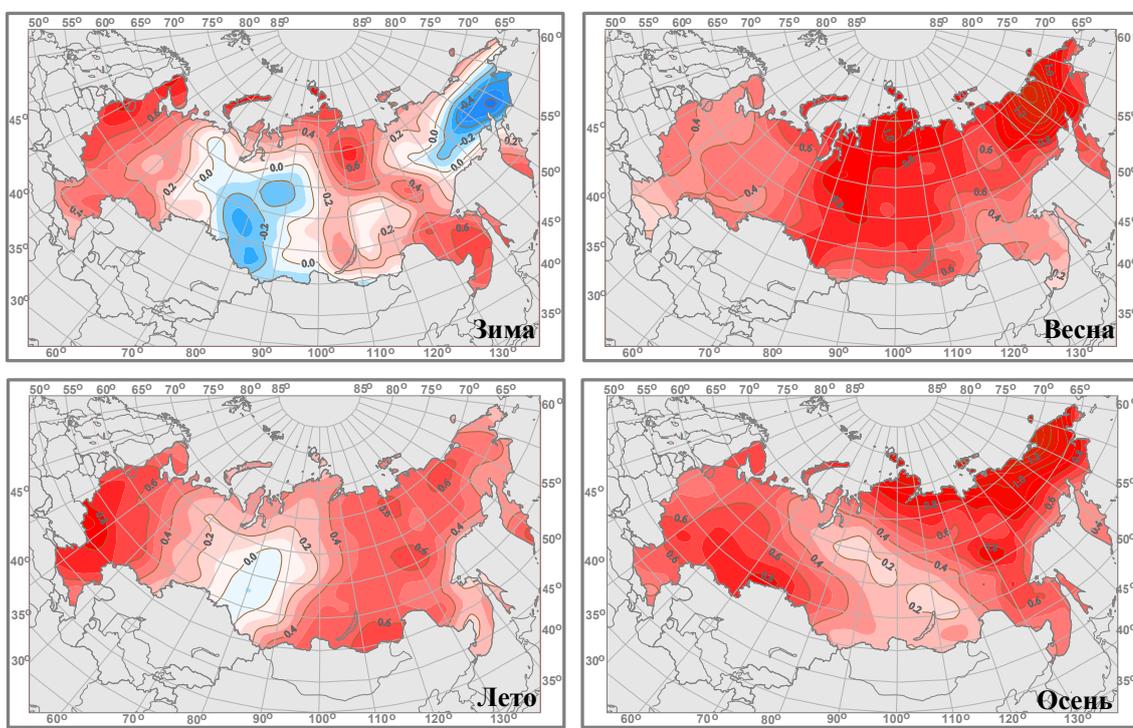
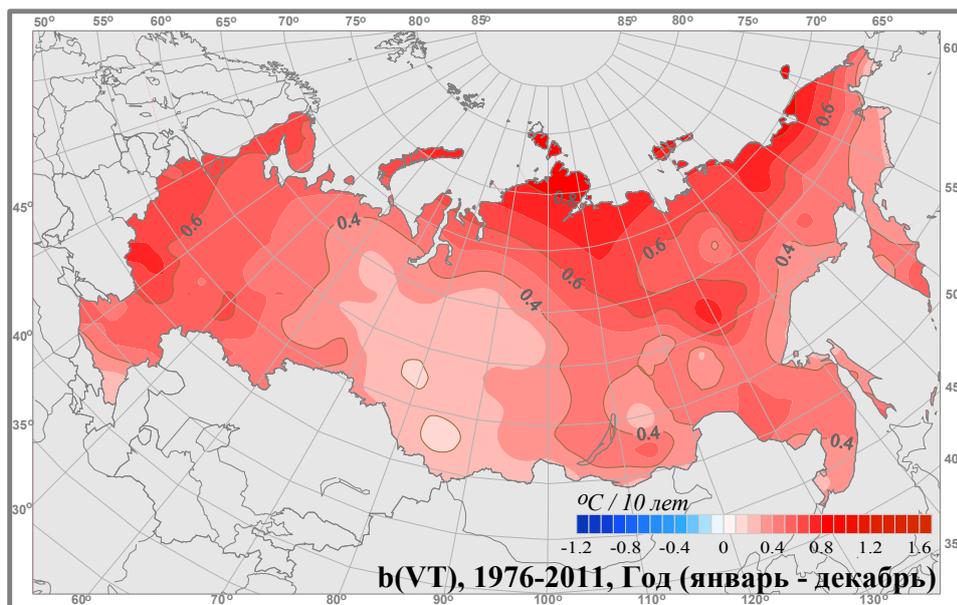
**Рисунок 1.4** – Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2011 г. на территории России.

*На врезках: ряды среднемесячной декабрьской температуры воздуха за период наблюдений и ход среднесуточной температуры воздуха в декабре 2011 г. на метеостанциях Архангельск, Санкт-Петербург, Москва.*

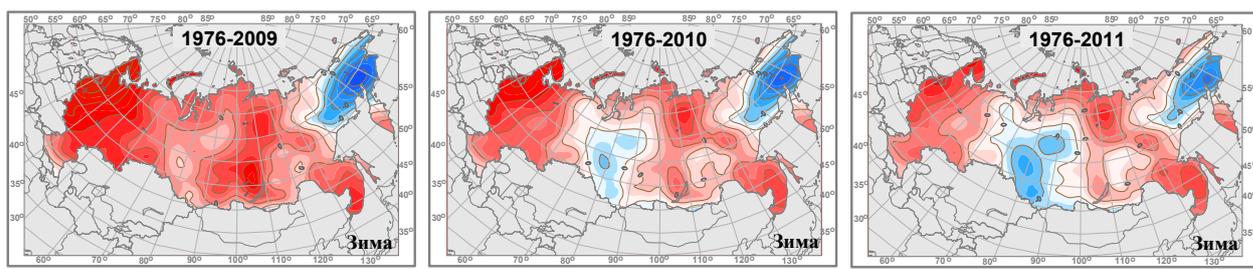
На рисунке 1.5 представлено пространственное распределение коэффициентов линейных трендов температуры воздуха на территории России за 1976-2011 гг. Оценки получены по стационарным временным рядам средних годовых и сезонных аномалий температуры методом наименьших квадратов и выражены в градусах за десятилетие ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет). Напомним, что коэффициенты тренда характеризуют среднюю скорость линейных изменений температуры на рассматриваемом отрезке времени.

Общая картина изменения температуры за период 1976-2011 гг. (рис. 1.5) указывает на продолжающуюся тенденцию к потеплению на всей территории России в среднем за год и практически повторяет картину трендов за 1976-2010 гг. Однако в сезонных распределениях есть определенные различия. Важными сезонными особенностями современных изменений температуры на рисунке 1.5 представляются: тенденция к уменьшению температуры зимой на Чукотке (до  $-0.5^{\circ}\text{C}/10$  лет) и в Западной Сибири (до  $-0.3^{\circ}\text{C}/10$  лет) и обширная область отсутствия трендов в Западно-Сибирской низменности летом (в пределах  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}/10$  лет).

На рисунке 1.6 показаны изменения оценок тренда зимних температур «в динамике», от 2009 к 2011 году. За счет двух последних холодных зим общая картина представленных локальных тенденций несколько меняется (область похолодания на Чукотке несколько смещается от побережья Восточно-Сибирского моря и слабеет, а в Западной Сибири, напротив, похолодание становится заметнее), но для сколько-нибудь уверенных выводов относительно реальности этих изменений необходим более длительный период времени.



**Рисунок 1.5** – Распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976-2011 гг. (в °C/10 лет)



**Рисунок 1.6** – Распределение коэффициентов линейного тренда средней за зимний сезон температуры на территории России за периоды: 1976-2009 (слева), 1976-2010 (в центре) и в 1976-2011 гг. (справа)

Данные табл. 1.2, иллюстрируемые рисунками 1.7, 1.8, подтверждают тенденцию к росту среднегодовой температуры на всей территории России: во всех рассматриваемых регионах линейный тренд среднегодовой температуры положительный. Регионы наиболее интенсивного потепления – Европейская часть России (0.53 °С/10 лет) и Восточная Сибирь (0.51 °С/10 лет). Наиболее интенсивное потепление наблюдается весной (особенно в Сибири), а также осенью в Восточной Сибири: тренд региональной средней +0.79 °С/10 лет и достигает +1.2 °С/10 лет в районе Колымской низменности. Летом наибольшая скорость потепления отмечается в регионе ЕЧР (+0.58 °С/10 лет). Зимой отмечается отрицательный тренд температуры на Чукотке (до -0.6 °С/10 лет). Слабая тенденция к уменьшению температуры в Западной Сибири проявляется зимой (до -0.2 °С/10 лет) и незначительная - летом (до -0.1 °С/10 лет).

**Таблица 1.2** – Оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за год и по сезонам и осредненной по территории России, ее регионов и Федеральных округов за 1976-2011 гг.:  
b – коэффициент линейного тренда (°С/10 лет), D - вклад тренда в дисперсию (%)

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	D	b	D	b	D	b	D	b	D
<b>Российская Федерация (РФ)</b>										
	0.44	36	0.20	2	0.57	29	0.43	56	0.53	25
<b>Физико-географические регионы России</b>										
Европейская часть РФ	0.53	35	0.45	5	0.38	13	0.58	32	0.60	25
Западная Сибирь	0.28	10	-0.12	0	0.64	19	0.09	1	0.45	9
Средняя Сибирь	0.46	21	0.19	1	0.70	22	0.43	31	0.42	7
Прибайкалье и Забайкалье	0.38	24	0.13	1	0.58	19	0.56	44	0.28	6
Приамурье и Приморье	0.42	42	0.54	14	0.29	8	0.34	26	0.51	30
Восточная Сибирь	0.51	39	0.00	0	0.79	32	0.50	46	0.77	37
<b>Федеральные округа РФ</b>										
Северо-Западный	0.53	28	0.53	4	0.41	11	0.50	32	0.55	16
Центральный	0.62	37	0.56	6	0.43	12	0.77	33	0.60	22
Приволжский	0.50	28	0.33	2	0.40	10	0.51	16	0.69	24
Южный	0.54	33	0.47	7	0.30	7	0.75	37	0.59	22
Северо-Кавказский	0.39	26	0.36	9	0.19	6	0.53	30	0.45	15
Уральский	0.33	12	0.01	0	0.60	14	0.16	2	0.47	7
Сибирский	0.33	15	-0.01	0	0.68	24	0.32	28	0.33	6
Дальневосточный	0.50	45	0.23	5	0.62	27	0.47	54	0.66	36

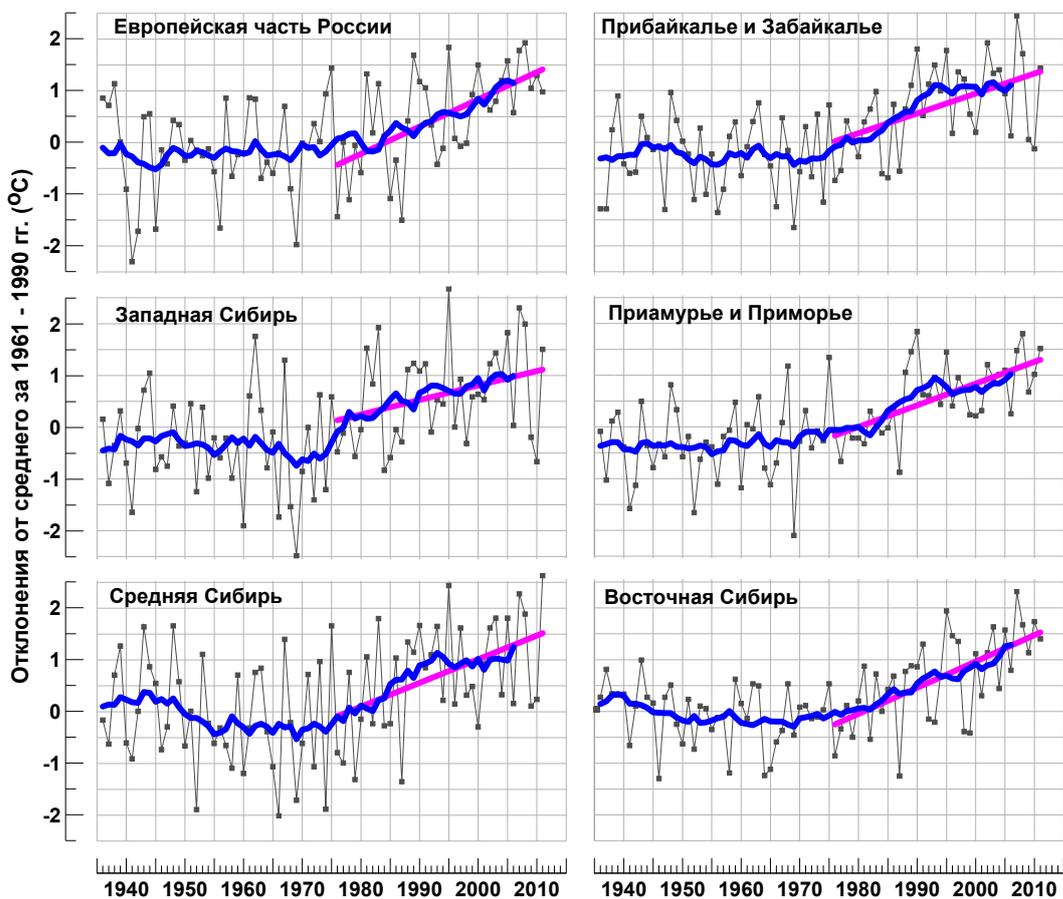


Рисунок 1.7 – Средние годовые аномалии температуры приземного воздуха (°C) для регионов России за 1936-2011 гг. Усл. обозначения см. на рис. 1.1.

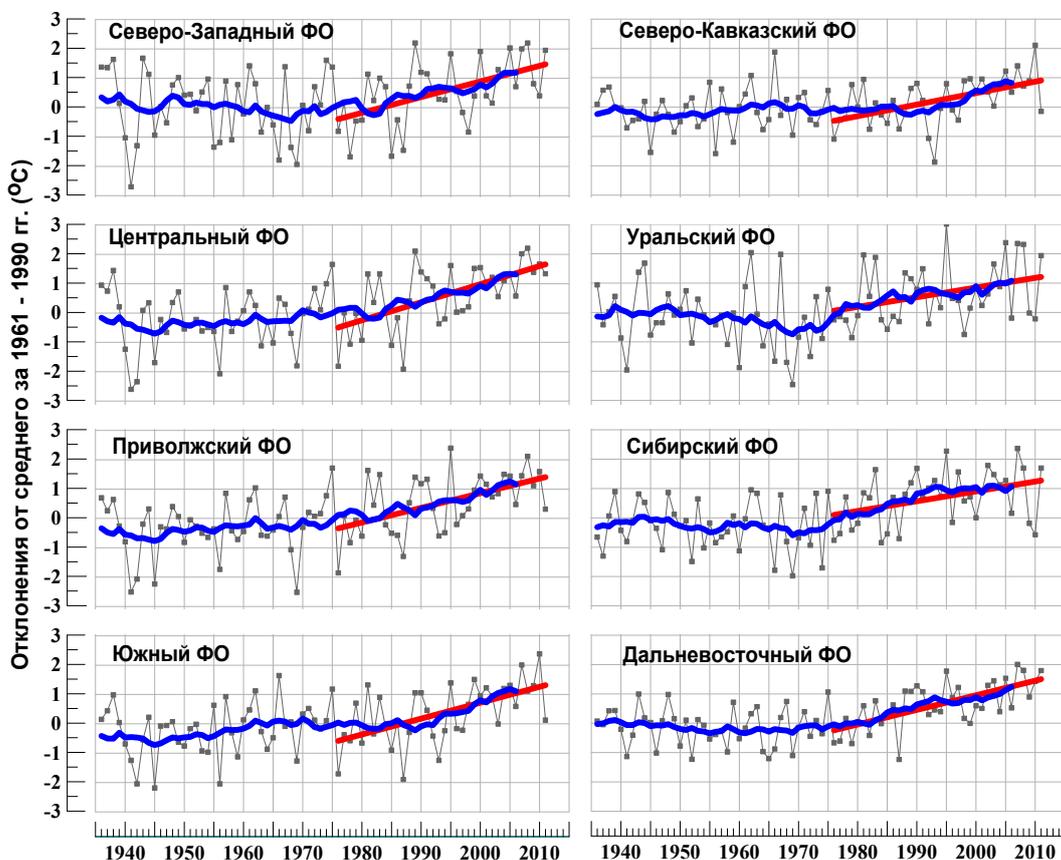


Рисунок 1.8 – См. рис. 1.7, но для федеральных округов РФ.

**Выводы.** В целом для России 2011 год был теплым – среднегодовая аномалия температуры составила +1.55 °С. Год вошел в пять самых теплых лет за период инструментальных наблюдений, повторив температуру 2005 г. Более теплыми были рекордный 2007 год (+2.08 °С) и следующие за ним 1995 и 2008 гг. (соответственно, аномалии +2.05 и +1.86 °С).

Основными сезонными особенностями года были теплые весна (ранг 2) и лето (ранг 3) и холодная зима. Весной область теплой аномалии с центром на севере Сибири (где величина аномалии превышала +8°С) охватывала весь север и восточную часть страны. Теплыми были все месяцы сезона, особенно апрель. Летом очаги тепла располагались в центре ЕЧР и в Якутии; в регионе Приамурье и Приморье летняя температура перекрывала абсолютный максимум (с 1886 года) второй год подряд.

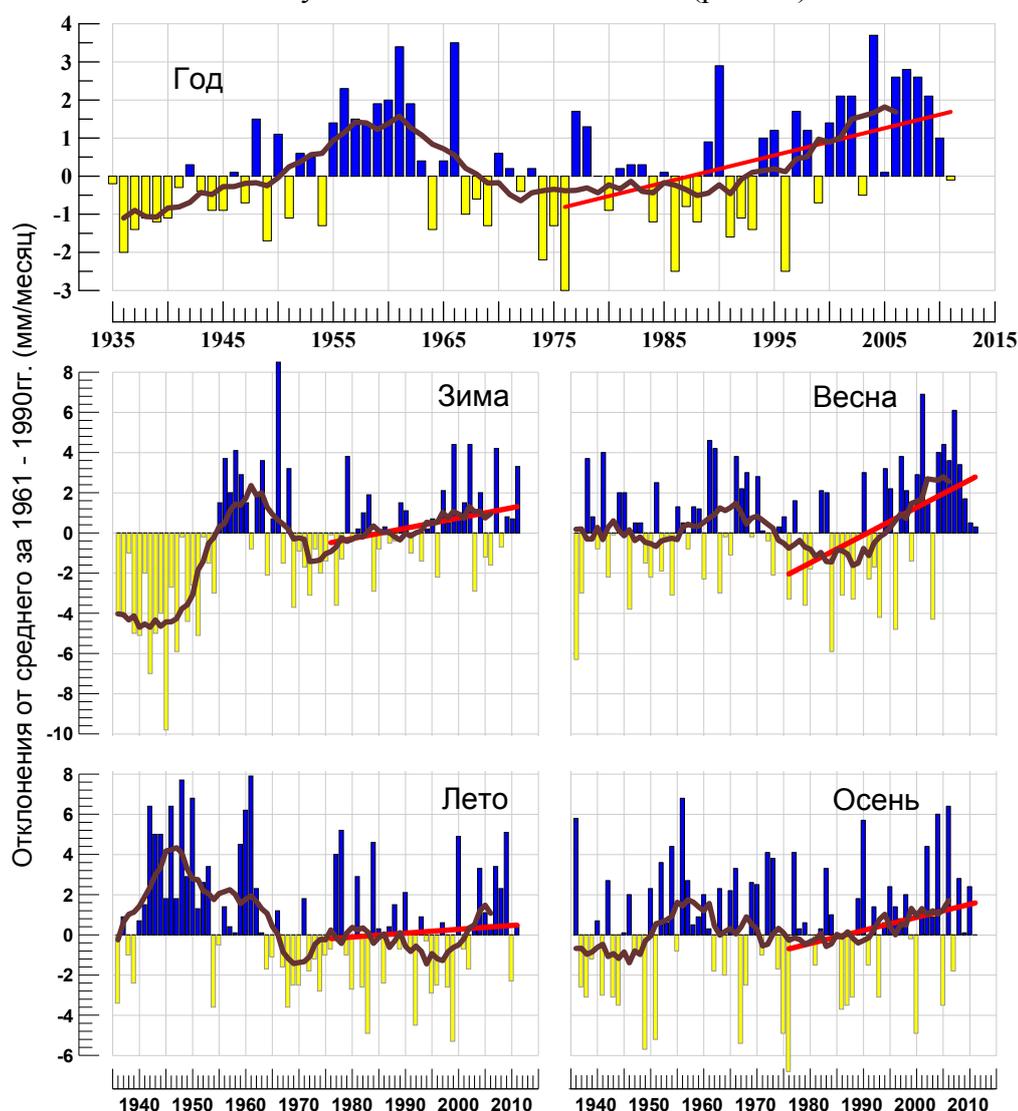
Особенно важной особенностью года представляется холодная зима. Очаги холода (до -3 .. -4°С) наблюдались на севере ЕЧР, юге Западной Сибири и в центре Средней Сибири. Вместе с исключительно холодной зимой предыдущего года зима 2010/11 значительно повлияла на оценки локальных и региональных трендов зимнего сезона. Как и по оценкам 1976-2010 гг., тенденция к похолоданию на территории России обнаруживается в зимний период в северо-восточном регионе (на Чукотке до -0.6 °С/10 лет) и в Западной Сибири (до -0.3 °С/10 лет)

## 2. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

**Данные.** Используются данные базового массива ИГКЭ о месячных суммах осадков на 455 станциях, расположенных на постсоветской территории и включающих 310 российских станций (каталог станций см. на сайте <http://climatechange.su>). За 2011 год использованы оперативные данные 354 станций, своевременно поступившие с каналов связи (из них российских станций 262). Данные усреднены внутри календарных сезонов каждого года и за год в целом. В результате, годовые и сезонные суммы осадков выражены в мм/месяц, т.е. приведены к масштабу месячных сумм осадков. Зимний сезон включает декабрь предыдущего года.

### *Особенности режима осадков в 2011 г.*

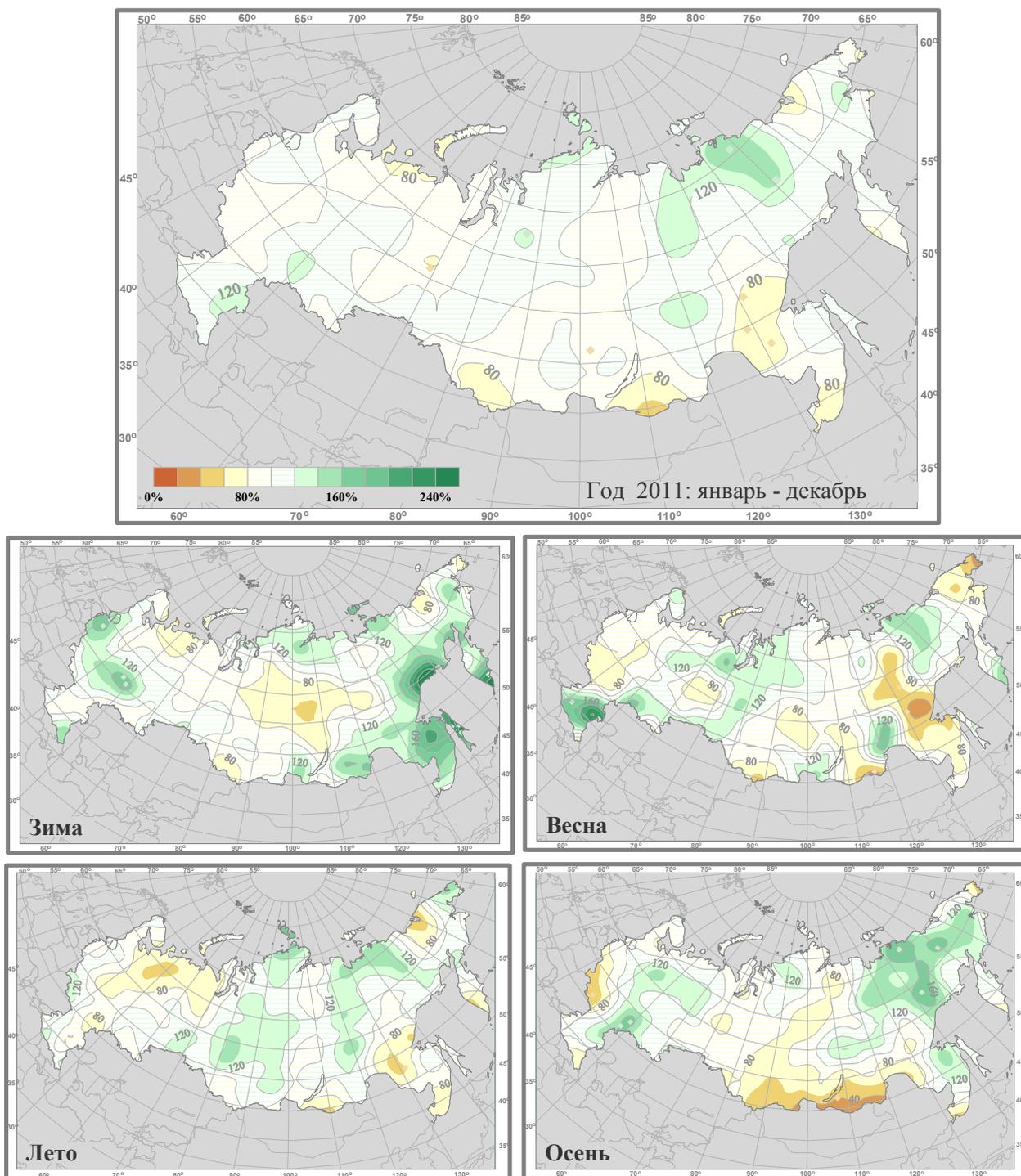
Количество осадков, выпавших в целом за год по всей территории России, в 2011 году было близким к норме (аномалия -0.1 мм/месяц, ранг 44). Это меньше, чем в 2010 году, когда год был 29-м по убыванию осадков с 1936 г. (рис.2.1).



**Рисунок 2.1** – Средние годовые и сезонные аномалии осадков (мм/месяц), осредненные по территории РФ, 1936-2011 гг.

*Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд проведен по данным за 1976-2011 гг.*

Наиболее обеспеченным осадками сезоном для России была зима (ранг 9) за счет декабря 2010 г., который по количеству осадков оказался рекордным декабрем с 1936 года. Географические распределения годовых и сезонных аномалий осадков в 2011 г. представлены на рисунке 2.2 в процентах от соответствующих норм. Внутрисезонные особенности режима осадков видны на рисунках 2.3 – 2.6, где на фоне месячных аномалий показано местоположение станций с 5%- и 95%-экстремумами – значения осадков на этих станциях попали в 5%-ые хвосты соответствующих распределений (ниже 5-го или выше 95-го перцентилей), рассчитанных по периоду 1936-2010 гг.



**Рисунок 2.2** – Поля аномалий годовых и сезонных сумм осадков на территории России в 2011 г. (% от нормы 1961-1990 гг.). Ромбами показано местоположение станций, на которых количество выпавших в 2011 г. осадков (в среднем за год/сезон) оказалось рекордно высоким или рекордно низким за период с 1936 г.

В поле годовых сумм осадков 2011 год (верхний фрагмент рис.2.2) существенных аномалий не было. Лишь на севере Якутии осадки превысили 120% нормы, а в некоторых южных областях Сибири (Амурская область, Забайкалье, Алтай) отмечался дефицит осадков (менее 80% нормы)

В таблице 2.1 приведены количественные данные о пространственно осредненных аномалиях осадков для шести крупных физико-географических регионов России, восьми Федеральных округов РФ и для территории России в целом (границы регионов см. на рис.1, рис.2 введения). Для каждого региона в таблице приведены региональные значения аномалии (средние за год и за каждый сезон) и их ранги за 1936 – 2011 гг. (ранг 1 означает, что текущее значение – максимум, осуществившийся в 2011 г. впервые с 1936 года). Аномалии, попавшие на одно из трех первых или трех последних мест по рангу убывания осадков, выделены жирным курсивом.

**Таблица 2.1** – Средние годовые и сезонные аномалии месячных сумм осадков, осредненные по территории России и ее регионов, в 2011 году:  
 $\nu R$  (мм/месяц) - отклонения от средних за 1961-1990 гг.; R – ранг текущих значений в ряду, упорядоченном по убыванию за 1936-2011 гг.

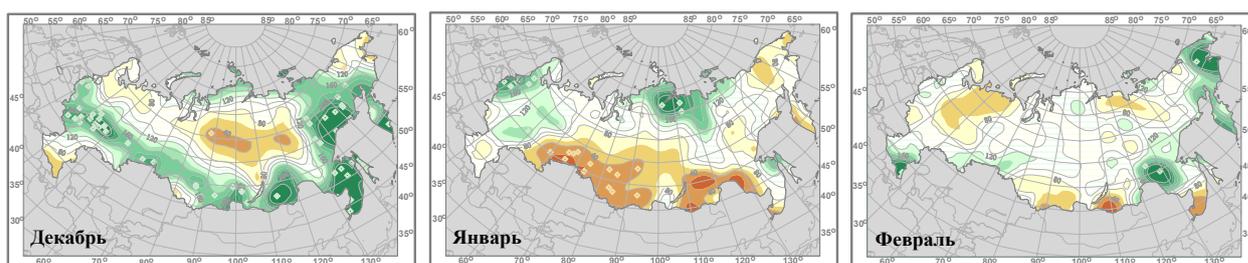
Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\nu R$	R	$\nu R$	R	$\nu R$	R	$\nu R$	R	$\nu R$	R
Российская Федерация (РФ)										
	-0.1	44	3.3	9	0.3	39	0.5	38	0.0	46
Физико-географические регионы России										
Европейская часть России	0.6	38	5.1	15	1.6	34	-3.4	52	1.4	32
Западная Сибирь	-0.4	48	-1.5	44	2.2	32	6.4	23	-3.5	55
Средняя Сибирь	1.4	30	-2.5	60	-0.7	44	9.0	20	-1.3	56
Прибайкалье и Забайкалье	-1.1	57	1.2	24	1.3	29	3.3	29	<b>-7.7</b>	76
Приамурье и Приморье	-3.8	56	<b>11.1</b>	1	-2.7	46	-15.8	62	3.7	22
Восточная Сибирь	-0.4	43	9.4	4	-1.7	43	-3.3	52	6.0	14
Федеральные Округа РФ										
Северо-Западный	0.0	40	3.0	26	-0.2	38	-10.1	61	2.7	24
Центральный	-0.3	53	10.2	11	-11.3	72	-2.0	35	-5.9	49
Приволжский	0.1	29	5.7	16	0.2	43	-3.6	43	7.3	14
Южный	0.4	22	3.1	26	<b>15.7</b>	3	1.2	33	-1.1	43
Северо-Кавказский	0.9	12	4.1	29	<b>22.4</b>	1	15.5	8	-6.1	60
Уральский	0.1	34	-1.1	42	4.4	23	3.2	32	0.2	35
Сибирский	-0.1	61	-1.6	48	-0.3	43	8.1	15	<b>-6.6</b>	76
Дальневосточный	0.0	40	<b>7.3</b>	2	-1.3	47	-3.3	49	4.4	11

*Примечание.* Жирным курсивом выделены положительные аномалии, попавшие в число трех старших экстремумов (максимумов или минимумов).

**Зима** (рис. 2.2, 2.3). По данным табл.2.1, зимой в России наблюдались осадки, превосходящие норму (ранг 9), в основном, за счет избытка осадков в регионах Приамурье и Приморье (1-й ранг) и Восточная Сибирь (4-й ранг).

На большей части Дальневосточного региона, в Таймырском АО зимой наблюдался избыток осадков – на 11 станциях Приморья и Магаданской области зимняя сумма осадков оказалась выше 95% процентиля (в Магадане, Охотске – около 3-х сезонных норм). Много осадков было также на западе и в центре европейской части России (местами больше 140% нормы). На остальной территории количество осадков

было около нормы или незначительно ниже ее (на Среднесибирском плоскогорье, на Чукотке, на побережье Баренцева моря).



**Рисунок 2.3** – Аномалии осадков зимнего сезона: декабрь 2010-февраль 2011 (% от нормы 1961-1990). Ромбы указывают пункты осуществления экстремальных аномалий: открытые ромбы – ниже 5-го или выше 95-го перцентиля; заполненные ромбы - «рекордные» значения (ниже/выше всех ранее наблюдавшихся в данной точке и данном месяце с 1936 г.)

Декабрь 2010 г. оказался рекордным (с 1936 г.) по количеству осадков для России в целом и для региона Восточная Сибирь (1-й ранг). Значительное количество осадков (ранг 5) выпало также в регионах ЕЧР и Прибайкалье и Забайкалье.

В северных районах ЕЧР, Западной и Средней Сибири, а также на Северном Кавказе наблюдался дефицит осадков, который в Архангельской области и в Карелии составил 80-60% нормы, на азиатской территории, в междуречье среднего течения Енисея и Лены – около 60-30% нормы. На остальной территории в декабре выпало исключительно много осадков, с большим числом локальных экстремальных аномалий (на 57 станциях зафиксированы 5%-экстремумы осадков). Область избытка осадков вытянулась полосой, захватившей центральную часть ЕЧР (до 310% нормы), южные районы Западной и Средней Сибири, (до 265% нормы), Прибайкалье и Забайкалье (до 372% нормы), побережье Тихого океана (до 544% нормы). Наибольшее количество осадков выпало в Приамурье и в Магаданской области.

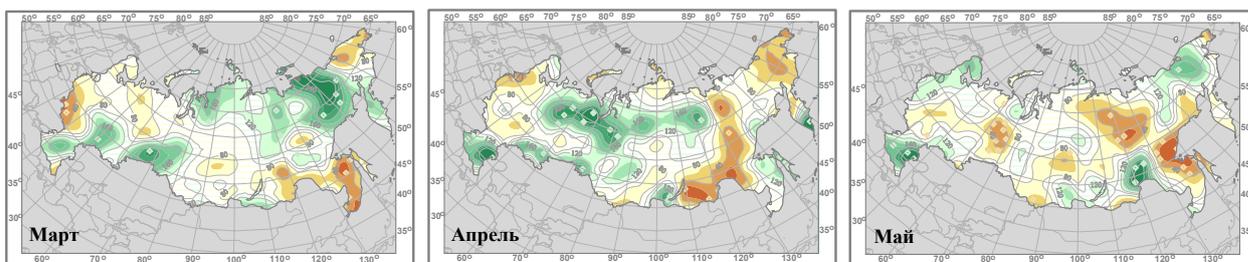
Основная особенность распределения осадков в январе – дефицит осадков на юге Сибири, от Южного Урала до Забайкалья (до 40% нормы осадков). На многих станциях наблюдались осадки ниже 5-го перцентиля. Дефицит осадков отмечался в районе Забайкалья и Приамурья, в Хабаровском крае, на Чукотке, Камчатке (на станции Усть-Хайрюзово выпало 8% месячной нормы осадков – абсолютный минимум с 1936 г.).

На остальной территории осадки января были около нормы или выше нормы, с максимумами в центральных и западных районах европейской территории РФ (до 245% месячной нормы), на Таймыре и на побережье Восточно-Сибирского моря (до 333% нормы), в Приморье и на Сахалине (до 287% нормы).

В феврале много осадков выпало на северо-востоке страны и в бассейне Амура. Для региона Восточная Сибирь февраль оказался третьим среди февралей с наибольшим количеством осадков с 1936 года.

**Весна** (рис. 2.2, 2.4). В течение 3 месяцев наблюдался значительный избыток осадков на юге ЕЧР, где в результате выпало до 2-3 норм осадков, на пяти станциях количество выпавших осадков превысило 95-й перцентиль, в Астрахани выпало около 3 сезонных норм осадков, в Краснодаре и Армавире – около 2 норм. Другие области избытка осадков располагались в бассейнах рек Обь и Индигирка (более 120% нормы) и на западе Амурской области (более 160% нормы).

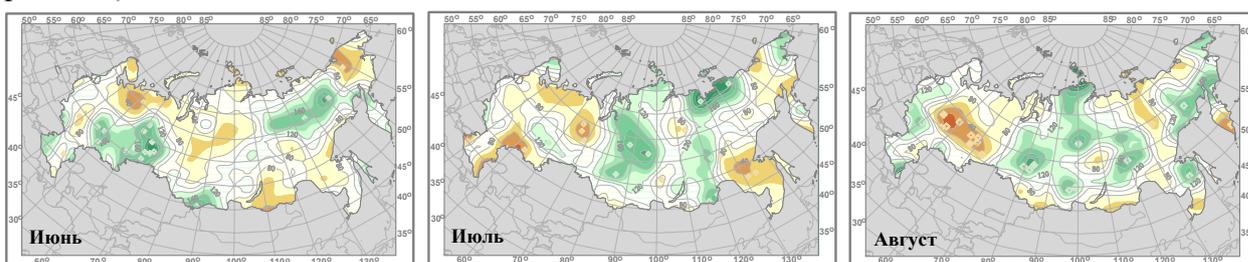
В Западной и Средней Сибири избыток осадков отмечался в марте (120% - 160% нормы) и в апреле. Апрель для Западной Сибири оказался самым влажным месяцем года. Избыток осадков в апреле наблюдался также на юге Иркутской области и в Бурятии (соответственно, до 270% и 317% нормы). На 11-ти станциях количество выпавших осадков было больше 95-го перцентиля, на 4 станциях зафиксированы рекордные максимумы.



**Рисунок 2.4** – См. рисунок 2.3, но для весны

Большая область дефицита осадков располагалась в Хабаровском крае и в Якутии в апреле и мае (на шести станциях количество выпавших осадков было меньше 5-го перцентиля). В апреле дефицит осадков отмечался также в Читинской и Амурской областях, на Чукотке. Май для Восточной Сибири оказался самым сухим месяцем этого года. На 21 станции выпало осадков меньше значения 5-го перцентиля (5%-й экстремум). На станциях Саратовской и Самарской областей и Сибирского ФО в мае зафиксированы засушливые условия.

**Лето** (рис. 2.2, 2.5). Летом на большей части азиатской территории страны наблюдался избыток осадков, в том числе несколько областей с осадками более 120% нормы охватывали обширные бассейны рек Енисея, Лены, Индигирки. Однако на Дальнем Востоке (Чукотский АО и Амурская область) имелись обширные области дефицита осадков, где за лето выпало 80%-60% сезонной нормы осадков. На большей территории ЕЧР также наблюдался дефицит осадков, местами значительный (в северных районах).



**Рисунок 2.5**– см. рисунок.2.3, но для лета

Избыток летних осадков связан с избытком осадков в июле и в августе. Дефицит осадков на севере ЕТР сформировался за счет июня-июля; в Амурской области – за счет июня и августа; в Чукотском АО – в основном, за счет июня.

В июне наблюдались две обширные области избытка осадков (до двух норм и более). Одна из них – в Приволжском ФО и на юге Уральского ФО (на 11 станциях количество выпавших осадков превысило 95-й перцентиль); другая - в центральной части Якутии и в Магаданской области. Области избытка осадков наблюдались также на юго-западе ЕЧР (с центром на Украине), на Алтае. Обширная область дефицита осадков (80%-60% нормы) располагалась в северных областях ЕЧР, Западной Сибири, в Средней Сибири, а также (меньшей протяженности) – в Забайкалье, в Чукотском АО, в Хабаровском крае и Амурской области.

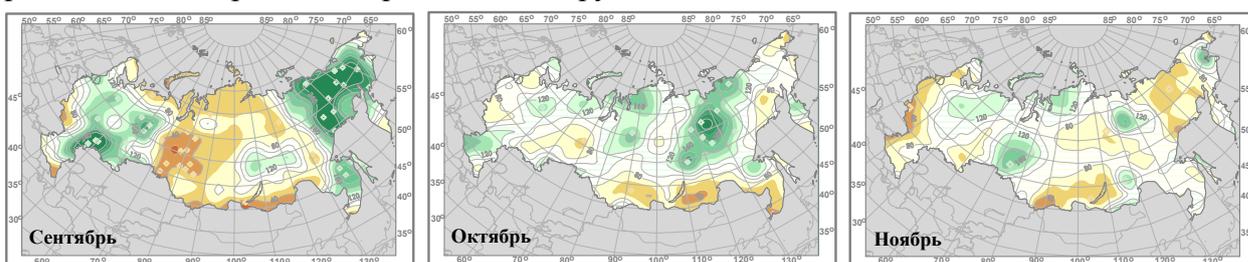
В июле избыток осадков (от 120% до 290% месячной нормы) наблюдался в бассейнах рек Енисея и Лены, на побережье моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Крупная область дефицита осадков охватывала Прикаспийскую территорию и Поволжье (до 20% нормы), северные районы ЕЧР и Западной Сибири, Приамурье и Приморье.

В августе в Центральном и Приволжском федеральных округах располагалась область значительного дефицита осадков (до 20% нормы). На 11 станциях зафиксированы экстремумы ниже 5-го перцентиля (на двух из них – абсолютные минимумы осадков с 1936 года). В Якутии восточнее течения Лены располагалась большая область дефицита осадков (80%-40% нормы), охватившая и побережье Восточно-Сибирского моря.

Небольшие по площади области дефицита осадков располагались на Алтае, в Забайкалье, в Приморском крае, на Камчатке.

Обширная многоцентровая область избытка осадков располагалась в междуречье Оби и Лены. На 12-ти станциях области количество выпавших осадков превысило 95-й процентиль, на трех из них количество выпавших осадков отмечено как рекордное. В Северо-Кавказском ФО на станции Дербент количество осадков составило четыре месячные нормы, а на юге Хабаровского края, в Магаданской области, в Корьякском АО, на Чукотском полуострове – 140%-200% нормы.

**Осень** (рис. 2.2, 2.6). Области избытка осадков (до 140-160% нормы) располагались в Поволжье, Якутии, на Чукотке, в Хабаровском крае (на 9 станциях количество осадков превысило 95-ый процентиль). Дефицит осадков (80%-60%) охватил восточную и южную часть Сибирского ФО (на 11 станциях зафиксирован 5%-ый экстремум) и западные районы вблизи границ с Украиной и Белоруссией.



**Рисунок 2.6** – см. рисунок 2.3, но для осени

Сентябрь оказался очень сухим месяцем в Западной и Средней Сибири. Для Забайкалья и Прибайкалья сентябрь был сухим в течение всех трех месяцев. В целом для региона Забайкалье и Прибайкалье осень 2011 г. стала рекордно сухой с 1936 г. На 22 станциях страны зафиксированы 5% экстремумы. На большей части ЕЧР (среднее Поволжье) и в восточной части Дальневосточного ФО в сентябре месячная норма осадков превышена в 3-4 раза.

### ***Тенденции современных изменений режима осадков***

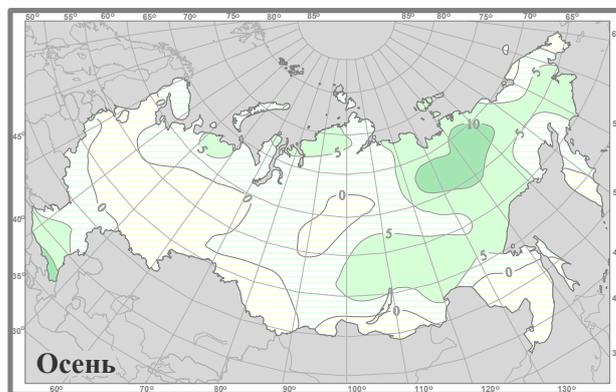
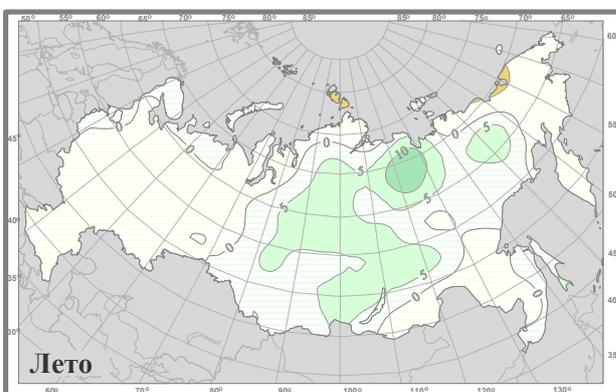
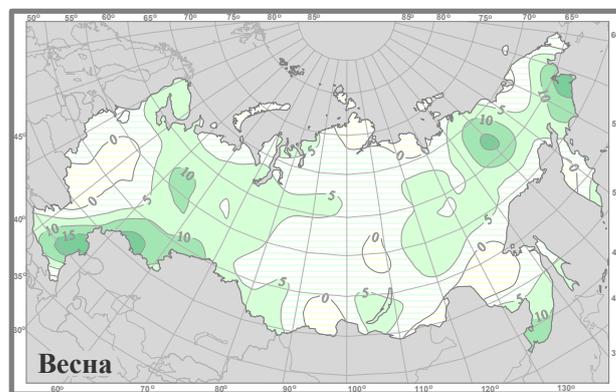
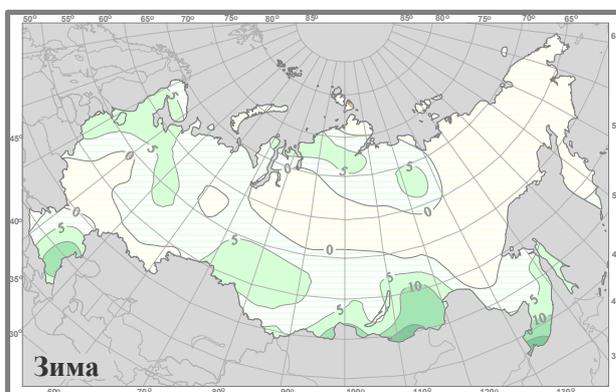
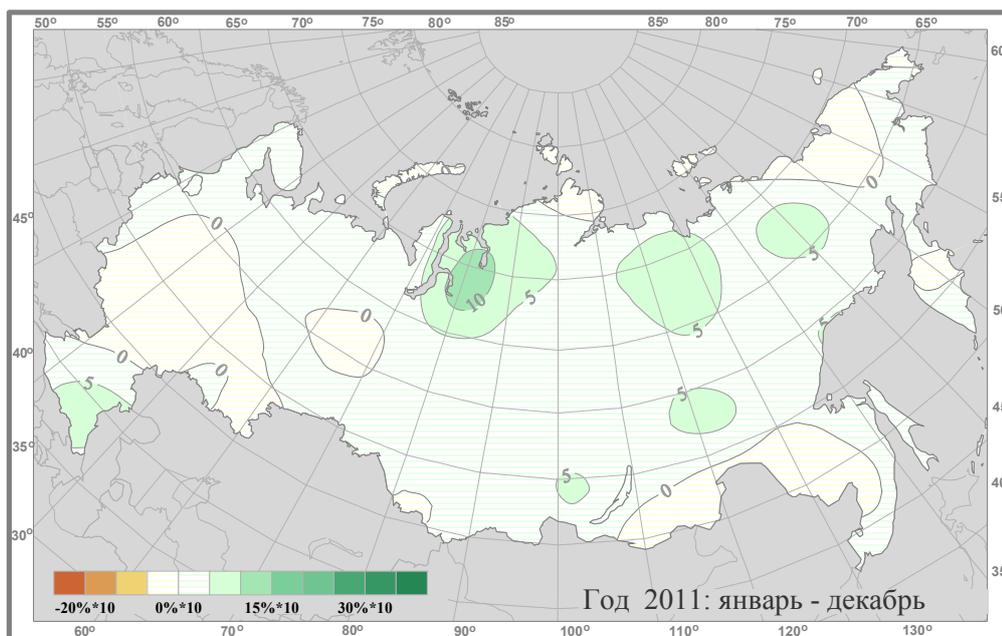
На рисунке 2.7 представлено пространственное распределение коэффициентов линейных трендов атмосферных осадков на территории России для 2011 года в целом и для сезонов года. Оценки получены по стационарным временным рядам годовых и сезонных аномалий осадков за 1976-2011 гг. в точках расположения станций.

Числовые оценки трендов (значения коэффициентов линейного тренда и доля объясненной им дисперсии) для регионально осредненных значений количества выпавших осадков приведены в таблице 2.2. Временные ряды осредненных по территории аномалий осадков (мм/месяц) представлены на рис. 2.2 для России (в среднем за год и за каждый сезон) и на рис. 2.8, 2.9 для регионов России (годовые суммы). Сглаженный ход соответствует 11-летней скользящей средней. На всех временных рядах показаны линейные тренды за 1976 – 2011 гг., оцененные методом наименьших квадратов.

В изменении годовых сумм осадков (рис. 2.7) на территории России преобладает определенная тенденция к росту осадков, хотя вклад тренда в дисперсию существен лишь в Средней Сибири (в целом по региону – 29%). Здесь положительный тренд отмечается во все сезоны, кроме зимы. В районе нижнего течения Лены в июне коэффициент линейного тренда составил около 30% нормы за 10 лет.

Преимущественно положительный тренд наблюдается и в отдельные сезоны: весной – на большей части территории страны (особенно в марте в районе Прикаспийской низменности, на Южном Урале и на Дальнем Востоке); осенью – в Восточной Сибири (особенно в сентябре в Якутии).

Уменьшение осадков в течение 1976-2011 гг. отмечено лишь зимой в Восточной Сибири и летом – на территории ЕЧР, на Чукотке и Камчатке

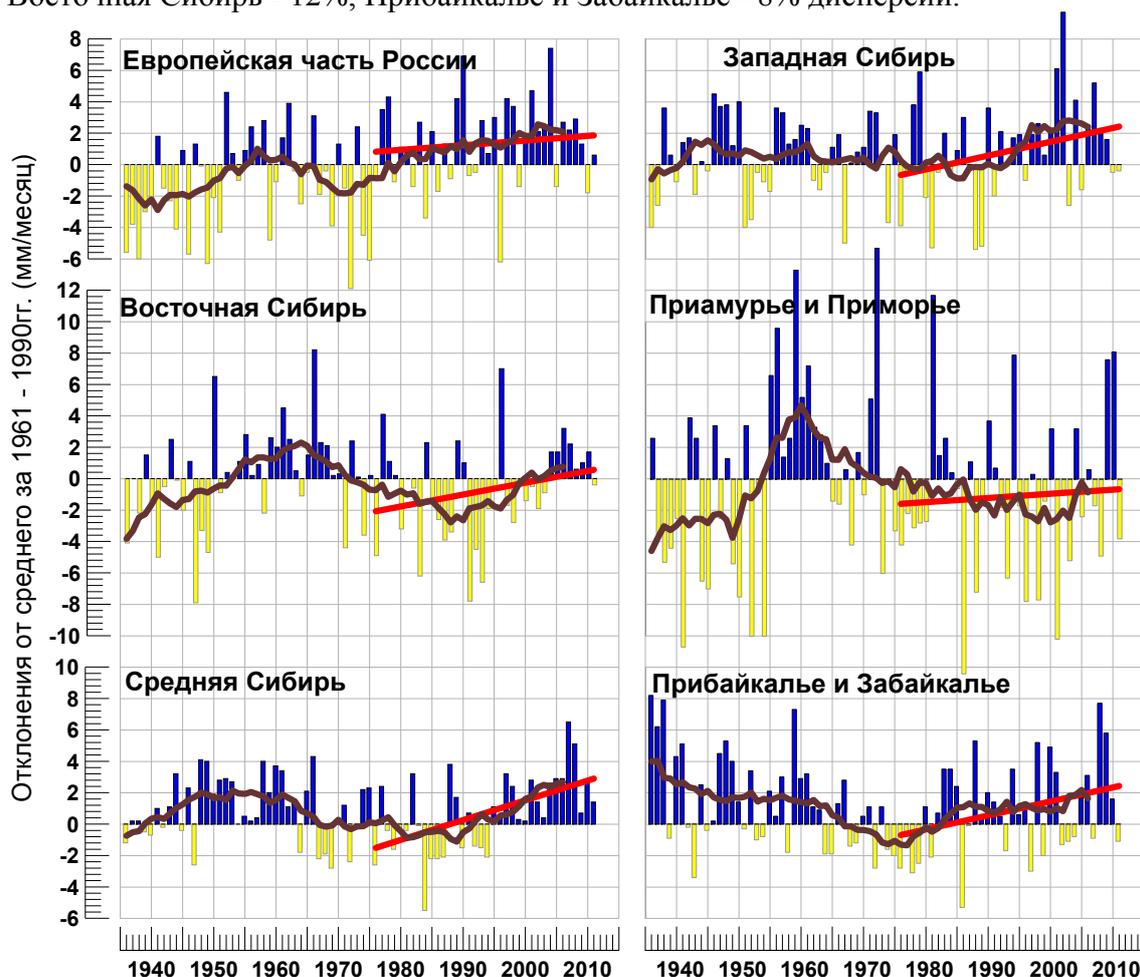


**Рисунок 2.7** – Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за 1976-2011 гг. на территории России (% от нормы за 10 лет).

Региональные оценки трендов (табл. 2.2) согласуются с распределениями на рис. 2.7. Тренд годовых сумм осадков за 1976-2011 гг., в среднем по России, составляет 0.7 мм/месяц/10лет и описывает 20% межгодовой изменчивости. Наиболее заметен рост осадков в регионе Средняя Сибирь – вклад в дисперсию 29% для годовых осадков и 21% - для летних.

Весной наблюдается рост осадков в целом по России (учитывает 20% дисперсии) и практически во всех регионах (кроме Забайкалья и Приамурья). Тренд осенних сумм осадков за 1976-2011 гг., в среднем по России положительный, но объясняет лишь 5% межгодовой изменчивости, хотя в отдельных регионах азиатской территории, судя по

вкладу в суммарную изменчивость, он более существенный: Средняя Сибирь - 17%, Восточная Сибирь - 12%, Прибайкалье и Забайкалье - 8% дисперсии.



**Рисунок 2.8** – Осредненные за год и по территории регионов России аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц) за 1936-2011 гг.

*Сглаженная кривая соответствует 11-летнему скользящему осреднению.*

*Линейный тренд показан за 1976-2011 гг.*

**Таблица 2.2** – Оценки линейного тренда регионально осредненных годовых и сезонных сумм атмосферных осадков в регионах Российской Федерации за 1976-2011 гг.: *b* – коэффициент линейного тренда (мм/мес /10 лет), *D* - вклад тренда в дисперсию (%).

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>b</i>	<i>D</i>								
<b>Российская Федерация (РФ)</b>										
	0.7	20	0.5	7	1.4	20	0.2	1	0.6	5
<b>Физико-географические регионы России</b>										
Европейская часть РФ	0.3	1	0.9	4	1.8	11	-2.0	7	0.3	0
Западная Сибирь	0.9	8	0.8	5	2.1	21	0.9	1	0.0	0
Средняя Сибирь	1.3	29	-0.1	0	0.8	11	3.0	21	1.3	17
Прибайкалье и Забайкалье	0.9	10	0.5	8	0.5	2	1.5	3	1.3	8
Приамурье и Приморье	0.3	0	1.2	10	1.6	4	-0.7	0	-0.9	2
Восточная Сибирь	0.8	7	-0.1	0	1.0	14	-0.3	0	1.8	12

Таблица 2.2 (продолжение)

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	D	B	D	b	D	b	D	b	D
<b>Федеральные Округа РФ</b>										
Северо-Западный	1.0	8	1.5	8	1.8	13	-0.4	0	0.4	0
Центральный	-0.6	3	0.4	0	0.3	0	-3.9	8	0.1	0
Приволжский	-0.5	1	0.2	0	2.1	8	-3.3	8	-1.1	2
Южный	0.5	1	0.2	0	2.1	7	-1.9	2	1.9	3
Северно-Кавказский	1.8	9	2.4	7	2.1	4	-0.5	0	3.3	7
Уральский	0.8	5	0.7	3	2.6	22	-0.3	0	0.4	0
Сибирский	0.9	25	0.4	3	0.8	6	2.3	21	0.6	3
Дальневосточный	0.7	10	0.3	1	1.2	20	0.3	0	1.0	10

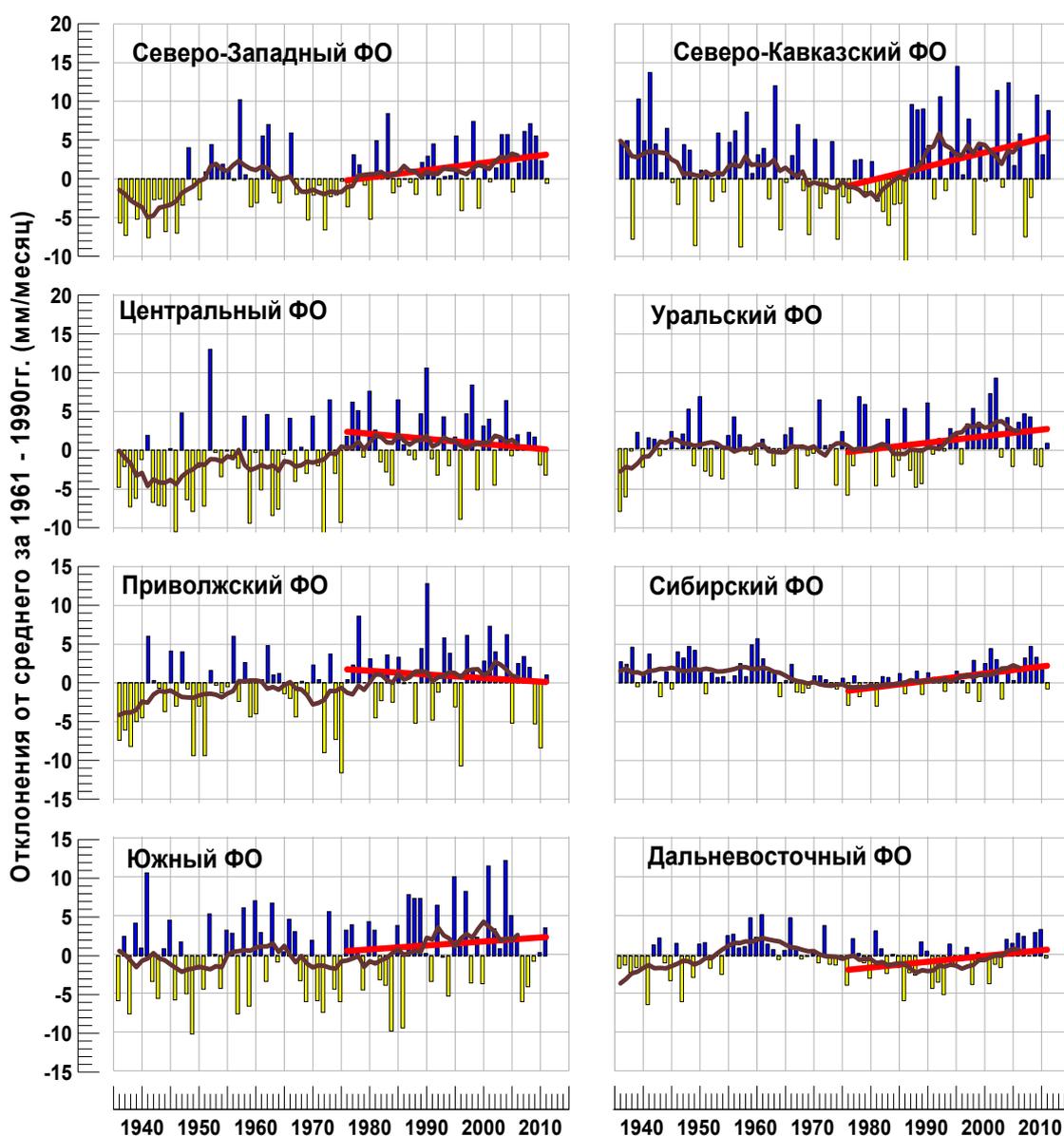


Рисунок 2.9 – То же, что на рис. 2.8., но для Федеральных округов РФ

**Выводы.** Количество осадков, выпавших в среднем за год по всей территории России, в 2011 году было близким к норме (аномалия -0.1 мм/месяц, ранг 44).

В целом по территории России сезоном с наиболее значительными осадками была зима (ранг 9) за счет дальневосточных регионов: Приамурье и Приморье (ранг 1), Восточная Сибирь (ранг 4); по Дальневосточному ФО в целом – ранг 2.

Весной отмечен избыток осадков на юге ЕЧР: в Северо - Кавказском ФО (ранг 1) и Южном ФО (ранг 3). В Центральном ФО наблюдался дефицит осадков (ранг 72, т.е. 5 место среди минимумов).

Осенью в среднем по региону Прибайкалье и Забайкалье отмечен абсолютный минимум количества осадков с 1936 г. (за счет сентября и октября).

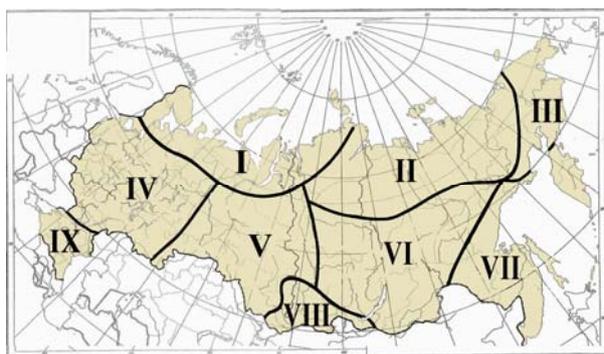
Тренд годовых сумм осадков за период 1976 - 2011 гг. положительный на большей части территории России. Преимущественно положительный тренд наблюдается и в отдельные сезоны; заметные исключения – восточные регионы России зимой и летом и ЕЧР - летом. Наиболее выражен рост осадков весной, когда линейный тренд объясняет 20% суммарной изменчивости осадков. Максимум роста годовых осадков наблюдается в Средней Сибири, где растут осадки всех сезонов, кроме зимы. Весенние осадки растут почти на всей территории, особенно в районе Прикаспийской низменности и Южного Урала и на Дальнем Востоке. В остальные сезоны в большинстве регионов тренды ответственны лишь за малую долю межгодовой изменчивости.

### 3. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ЗИМОЙ 2010/2011 г.

Для описания состояния снежного покрова использовались следующие характеристики:

- число дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции по данным ежедневных наблюдений (для оценки продолжительности залегания снежного покрова);
- дата появления первого снега;
- максимальная за зимний сезон высота снежного покрова;
- запас воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок.

Анализ изменений характеристик снежного покрова проводился по данным в точках и по рядам усредненных характеристик для 9 квазиоднородных климатических регионов. Региональный анализ проводился по регионам, выбранным на основании классификации Алисова (Алисов, 1956). Средние для регионов значения характеристик получены следующим способом. Аномалии на метеостанциях арифметически осреднялись по квадратам сетки ( $1^{\circ}\text{N} \times 2^{\circ}\text{E}$ ), а затем проводилось их осреднение (с весовыми коэффициентами, зависящими от широты квадрата) по регионам, показанным на рис 3.1, и по территории России в целом. 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 г.



**Рисунок 3.1** - Квазиоднородные климатические регионы:

I - Север ЕЧР и Западной Сибири, II - Северная часть Восточной Сибири и Якутии, III - Чукотка и север Камчатки, IV - Центр ЕЧР, V - Центр и юг Западной Сибири, VI - Центр и юг Восточной Сибири, VII - Дальний Восток, VIII- Алтай и Саяны, IX- Юг ЕЧР.

В табл. 3.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий характеристик снежного покрова зимой 2010-2011 гг. для регионов России и их ранги по данным за 1939-2011 гг.

#### ***Особенности состояния снежного покрова зимой 2010-2011гг.***

Зимой 2010-2011 **продолжительность залегания снежного покрова** в среднем по России была близка к норме (табл. 3.1). Однако, на достаточно большой территории, охватывающей северные и восточные области ЕЧР и Западную Сибирь, число дней со снежным покровом было значительно меньше, чем в среднем многолетнем (рис. 3.2). Даже в горных районах Северного Кавказа снежный покров пролежал меньше, чем обычно.

**Первый снег** на юге ЕЧР и в Западной Сибири появился позже средних многолетних сроков из-за очень теплой осенней погоды (рис. 3.3). В Москве снежный покров установился 2 декабря, что на неделю позже нормального срока. На всей территории Восточной Сибири и на Дальнем Востоке первый снег выпал раньше обычного, уже в начале октября. Однако мощные волны экстремально теплого воздуха приводили к его таянию. Устойчивый снежный покров восточнее Урала, в юго-западных и южных районах Сибири установился только 19 ноября 2010 г., что значительно позже

средних многолетних сроков. На востоке Якутии первый снег появился на неделю раньше обычного.

**Таблица 3.1** – Средние за зимний период аномалии характеристик снежного покрова, осредненные по территории квазиоднородных климатических регионов России, в 2011 г.:

$\Delta$  - отклонения от средних за 1961-1990 гг.; **R** – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1966-2011 гг.;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение.

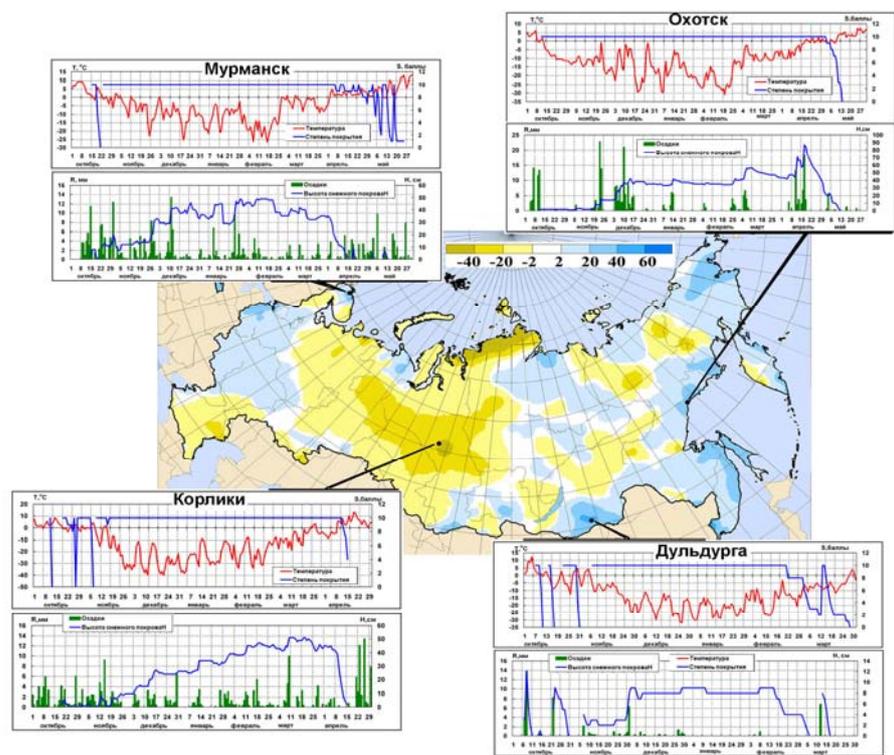
Регион	Максимальная высота			Число дней со снегом		
	$\Delta$	<b>R</b>	$\sigma$	$\Delta$	<b>R</b>	$\sigma$
Россия	<b>6.7</b>	<b>6</b>	3.5	-0.84	27	7.2
Север европейской части и Западной Сибири	2.0	26	6.3	<b>-11.6</b>	<b>42</b>	10.0
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	1.3	20	4.6	-1.6	28	12.9
Чукотка и север Камчатки	8.1	17	9.4	<b>15.8</b>	<b>9</b>	12.3
Центр европейской части России	<b>15.5</b>	<b>1</b>	6.8	3.2	21	11.7
Центр и юг Западной Сибири	0.3	32	9.8	<b>-16.9</b>	<b>41</b>	11.7
Центр и юг Восточной Сибири	0.7	21	4.3	2.5	21	8.1
Дальний Восток	<b>15.1</b>	<b>8</b>	7.7	<b>15.7</b>	<b>10</b>	10.3
Алтай и Саяны	2.4	18	6.6	-0.7	29	12.4
Юг европейской части России	-0.8	28	3.7	-5.7	34	13.3

*Примечание: Жирным курсивом выделены аномалии, попавшие в 10 самых больших положительных или отрицательных значений за 1966-2011 гг.*

**Таяние снега** из-за холодной погоды на ЕТР задержалось относительно нормальных сроков почти на десять дней, в результате чего снежный покров растаял здесь практически везде в третьей декаде апреля. В Москве активное таяние снега началось только 2 апреля 2011 г., и окончательно снег сошел 16 апреля. В результате, число дней со снежным покровом на значительной площади ЕТР было несколько выше нормы. На юге Сибири из-за экстремально теплой погоды снег начал таять уже во второй половине марта, что почти на месяц опережало средние многолетние сроки. На большей части Сибири снег растаял в сроки, близкие к экстремально ранним. Это отразилось на продолжительности периода со снегом – в этом регионе получены отрицательные аномалии числа дней со снежным покровом.

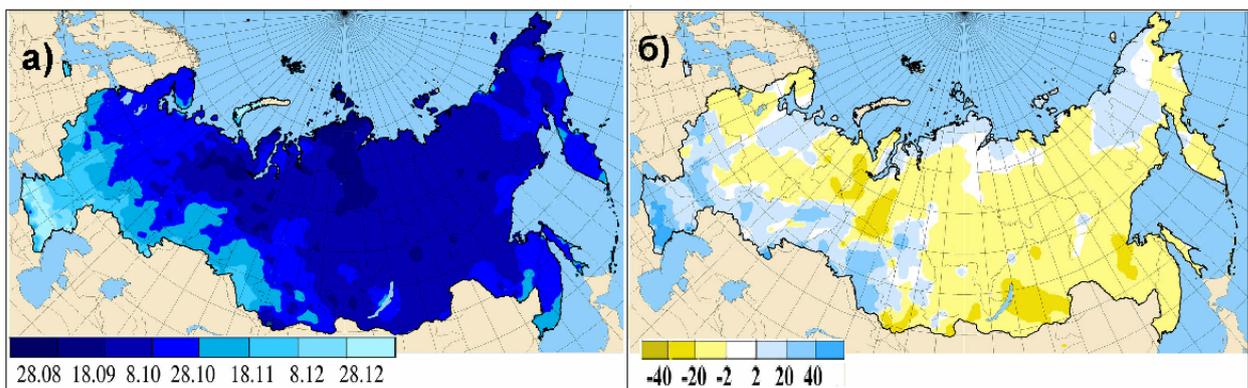
**Граница снежного покрова** проходила 10 апреля 2011 г. по линии Брянск – Липецк – Саратов – Оренбург – Омск – Абакан – Чита – Хабаровск. К 20 апреля она сместилась к линии Петрозаводск – Сыктывкар – Березово – Ярцево – Ленск – Тында – Комсомольск-на-Амуре и оставалась там почти до 5 мая. К 10 мая снежный покров на ЕТР растаял, а в Сибири лежал севернее границы Салехард – Якутск – Николаевск-на-Амуре. На Чукотке и Таймыре снежный покров растаял в конце третьей декады мая. Для Таймыра это примерно на полмесяца раньше обычного срока.

В зимний период 2010-2011 гг. получена положительная аномалия средней по территории России **максимальной высоты снежного покрова** (рис. 3.4), причем она вошла в 10 максимальных значений за период 1939-2011гг. (табл. 3.1). Аномалия максимальной высоты в среднем по IV региону стала рекордной за весь период наблюдений (рис. 3.5). Рекордные значения высоты снега были перекрыты на большинстве метеорологических станций Верхней Волги (Нижний Новгород – на 10см, Казань - на 15 см, Торбеево – на 28 см, Канаш – на 36см), а также в Новгороде – на 16 см и Санкт-Петербурге – на 5см.



**Рисунок 3.2** - Аномалии числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции зимой 2010-2011 гг. (отклонения от среднемноголетних значений за период 1961-1990 гг.). На врезках среднесуточные значения температуры воздуха, степени покрытия снегом окрестности метеостанции, высоты снежного покрова и суточная сумма осадков на метеостанциях: Мурманск, Охотск, Корлики и Дульдурга.

В десять самых снежных зим вошла прошедшая зима и в регионе VII (Дальний Восток). В Хабаровском крае на метеостанции Удское зарегистрирована высота снега 160 см, что на 70 см больше предыдущего рекорда. В Магаданской области высота снега превысила 2м (215 см на метеостанции Талон). Мощные снегопады обрушились на дальневосточный юг и побережье Охотского моря в ноябре-декабре 2010 года. Они стали рекордными за последние 60 лет и обусловили рекордные значения высоты снежного покрова. Заметный вклад в формирование снежного покрова на юге Магаданской области внесли снегопады, прошедшие в конце февраля - начале марта (см. врезку на рис. 3.5). На метеостанции Талон с 25.02 по 7.03 выпало 99.5 мм.



**Рисунок 3.3** – а) Даты появления первого снега на территории России в зимний период 2010-2011 гг.  
 б) Аномалии в датах появления первого снега на территории России в зимний период 2010-2011 гг. (от норм 1961-1990 гг.)



**Рисунок 3.4** – Аномалия максимальной за зимний период высоты снежного покрова, осредненная по территории Российской Федерации, 1966-2010 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг.

Еще одной важной характеристикой является запас воды в снеге. Наблюдения за этой характеристикой осуществляются по программе маршрутных снегомерных съемок в поле и в лесу. Регулярные наблюдения маршрутных снегомерных съемок доступны с 1966 года, поэтому в качестве норм использованы средние многолетние значения запаса воды в снеге за период 1971-2000 гг.

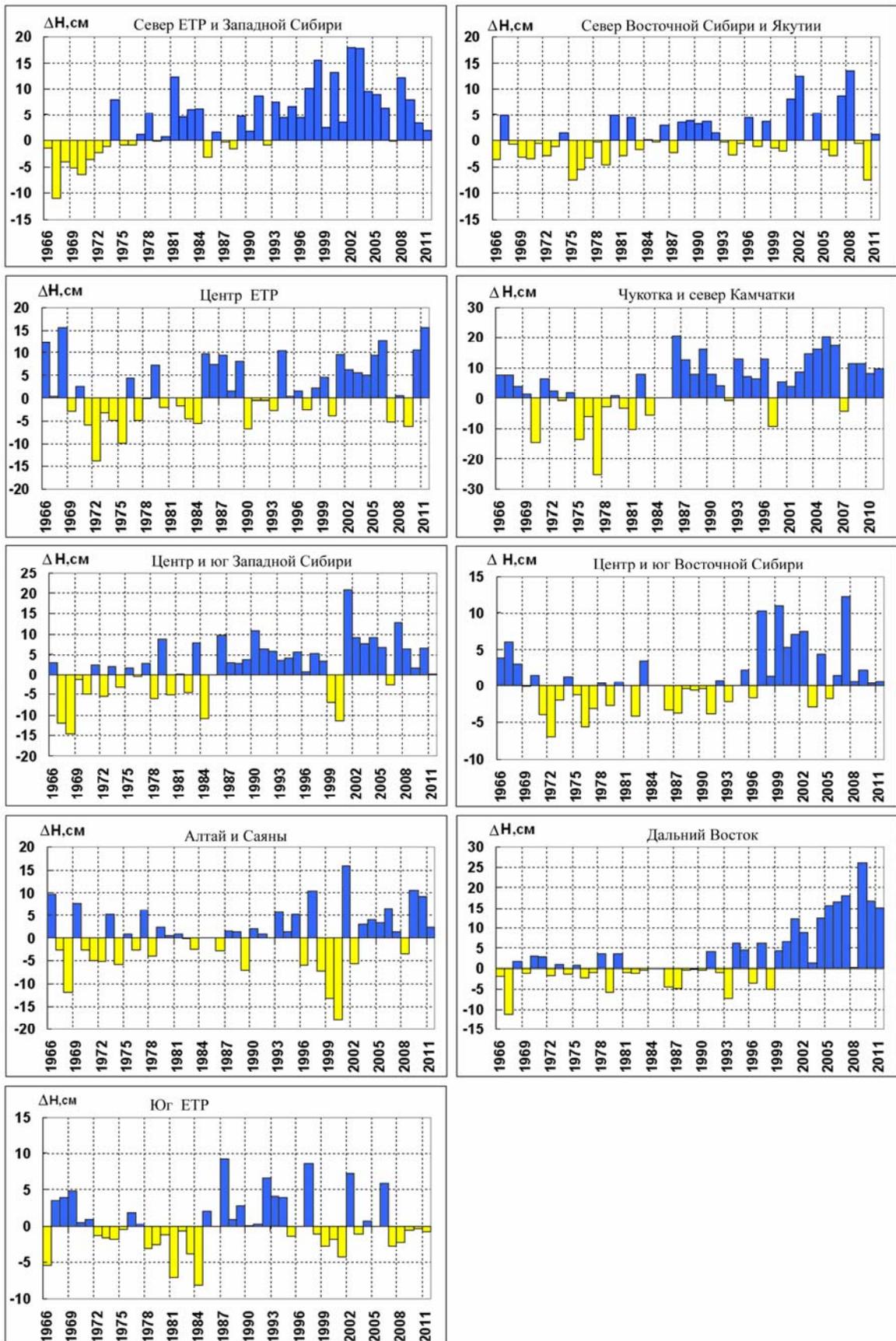
Средняя по территории России аномалия максимального запаса воды в снеге оказалась наибольшей за рассматриваемый период в поле и несколько ниже нормы в лесу (табл. 3.2). В центре ЕЧР запас воды в снежном покрове оказался и в поле, и в лесу выше нормы (в поле аномалия имеет 2 ранг за рассматриваемый период). Рекордные значения влагозапаса в снежном покрове в поле получены для региона Дальний Восток, да и по данным на лесных маршрутах аномалия максимального влагозапаса стала второй с 1966 года.

**Таблица 3.2** – Аномалии максимального за зимний период запаса воды в снеге, осредненные по территории квазиоднородных климатических регионов России, в 2011 г.  $\Delta$  - отклонения от средних за 1971-2000 гг.; **R** – ранг текущих значений в ряду убывающих характеристик за 1966-2011 гг.;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение

Регион	Запас воды в снеге (поле)			Запас воды в снеге (лес)		
	$\Delta$	R	$\sigma$	$\Delta$	R	$\sigma$
Россия	<b>20.9</b>	<b>1</b>	8.2	-2.9	30	7.3
Север европейской части и Западной Сибири	-10.8	32	17.0	<b>-41.6</b>	<b>41</b>	25.6
Северная часть Восточной Сибири и Якутии				-0.7	22	12.2
Чукотка и север Камчатки				<b>25.7</b>	<b>6</b>	24.5
Центр европейской части России	<b>36.8</b>	<b>2</b>	18.0	6.7	14	18.9
Центр и юг Западной Сибири	10.9	11	14.6	<b>-48.3</b>	<b>45</b>	21.9
Центр и юг Восточной Сибири	3.3	17	6.7	-7.0	<b>36</b>	8.5
Дальний Восток	<b>45.5</b>	<b>1</b>	20.1	<b>46.1</b>	<b>2</b>	22.2
Алтай и Саяны	<b>12.1</b>	<b>6</b>	12.9	17.9	11	28.9
Юг европейской части России	-1.4	26	10.9			

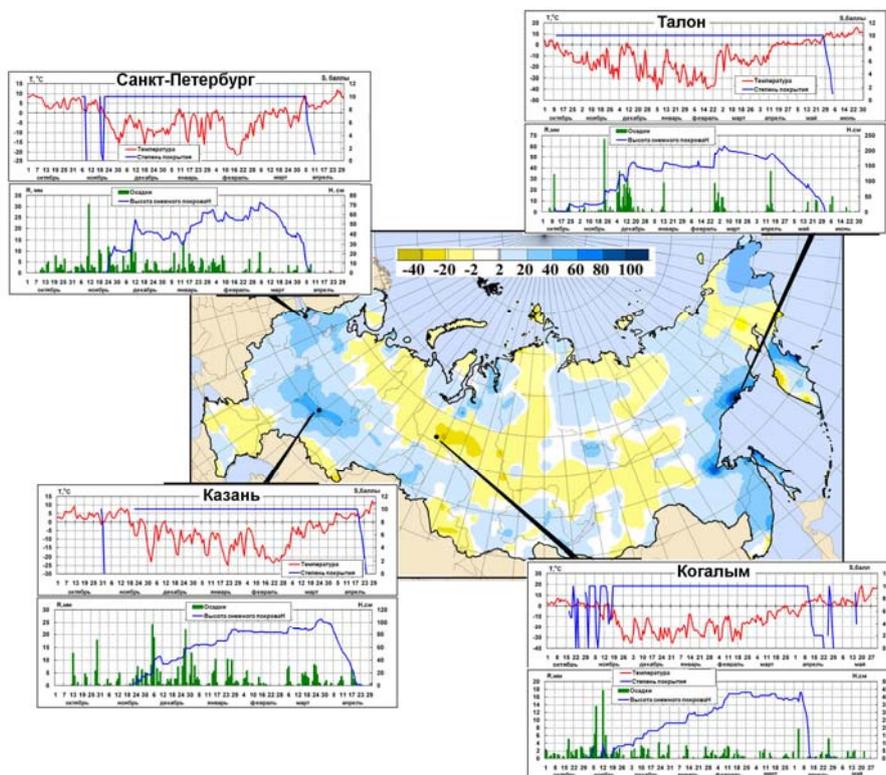
*Примечание: Жирным курсивом выделены аномалии, попавшие в 10 экстремальных положительных или отрицательных значений за 1966-2011*

Пространственное распределение аномалий запаса воды в снеге в зимний период 2010-2011 гг. (рис. 3.7) повторяет распределение аномалий максимальной за зиму высоты снежного покрова.



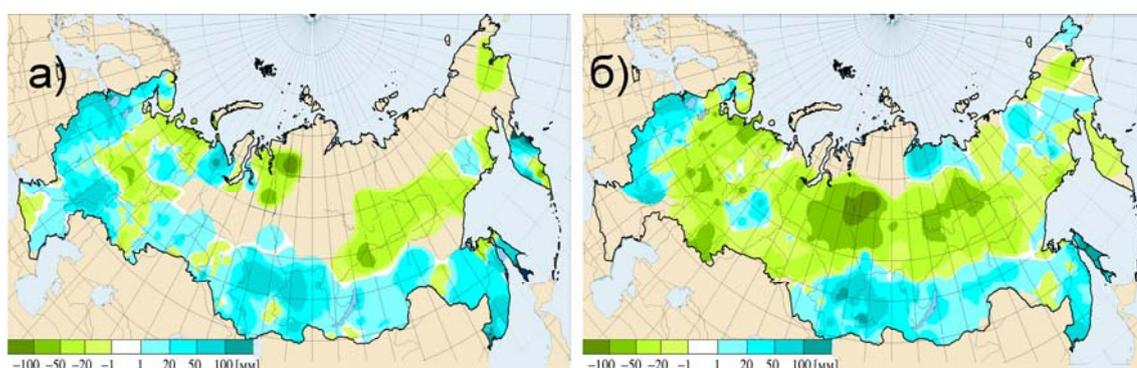
**Рисунок 3.5** – Аномалии максимальной за зимний период высоты снежного покрова, осредненные по территории квазиоднородных климатических районов Российской Федерации, 1966-2010 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг.

В таблице 3.3. приведены подробные данные о запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ РФ по состоянию на 20 марта 2011 г. Для сравнения в той же таблице приведены значения норм и данные о запасах воды на 20 марта 2010 г.



**Рисунок 3.6** - Аномалии максимальной высоты снежного покрова зимой 2010-2011 гг. (от среднемноголетних значений за период 1961-1990 гг.). На врезках среднесуточные значения температуры воздуха, степени покрытия снегом окрестности метеостанции, высоты снежного покрова и сумма осадков за сутки на метеостанциях Санкт-Петербурга, Талон, Казань и Коголым.

На европейской территории России ниже нормы запасы воды в снеге были только в бассейнах рек Кама, Вычегда и Мезень. В бассейне Волги на 20 марта запасы воды в снежном покрове составили 127% нормы и были в 1.2 раза больше прошлогоднего значения. В бассейнах большинства водохранилищ и притоков Волги снеготзапасы превысили многолетнюю норму, рассчитанную на 20 марта, причём на Куйбышевском водохранилище норма была превышена в 1.3 раза, а в бассейнах Верхней Волги и Чебоксарского водохранилища – в 1.5 раза.



**Рисунок 3.7** - Аномалии максимального запаса воды в снеге (мм) зимой 2010-2011 гг. (отклонения от среднемноголетних значений за 1971-2000 гг.) в поле (а) и в лесу (б).

**Таблица 3.3** - Сведения о запасах воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ РФ по состоянию на 20 марта 2011 г. (в сравнении с нормой и влагозапасами 2010 г.): *w2010*, *w2011* – запасы воды в снеге в 2010 и 2011 гг.

№ п/п	Бассейны рек	Запасы воды в снеге на 20 марта				
		норма	<i>w2010</i>	<i>w2011</i>		
		мм	мм	мм	% от нормы	% от <i>w2010</i>
<b>1</b>	<b>ВОЛГА, в т.ч.</b>	<b>117</b>	<b>122</b>	<b>148</b>	<b>127</b>	<b>121</b>
2	до Рыбинского водохр.	101	136	150	149	110
3	р. Кострома и Унжа	128	112	156	122	139
4	р. Москва	93	106	105	113	99
5	р. Ока, включая бассейн р.Москвы	89	100	133	149	133
6	р. Сура	89	138	166	187	120
7	р. Ветлуга	140	93	153	109	164
8	Чебоксарское водохранилище	91	106	142	156	134
9	р. Вятка	147	121	166	113	137
10	Куйбышевское водохранилище	133	121	174	131	144
11	Саратовское водохранилище	89	115	97	109	84
12	Волгоградское водохранилище	57	125	80	140	64
13	р. Кама	179	166	162	91	98
14	р. Белая	137	107	159	116	149
<b>15</b>	<b>ДОН, в т.ч.</b>	<b>39</b>	<b>85</b>	<b>63</b>	<b>160</b>	<b>74</b>
16	Хопер	49	121	99	200	82
17	Медведица	47	109	52	110	48
	<b>Реки севера</b>					
18	Северная Двина	121	143	128	106	90
19	Сухона	125	133	147	118	111
20	Вага	124	120	128	103	107
21	Юг	115	123	125	109	102
22	Пинега	101	135	111	110	82
23	Вычегда	139	167	128	92	77
24	Мезень	140	131	121	86	92
25	Нарва	47	154	134	285	87
26	Волхов	60	134	149	248	111
	<b>Реки и водохранилища Сибири</b>					
27	Верхняя Обь	189	256	181	96	70
28	Тобол	60	82	68	113	83
29	Енисей (Саяно-Шушенское в-ще)	121	168	149	123	89
30	Енисей (Красноярское в-ще)	137	215	176	128	82
31	Ангара (оз. Байкал)	78	94	93	119	99
32	Ангара (Братское в-ще)	70	97	87	124	90
33	Ангара (Усть-Илимское в-ще)	112	109	108	96	99

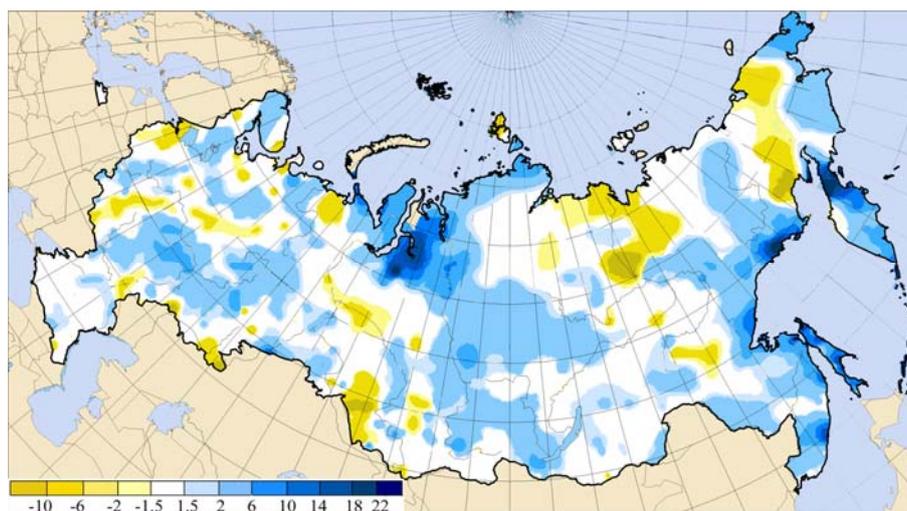
Значения снегозапасов в бассейне Дона в полтора и более раза превысили норму, однако несколько уступили по величине значениям прошлого года. В бассейне Хопра, крупнейшего левого притока Дона, снегозапасы превысили норму в два раза. Близки к норме снегозапасы были на большинстве рек севера ЕЧР, а также на азиатской территории России в бассейнах Тобола и Верхней Оби (Новосибирское водохранилище). На Верхнем Енисее в бассейне Саяно-Шушенского водохранилища снегозапасы 20 марта превышали норму на 23%, а в бассейне Красноярского водохранилища – на 28%.

В бассейне озера Байкал и Братского водохранилища величины снегозапасов превышали норму в 1.2 раза, в бассейне Усть-Илимского водохранилища - близки к норме. В бассейне Лены запасы воды в снежном покрове выше г. Якутск были преимущественно меньше или близки к норме, а в ее нижнем течении – выше нормы. В Забайкалье в бассейне Верхнего Амура накопленные к началу марта запасы воды в снеге превышали норму в 1.4 – 2.2 раза, в бассейне Витима и Олекмы они колебались около нормы (от 0.65 до 1.15), а в бассейне Селенги – в интервале 1.0-1.6 нормы. Отметим также, что на некоторых снегомерных маршрутах Приморского края снегозапасы превышали средние многолетние значения примерно в полтора-два раза (по данным на 20 марта).

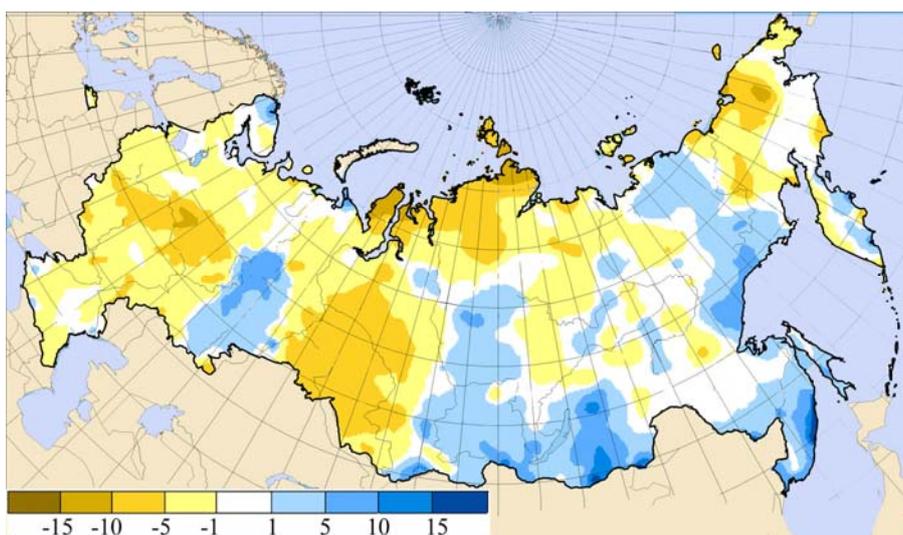
### ***Многолетние изменения характеристик снежного покрова***

Географическое распределение локальных оценок трендов, характеризующих тенденцию (среднюю скорость) изменений максимальных за зимний период значений высоты снежного покрова на интервале 1976 - 2011 годов, показано на рисунке 3.8. Тренд рассчитан методом наименьших квадратов и выражен в см за десятилетие (см/10 лет). Оценки получены непосредственно по данным стационарных наблюдений на территории России.

Как и в период 1976 - 2010 гг., наблюдается увеличение **максимальной за зиму высоты снежного покрова** на севере Западной и большей части Восточной Сибири, на Камчатке и Чукотке, на побережье Охотского моря и дальневосточном юге, на Урале и в отдельных областях ЕЧР. На западе ЕЧР и в Якутии максимальная за зиму высота снежного покрова уменьшается (рис. 3.8).



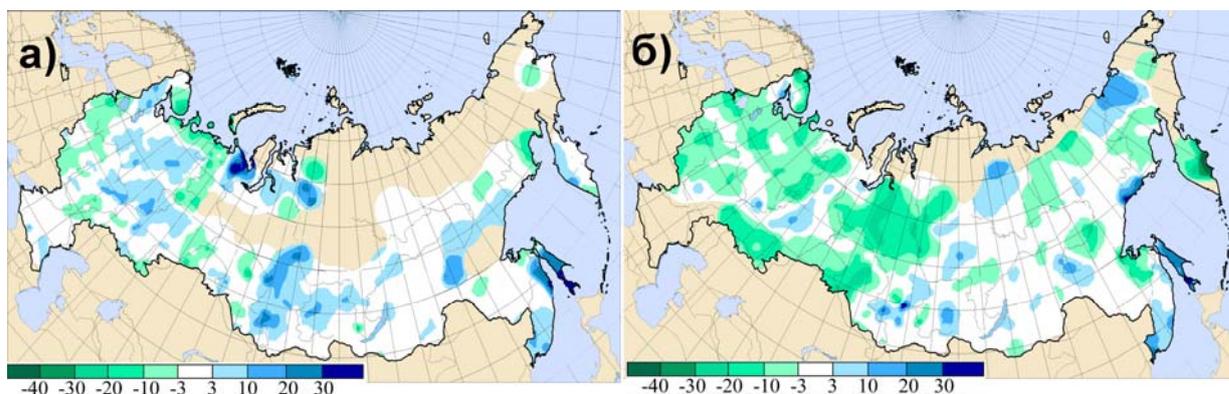
**Рисунок 3.8** - Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) 1976-2011 гг. в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова



**Рисунок 3.9** - Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) за 1976-2011 гг. в рядах числа дней со степенью покрытия окрестности станции снегом более 50%

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах *числа дней с покрытием снегом более 50 % территории вокруг метеостанции* за период 1976 – 2011 гг. приведено на рисунке 3.9 (в анализе использованы оценки, статистически значимые на 5%-уровне значимости). Обнаружена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова на территории ЕЧР, в Западной Сибири, на Таймыре и на востоке Якутии. Увеличивалась продолжительность залегания снежного покрова на Урале, на юге Восточной Сибири, в Приморье и на побережье Охотского моря. Однако при осреднении по регионам, коэффициенты линейного тренда для некоторых из них оказались незначимыми (табл. 3.4).

Тенденции изменений *максимального за зиму запаса воды в снеге* в 1976-2011 гг. по данным маршрутных наблюдений *в поле* во многом совпадают с тенденциями изменений максимальной за зиму высоты снежного покрова. Увеличение запаса воды в снеге (в поле) наблюдается на севере Западной Сибири, на острове Сахалин, в восточных районах ЕЧР, а его уменьшение – в западных и юго-восточных областях ЕЧР и на юге Западной Сибири (рис. 3.10а).



**Рисунок 3.10** - Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период 1976-2011 гг. в поле (а) и в лесу (б)

По данным лесных маршрутных наблюдений (рис.3.10б) на большей части ЕЧР и в Западной Сибири наблюдается уменьшение максимального за зиму запаса воды в снеге (в лесу). В Восточной Сибири, на северо-востоке Якутии, в Приморье и на

Сахалине выделяются области с положительными значениями коэффициентов линейного тренда.

**Таблица 3.4** – Оценки линейного тренда (статистически значимые на 5%-уровне значимости) регионально осредненных характеристик снежного покрова для регионов России за 1976-2011 гг.:

*H<sub>max</sub>, см/10 лет* – максимальная за зимний период высоты снежного покрова;

*N<sub>d</sub>, дни/10 лет* - число дней со снежным покровом; *SWE<sub>п</sub>, мм/10 лет* - запас

воды в снеге (в поле); *SWE<sub>л</sub>, мм/10 лет* - запас воды в снеге (в лесу)

Регион	<i>H<sub>max</sub></i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>SWE<sub>п</sub></i>	<i>SWE<sub>л</sub></i>
Россия	1.99		2.2	-2.5
Север европейской части и Западной Сибири	2.03			-6.7
Северная часть Восточной Сибири и Якутии		-3.1		
Чукотка и север Камчатки	4.60			
Центр европейской части России,	1.62	-2.2	1.8	-5.7
Центр и юг Западной Сибири		-3.3		-0.5
Центр и юг Восточной Сибири	1.98			
Дальний Восток	5.38	3.4	9.4	
Алтай и Саяны		1.6	3.7	
Юг европейской части России,				

**Выводы.** В период 1976 – 2011 гг. обнаружена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова на территории ЕЧР и Западной Сибири, на Таймыре и востоке Якутии. Увеличилась продолжительность залегания снежного покрова на Урале, на юге Восточной Сибири, в Приморье и на побережье Охотского моря. Максимальная за зиму высота снежного покрова увеличивается на Урале, на большей части Сибири, на Камчатке, Чукотке и дальневосточном юге. На западе ЕЧР и в Якутии уменьшается максимальная за зиму высота снежного покрова.

Зимой 2010-2011 продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России была близка к норме. Однако, на достаточно большой территории, охватывающей северные и восточные области Европейской России и Западную Сибирь число дней со снежным покровом было значительно меньше, чем в среднем многолетнем

В зимний период 2010-2011 гг. получена положительная аномалия средней по территории России максимальной высоты снежного покрова, причем она вошла в 10 самых больших положительных значений за период 1939-2011 гг. На многих метеорологических станциях северо-запада ЕТР и Верхней Волги перекрыты абсолютные рекорды высоты снежного покрова. В десятку самых снежных зим вошла прошедшая зима и на Дальнем Востоке.

Средняя по территории России аномалия максимального за зимний период запаса воды в снеге по данным маршрутных снегосъемок в поле стала наибольшей за рассматриваемый период. Запас воды в снеге в лесу в среднем по территории России оказался несколько ниже нормы. По состоянию на 20 марта 2011 г. запасы воды в снежном покрове по бассейнам крупных рек и водохранилищ на территории России были преимущественно выше нормы и около нормы.

#### 4. ЗАМЕРЗАНИЕ И ВСКРЫТИЕ РЕК

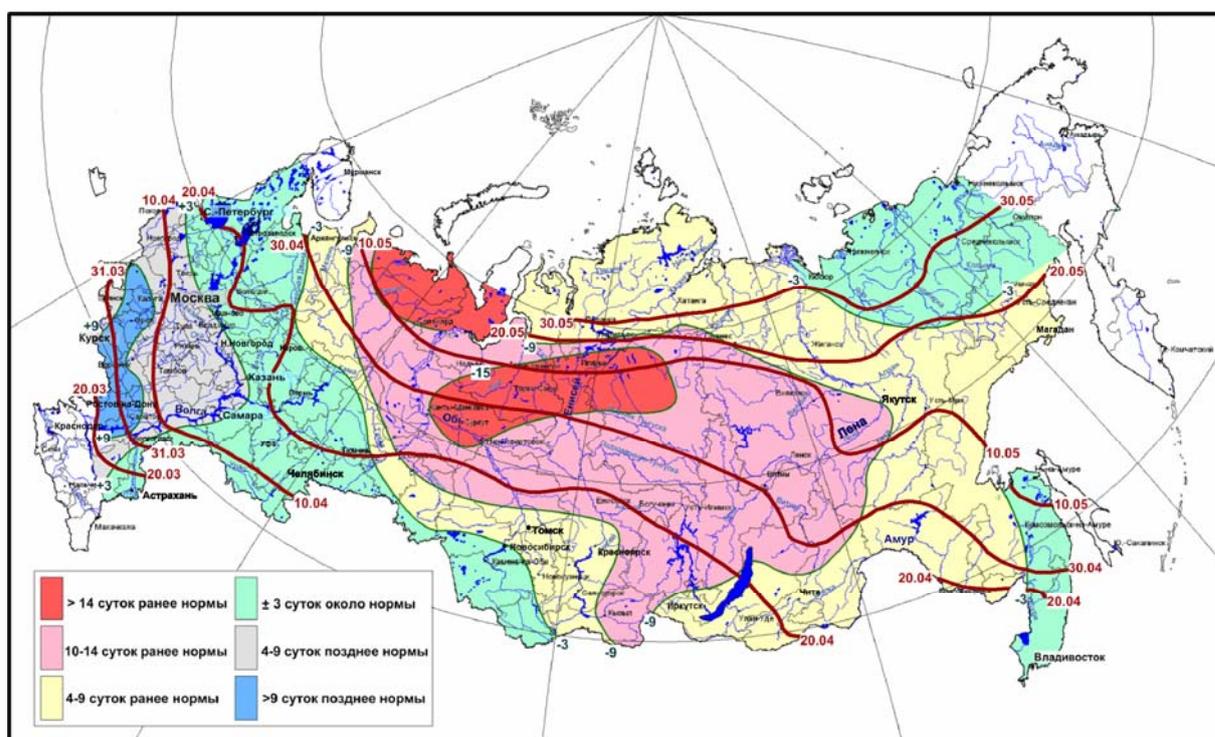
Вскрытие рек весной 2011 года (рис. 4.1) началось на 7-13 суток позже нормы на реках юга и запада ЕЧР (2-я декада марта и 1-я декада апреля, соответственно), а также бассейна Оки (2-я декада апреля).

Дальнейшее распространение ледохода на север и восток шло ускоренно. До конца апреля - начала мая вскрылись преимущественно на 10-15 суток раньше нормы все реки бассейнов Северной Двины, Верхней Волги и Камы, а также почти все реки бассейнов Оби, Енисея, Верхней и Средней Лены и Амура.

Особенно рано пошел лед на Енисее от Верхнеимбатского до Игарки, где ледоход был отмечен 6 мая, т.е. на 10 суток раньше самой ранней даты за 80 лет наблюдений. А Печора и Обь ниже Александровского вскрылись на 15-18 суток раньше средних сроков.

В первой декаде июня освободились ото льда устьевые участки великих сибирских рек и реки крайнего северо-востока страны.

В качестве главной особенности процесса вскрытия рек в 2011 году необходимо отметить его позднее наступление на реках юго-запада европейской территории России и раннее почти на всех реках азиатской территории. Сочетание таких крупных аномалий сроков весенних ледовых явлений на реках ранее не отмечалось, хотя существенный разброс аномалий (но в значительно более слабой степени выраженный) наблюдался также весной 2010 года.



**Рисунок 4.1** – Даты вскрытия рек весной 2011 г. на территории России.

Изолиниями показаны даты вскрытия рек, цветом заливки – градации аномалии дат вскрытия (в сутках). Аномалии рассчитаны как отклонения от норм 1961-1990 гг.

Плавающий лед появился на реках крайнего северо-востока России в сроки, близкие к норме – в первой декаде октября (рис. 4.2). В течение второй декады октября, на 3-7 суток позже обычного, ледообразование распространилось на Лену ниже Олекминска и ее притоки.

Дальнейшее распространение ледовых явлений возобновилось лишь в самом конце октября, когда на 10-13 суток позже средних сроков появился лед на Верхней Лене, в верховьях Амура, на Нижнем Енисее, в низовьях Оби и на всем протяжении Печоры. Дружное распространение ледообразования продолжалось и в первой декаде ноября,

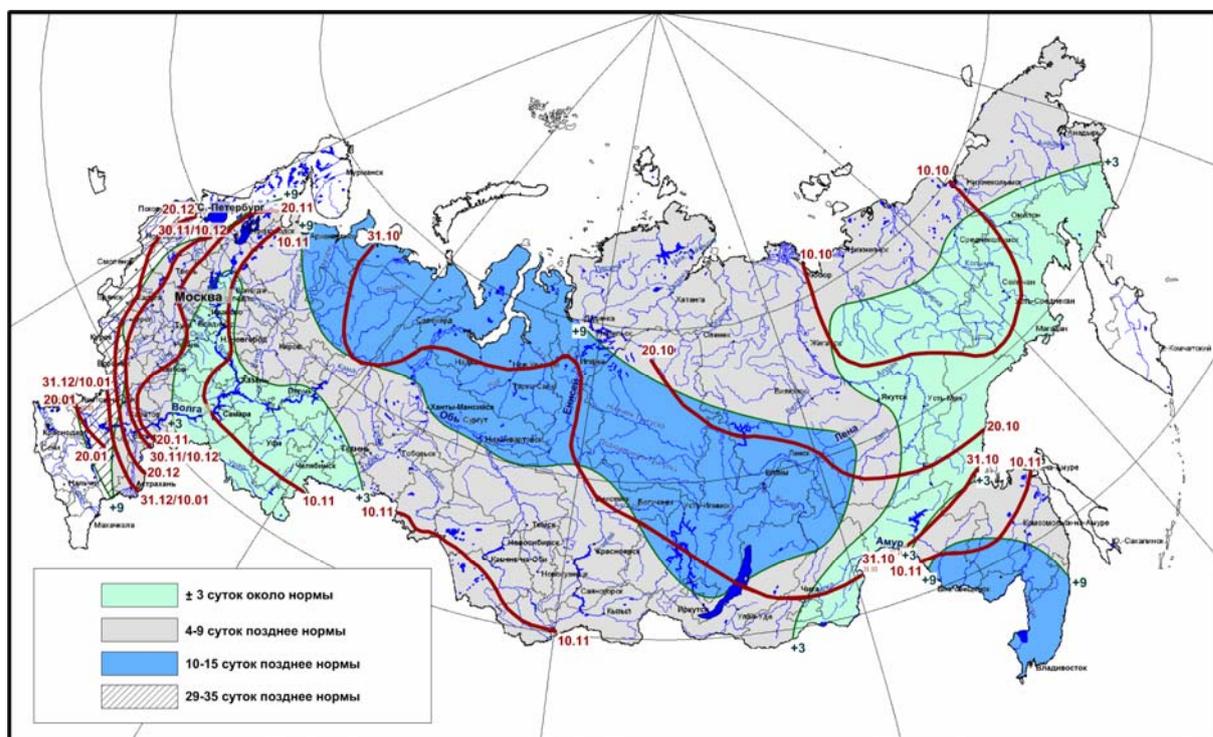
когда лед за период с 5 по 9 ноября (от 5 до 10 суток позже нормы) появился на всех реках бассейна Оби с Иртышем, Северной Двины, Камы, северных притоков Волги.

На Дальнем Востоке на большинстве участков Амура лед появился на 8-14 суток позже обычных сроков и дружно – 13-15 ноября.

В конце второй-начале третьей декады ноября в обычные сроки ледообразование распространилось на Оку, верховья Волги, Верхний и Средний Дон и на Белую.

В конце ноября мощное потепление вызвало таяние льда на Дону, в верхнем и среднем течении Оки и в верховьях Волги. Лишь в конце декабря на этих реках возобновилось, а на Верхнем Днепре, Десне и Западной Двине началось (близкое к экстремально поздним срокам, на 30-35 суток позже обычного) ледообразование, но и оно до середины января 2012 года было неустойчивым, прерывистым. На Нижнем Дону лед появился 20 января 2012 года.

В заключение отметим, что наиболее характерные для ледового режима рек в 2011 году раннее вскрытие и позднее замерзание большинства рек азиатской территории России – одно из важных проявлений распространения потепления климата на восток и север нашей страны.



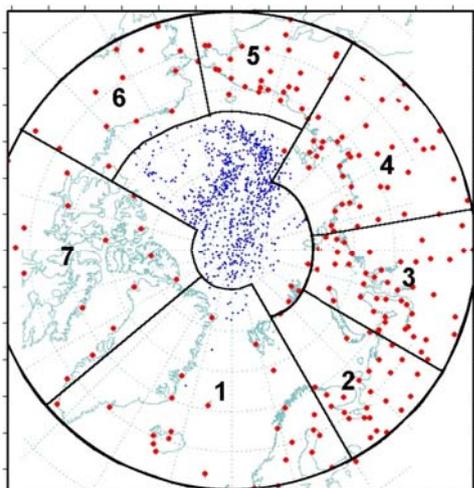
**Рисунок 4.2** – Даты замерзания рек России осенью 2011 г.

Изолиниями показаны даты замерзания, цветом заливки – градации аномалии (в сутках). Аномалии рассчитаны как отклонения от норм 1961-1990 гг.

## 5. СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области (СПО) ведется как для области в целом, так и для отдельных ее частей (рис. 5.1) на основе постоянно пополняемой базы приземных метеорологических данных для полярных районов (<http://www.aari.nw.ru>). Ниже приводятся оценки изменения температуры воздуха и количества осадков СПО за период 1936–2011 гг.

Исходными данными послужили результаты наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев и дрейфующих станций СП-38 и СП-39, которые позволили уточнить значения температуры воздуха в районе Северного полюса.



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

### Температура воздуха.

Для расчета аномалий температуры воздуха, осредненных по территории СПО и территориям климатических районов использован метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены относительно средних рекомендованного ВМО стандартного базового периода 1961-1990 гг. В качестве сезонов рассматривались: зима (декабрь-февраль), весна (март-май), лето (июнь-август) и осень (сентябрь-ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь рассматриваемого.

Оценки аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2011 год по отдельным широтным зонам (60–85, 60–70 и 70–85° с.ш.) представлены в таблице 5.1.

**Таблица 5.1** – Аномалии температуры воздуха в 2011 г., осредненные по территории СПО и по широтным зонам, в среднем за год (декабрь 2010 - ноябрь 2011) и за сезоны:  $\Delta T$ , °C – отклонения от средних за 1961-1990;  $R$  - ранг в ряду убывающих температур за 1936-2011 гг.

Широтная зона, °с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T$	$R$								
70-85	+3.1	1	+3.4	4	+4.0	1	+1.5	2	+3.3	2
60-70	+1.6	2	+0.8	25	+2.9	1	+0.9	7	+1.8	1
60-85	+2.3	1	+2.1	5	+3.4	1	+1.2	3	+2.6	2

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО составило +2.3 °C, и 2011 год стал первым по рангу теплых лет за период с 1936 года. Предыдущими самыми теплыми годами были 2005 и 2007 гг. с аномалией температуры +1.8 °C. Весенний сезон 2011 года оказался самым теплым как для СПО в целом, так и для отдельных широтных зон за весь период с 1936 г.

Географическое распределение аномалий среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на территории СПО приведено на рисунке 5.2. Числовые значения регионально осредненных аномалий температуры, наблюдавшихся в 2011 году, по отдельным климатическим районам СПО приведены в таблице 5.2. Более подробные данные для северных и южных частей районов см. на сайте <http://www.aari.ru/main.php>.

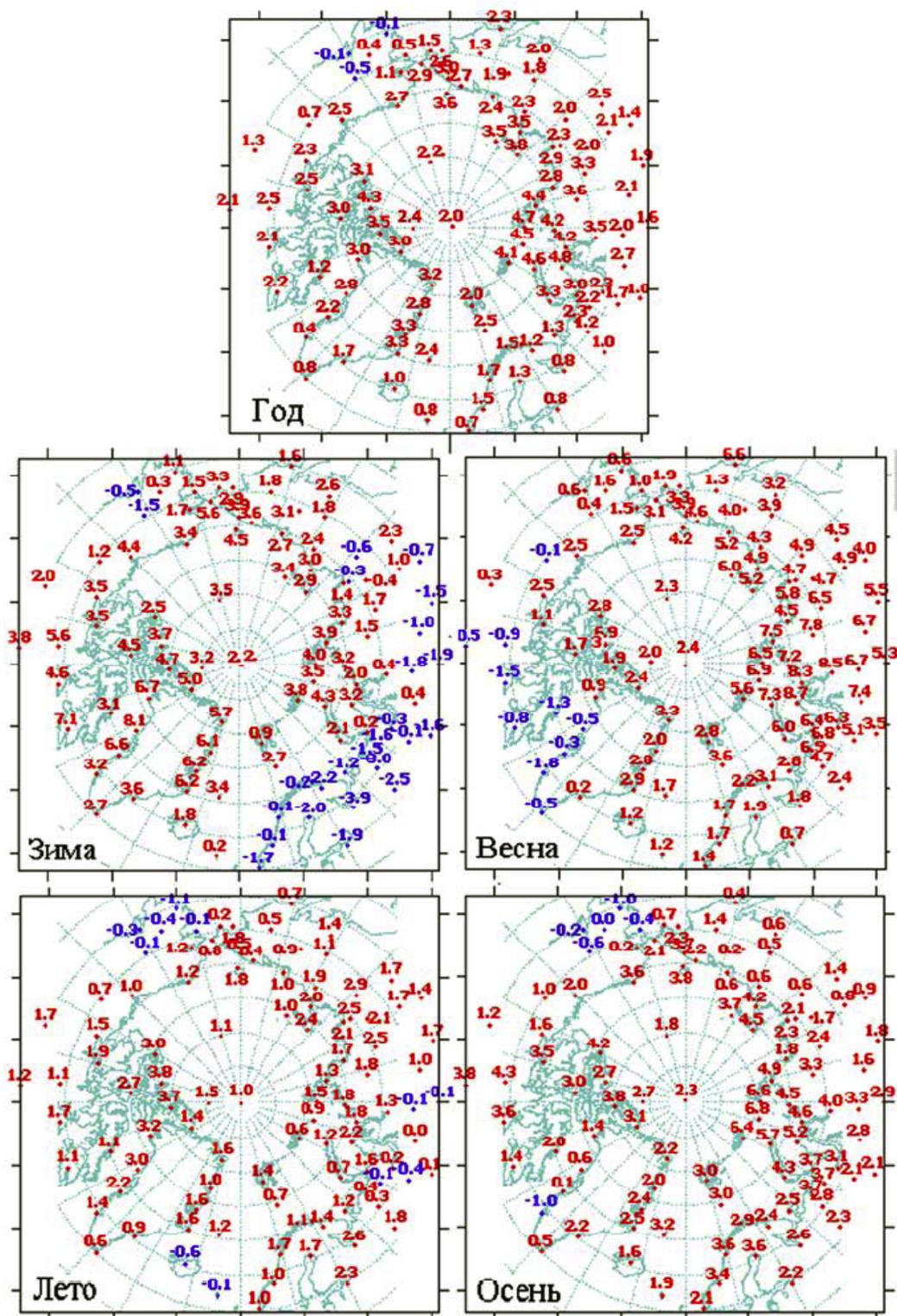


Рисунок 5.2 – Аномалии среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на станциях СПО, °С

Можно видеть, что в 2011 году области крупных положительных аномалий температуры располагались преимущественно в азиатском секторе (Западносибирский, Восточносибирский и Чукотский районы). Самые крупные аномалии как в целом за год, так и в отдельные сезоны наблюдались на территории Западносибирского района в целом, а также в районе морей Карского и Лаптевых.

**Таблица 5.2** – Аномалии температуры воздуха в 2011 г. (отклонение от нормы за 1961-1990 гг.) для отдельных районов СПО (в среднем за год и сезоны)

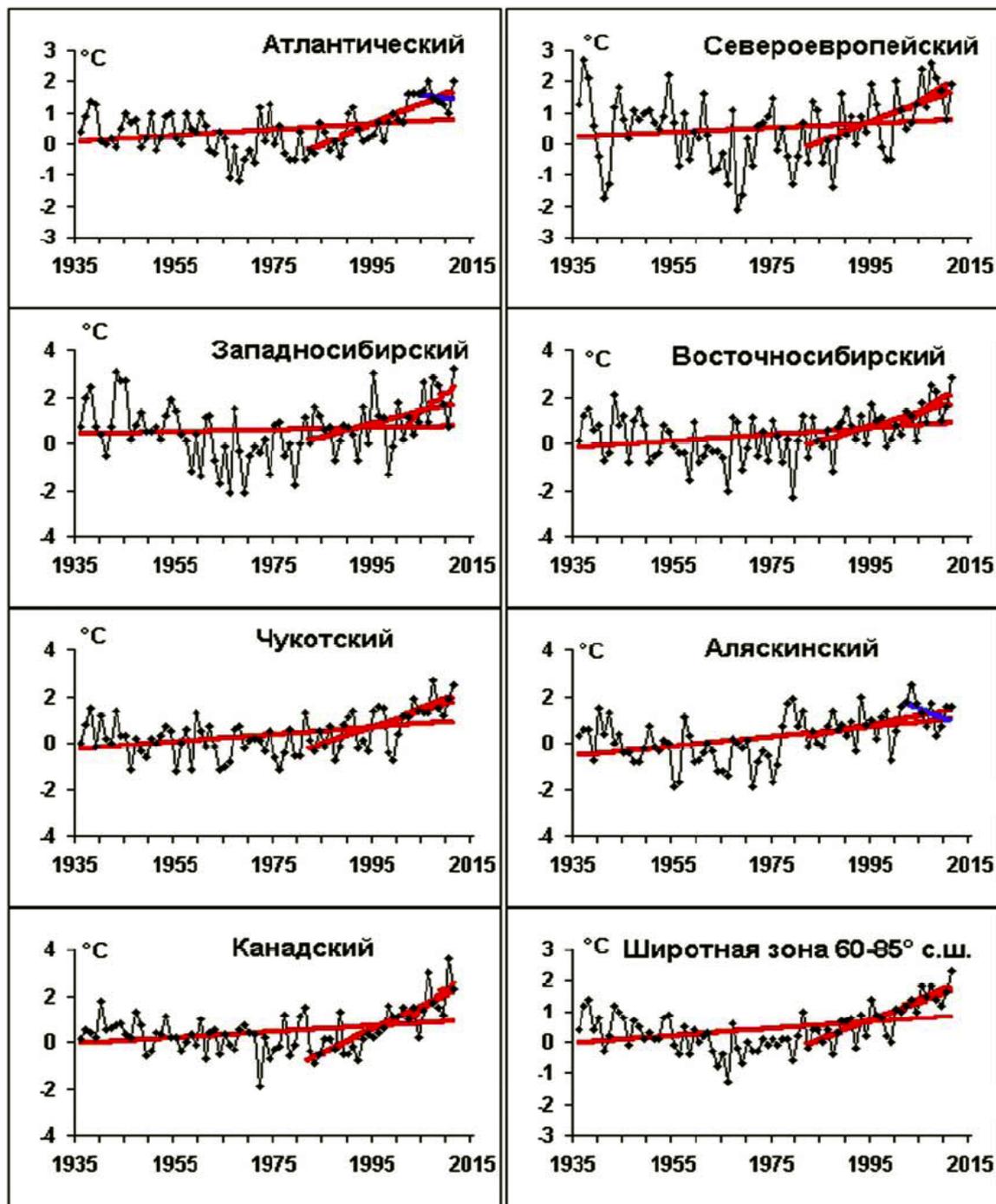
Климатический район СПО	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T$	$R$								
Атлантический	+2.0	2	+2.7	3	+1.9	5	+1.0	14	+2.4	1
Североевропейский	+1.9	9	-0.4	54	+3.7	1	+1.1	18	+3.3	2
Западносибирский	+3.2	1	+1.1	32	+6.7	1	+0.9	21	+4.1	3
Восточносибирский	+2.8	1	+1.5	21	+5.5	1	+1.9	4	+2.3	13
Чукотский	+2.5	2	+3.0	3	+4.0	3	+1.1	11	+1.8	18
Аляскинский	+1.6	10	+2.2	11	+1.8	26	+0.5	33	+1.8	17
Канадский район	+2.3	3	+4.3	2	+0.7	35	+2.0	1	+2.2	9
Канадский район (северная часть)	+2.8	3	+5.0	2	+1.6	19	+2.7	1	+2.1	11
Гренландское и Норвежское моря (северная часть)	+2.8	2	+4.4	3	+2.7	3	+1.3	11	+2.6	5
Баренцево море	+2.6	5	+1.5	38	+4.0	1	+0.9	19	+3.8	1
Карское море	+4.2	1	+2.8	21	+7.3	1	+1.6	5	+5.3	1
Море Лаптевых	+3.4	1	+2.8	11	+5.6	1	+1.9	4	+3.5	8
Восточно-Сибирское море	+3.1	2	+3.3	2	+4.8	2	+1.3	11	+2.8	8
Чукотское море	+3.2	2	+4.6	2	+3.7	7	+1.1	11	+3.2	3
Море Бофорта	+2.8	7	+3.2	6	+2.5	8	+1.8	3	+3.5	4

Временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов широтной зоны 60-85° с.ш. представлены на рисунке 5.3, а для районов арктических морей (70-85° с.ш.) – на рисунке 5.4. Для каждого ряда показаны линейные тренды за весь период с 1936 года, за последние тридцать (1982-2011 гг.) и десять (с 2002 г.) лет.

Характеристики линейного тренда, оцененные по этим рядам за 1936-2011 гг., приведены в таблице 5.3.

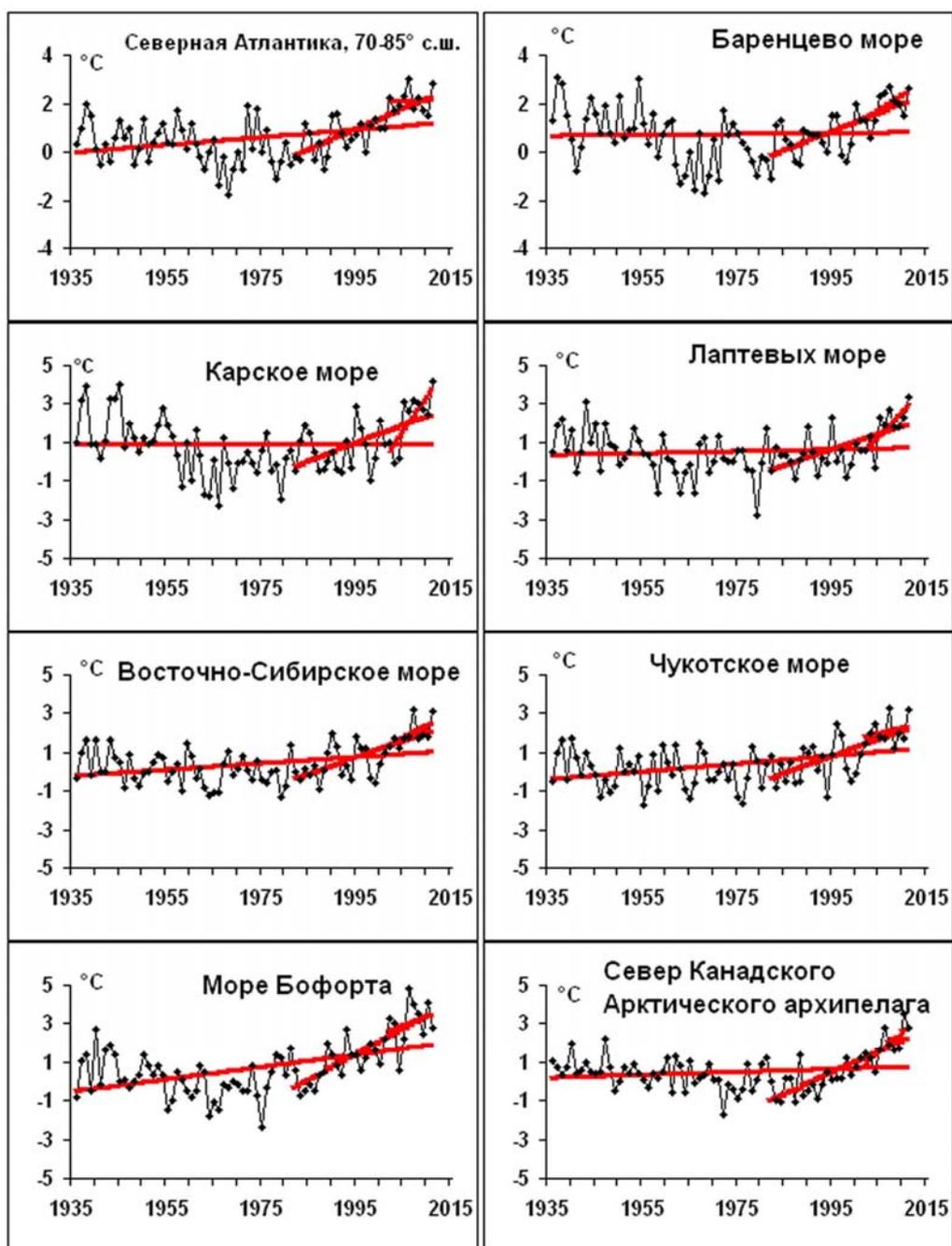
Для периода 1936-2011 гг. наблюдается статистически значимый (на 5-% уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры в целом для СПО и для отдельных широтных зон (60-70 и 70-85° с.ш.). Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 76 лет составило в этих широтных зонах 0.84, 0.99 и 0.84°C, соответственно. Значимый годовой тренд потепления наблюдается во всех климатических районах СПО, за исключением Североевропейского и Западносибирского. Для СПО в целом значимый тренд обнаруживается в весеннем и летнем сезонах (линейное повышение температуры составило, соответственно, около 1.4 и 0.8°C за 76 лет).

В течение последних тридцати лет (1982-2011 гг.) температура росла во всех регионах СПО (см. рис. 5.3). В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры составил около 1.8 °С за 30 лет (или +0.61 °С/10 лет).



**Рисунок 5.3** – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60-85° с.ш.

В районах арктических морей (рис. 5.4) в течение 1936-2011 гг. всюду знак тренда положительный. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах морей вблизи северных частей Атлантического и Тихого океанов. В районе Чукотского моря и моря Бофорта повышение среднегодовой температуры по тренду за 76 лет составило около 1.6 и 2.4 °С, а в северной части Гренландского и Норвежского морей – около 1.2 °С.



**Рисунок 5.4** – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей

#### *Атмосферные осадки.*

Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За холодный сезон принят период с октября по май, а за теплый – с июня по сентябрь. В таблице 5.4 представлены относительные аномалии (в % от нормы 1961-1990 гг.) сезонных и годовых сумм осадков в 2010/11 года для СПО и для отдельных климатических районов.

В целом для СПО в 2010/11 г. годовая сумма осадков была ниже нормы (на 3 %) – главным образом, за счет сухого холодного периода, особенно к югу от 70° с.ш. (на 11 % ниже нормы).

Менее всего осадков выпало в Атлантическом (на 19 % ниже нормы) и в Канадском районах (на 11 % ниже нормы), а более всего – в Аляскинском (на 18 % выше нормы).

**Таблица 5.3** – Коэффициенты линейного тренда средней за сезоны и за год (декабрь-ноябрь) температуры воздуха за период 1936-2011 гг. по регионам СПО:  
*b*, °C/10 лет – коэффициент линейного тренда, *D*% – вклад тренда в дисперсию

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	<i>b</i>	<i>D</i> %								
<i>Широтные зоны</i>										
60-85° с.ш.	+0.08	18.1	<b>+0.18</b>	40.4	<b>+0.10</b>	45.9	+0.08	19.5	<b>+0.11</b>	36.9
70-85° с.ш.	+0.05	8.9	<b>+0.17</b>	34.8	<b>+0.10</b>	41.8	+0.07	14.6	<b>+0.11</b>	27.4
60-70° с.ш.	<b>+0.13</b>	27.1	<b>+0.18</b>	41.7	<b>+0.11</b>	47.8	+0.08	21.1	<b>+0.13</b>	44.1
<i>Районы СПО</i>										
Атлантический	+0.13	22.6	<b>+0.13</b>	33.1	<b>+0.09</b>	33.7	+0.05	12.9	<b>+0.09</b>	29.1
Североевропейский	-0.02	1.4	<b>+0.24</b>	34.9	+0.06	14.4	+0.02	3.1	+0.07	14.8
Западносибирский	-0.11	9.8	+0.21	22.9	+0.06	16.5	+0.02	1.9	+0.04	7.8
Восточносибирский	+0.16	19.6	<b>+0.23</b>	31.0	<b>+0.09</b>	26.8	+0.07	9.3	<b>+0.14</b>	30.5
Чукотский	+0.04	5.2	<b>+0.23</b>	31.9	<b>+0.17</b>	48.1	<b>+0.19</b>	29.1	<b>+0.16</b>	39.2
Аляскинский	<b>+0.34</b>	33.2	<b>+0.22</b>	28.0	<b>+0.15</b>	44.1	+0.09	13.3	<b>+0.21</b>	45.7
Канадский	<b>+0.20</b>	25.2	+0.05	7.8	<b>+0.09</b>	30.8	<b>+0.18</b>	32.6	<b>+0.13</b>	31.5
<i>Моря как часть климатического района</i>										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	+0.17	19.1	<b>+0.22</b>	38.8	<b>+0.16</b>	52.6	+0.09	16.6	<b>+0.16</b>	35.3
Баренцево море	-0.13	12.0	<b>+0.15</b>	23.2	+0.05	14.1	+0.01	1.6	+0.02	3.7
Карское море	-0.20	14.8	+0.19	20.4	+0.03	8.7	-0.01	0.8	0.00	0.6
Море Лаптевых	-0.03	03.8	+0.16	21.2	+0.07	18.7	-0.01	1.6	+0.05	9.2
Восточно-Сибирское море	+0.12	18.5	<b>+0.21</b>	28.3	<b>+0.15</b>	37.6	+0.16	21.2	<b>+0.16</b>	36.5
Чукотское море	+0.18	20.7	<b>+0.25</b>	29.3	<b>+0.18</b>	44.4	<b>+0.17</b>	26.6	<b>+0.21</b>	40.5
Море Бофорта	<b>+0.39</b>	48.5	<b>+0.15</b>	25.0	<b>+0.13</b>	38.4	<b>+0.17</b>	26.0	<b>+0.32</b>	50.1
Северная часть Канадского района	+0.11	12.2	+0.01	2.0	+0.05	12.8	<b>+0.14</b>	26.3	+0.08	17.8

*Примечание.* Жирным курсивом выделены значения, статистически значимые на уровне значимости 5%

**Таблица 5.4** – Относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2010/11 году (в % от нормы 1961-1990 гг.)

Климатический район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	73.5	98.6	81.3
Североевропейский	104.1	99.1	101.2
Западносибирский	109.0	97.9	103.6
Восточносибирский	99.6	110.9	105.6
Чукотский	88.3	122.1	103.1
Аляскинский	130.7	106.2	117.5
Канадский	81.1	97.0	89.4
60-70 °с.ш.	88.7	106.6	94.3
70-85 °с.ш.	117.0	94.9	111.3
60-85 °с.ш.	92.0	103.7	96.7

Таблица 5.5 – Оценки линейного тренда регионально осредненных сезонных и годовых сумм осадков за период 1936-2011 гг.

$b$ , мм/10 лет – коэффициент линейного тренда,  $D$ ,% - вклад тренда в полную дисперсию.

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	$b$	$D\%$	$b$	$D\%$	$b$	$D\%$
<i>Южная часть (60-70° с.ш.)</i>						
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	+3.79	8.8	-0.73	4.6	+3.06	9.0
Североевропейский (южная часть)	<b>+15.15</b>	68.8	+2.57	17.6	<b>+17.72</b>	66.6
Западносибирский (южная часть)	<b>+9.34</b>	61.6	-2.56	17.5	<b>+6.78</b>	35.0
Восточносибирский (южная часть)	<b>+2.56</b>	35.7	+0.64	6.9	<b>+3.20</b>	27.8
Чукотский (южная часть)	-0.51	3.2	-0.91	6.9	-1.42	7.2
Аляскинский (южная часть)	+2.51	15.9	-2.54	12.8	-0.02	0.1
Канадский (южная часть)	+0.63	8.2	<b>+3.31</b>	37.0	<b>+3.94</b>	34.2
60-70° с.ш.	<b>+4.78</b>	41.6	+0.02	0.4	<b>+4.95</b>	41.4
<i>Северная часть (70-85° с.ш.)</i>						
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	<b>+9.17</b>	47.4	+0.43	3.9	<b>+9.60</b>	43.5
Баренцево море	<b>+6.24</b>	51.9	-0.31	2.6	<b>+5.93</b>	35.1
Карское море	+0.42	4.5	-1.77	18.0	-1.35	9.4
Море Лаптевых	<b>-3.25</b>	37.7	<b>-2.73</b>	25.7	<b>-5.98</b>	42.3
Восточно-Сибирское и Чукотское моря	<b>-8.40</b>	57.7	<b>-5.29</b>	39.0	<b>-13.69</b>	58.1
Аляскинский (северная часть)	+0.27	2.8	+1.70	12.7	+1.97	10.7
Канадский (северная часть)	+1.08	16.9	+0.74	12.2	+1.82	19.0
70-85° с.ш.	+1.03	19.3	-0.90	18.8	+0.13	1.6
<i>СПО (60-85° с.ш.)</i>						
Атлантический	+5.79	19.3	-0.35	3.0	+5.44	16.7
Североевропейский	<b>+11.50</b>	72.8	+1.52	14.2	<b>+13.02</b>	65.4
Западносибирский	<b>+5.58</b>	58.0	-2.23	22.8	<b>+3.35</b>	26.9
Восточносибирский	+0.34	6.0	-0.65	8.0	-0.31	3.5
Чукотский	<b>-3.55</b>	26.4	-2.60	23.0	<b>-6.15</b>	33.2
Аляскинский	+2.14	16.3	-1.84	10.7	+0.30	1.3
Канадский	0.81	13.6	<b>+2.35</b>	38.3	<b>+3.17</b>	36.7
60-85° с.ш.	<b>3.27</b>	41.5	-0.51	11.2	<b>+2.77</b>	31.9

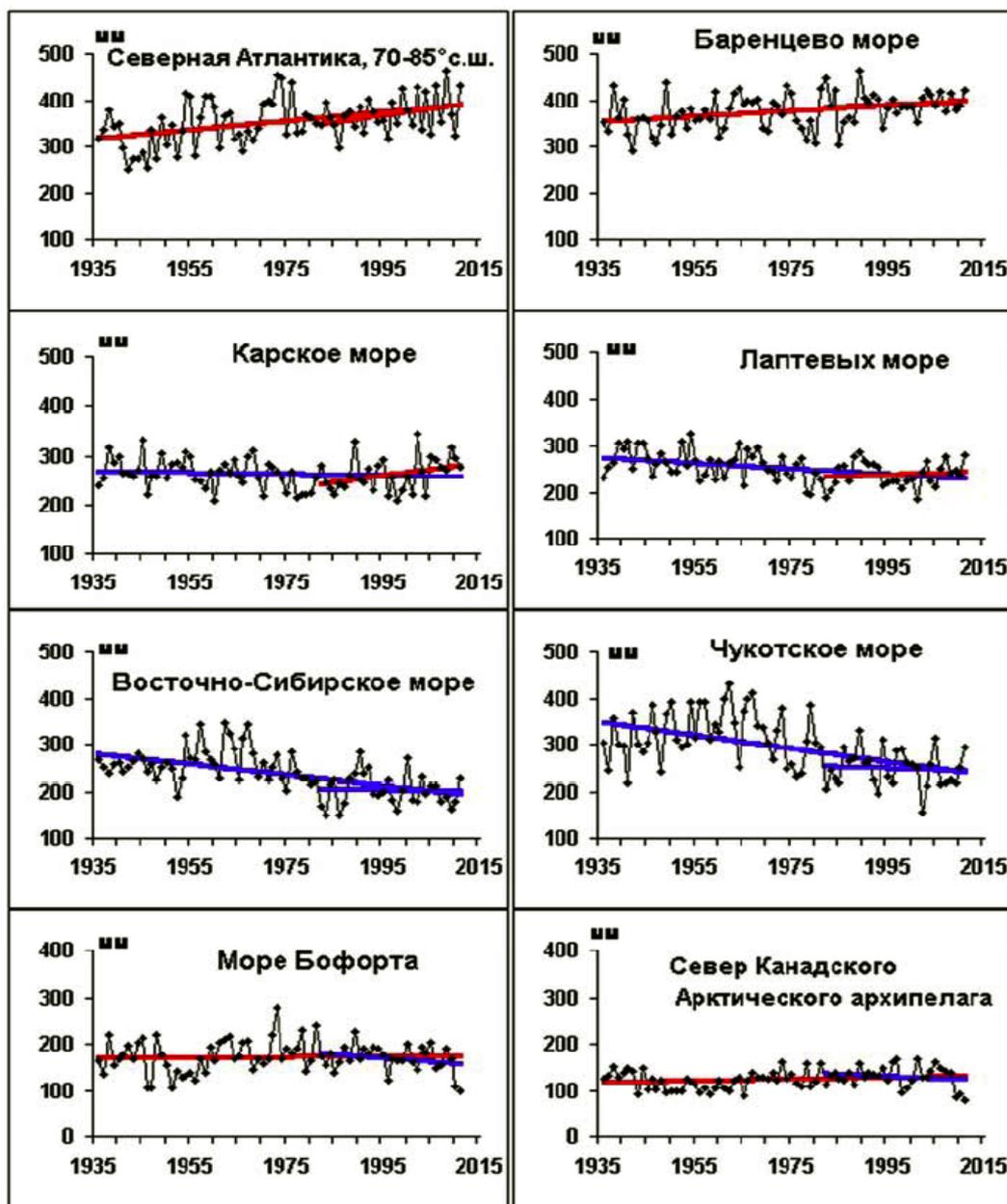
Примечание. Жирным курсивом выделены значения, статистически значимые на уровне значимости 5%

На рисунке 5.5 приведены временные ряды аномалий годовых сумм осадков для районов арктических морей. В таблице 5.5 представлены оценки трендов в изменении сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2011 г. по северным (70–85° с.ш.), южным (60–70° с.ш.) частям климатических районов, а также для районов в целом.

В многолетних изменениях годовых сумм осадков за период 1936-2011 гг. в СПО наблюдается тенденция их статистически значимого увеличения со средней скоростью около 3 мм/10 лет. При этом рост осадков преимущественно отмечается в канадско-европейском секторе, включая Атлантику, и, в основном, в холодный период года.

Тенденция к убыванию осадков уверенно обнаруживается в Чукотском районе в течение всего года и в районах арктических морей азиатского сектора СПО в теплый период года. Более всего рост осадков выражен в южной части Североевропейского

района (15.2 мм/10 лет для осадков холодного периода и 17.7 мм/10 лет для годовых сумм), а уменьшение – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях (13.7 мм/10 лет для годовых сумм осадков).



**Рисунок 5.5** – Временные ряды регионально осредненных годовых сумм осадков

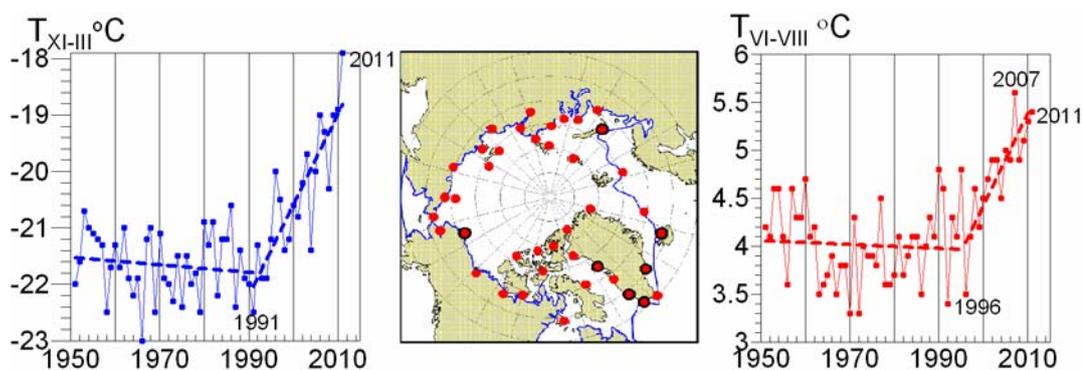
В заключение отметим, что результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

### *Морская Арктика.*

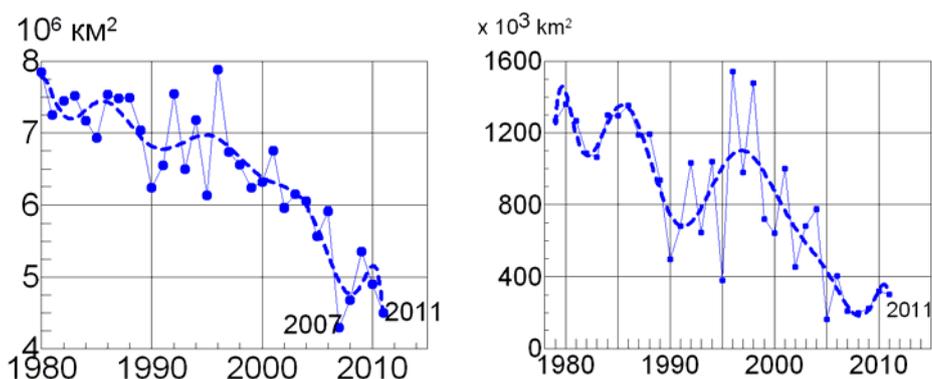
Изменения температуры в области морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана, влияют на летнее таяние ледяного покрова и его зимнее разрастание. Для оценки изменений приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в этой области использованы данные 41 метеорологической станции на островах и побережье Северного Ледовитого океана (рис. 5.6) Средняя за ноябрь-март и за летние месяцы (июнь-август) ПТВ на этих станциях, начиная с 1951 года, показаны на рисунке 5.6, из которого видно, что рост температур

резко ускорился после 1990 года с максимумом в 2011 году, а рост летних температур - после 1996 года, с прежним максимумом в 2007 году.

**Морские льды.** Морской ледяной покров играет важную роль во взаимодействии между Арктикой и остальной частью глобальной климатической системы и, в то же время, является индикатором изменений арктического климата. Наблюдаемое с начала 1980-х годов сокращение площади морского льда (ПМЛ) резко ускорилось в конце 1990-х годов до абсолютного минимума (4.30 млн. км<sup>2</sup> по данным NSIDC) в сентябре 2007 года (рис. 5.7-5.8). В сентябре 2008 года средняя ПМЛ возросла до 5.67 млн. км<sup>2</sup>, в сентябре 2009 года до 5.36 млн. км<sup>2</sup>, а в сентябре 2010 года составила 5.90 млн. км<sup>2</sup>. В сентябре 2011 года площадь льда снова сократилась и составила 4.61 млн. кв. км, что является вторым после 2007 года минимальным значением. В Сибирских арктических морях (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) ПМЛ в сентябре после 1998 года и до 2005 года сокращалась еще более быстрыми темпами. В последующие годы, включая 2011 год, дальнейшего сокращения не происходило.



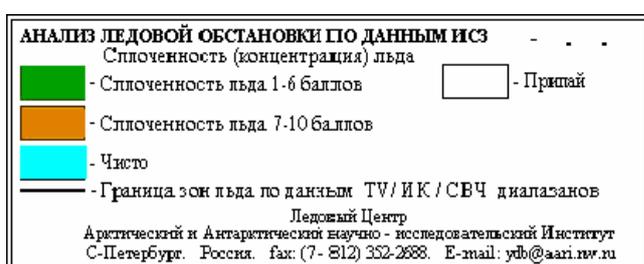
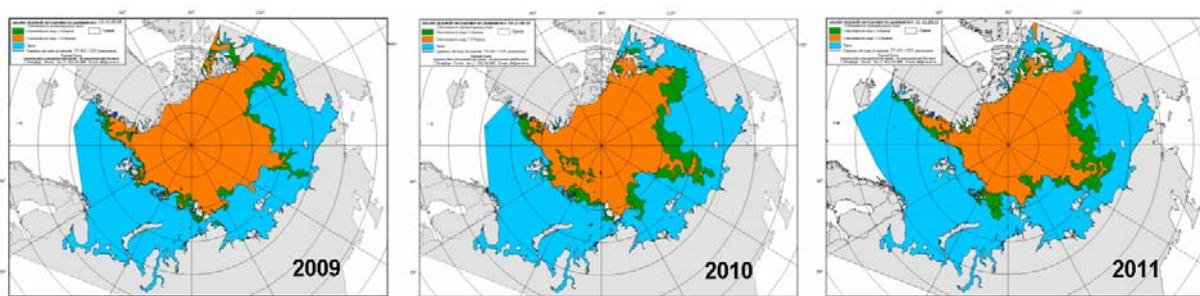
**Рисунок 5.6** – Средние за ноябрь-март (XI-III) и за летние месяцы (VI-VIII) ПТВ на 41 станции в морской Арктике в 1951-2011 гг. Положение станций показано в центре. Пунктирными линиями показаны тренды на отрезках ряда до начала потепления и в период потепления.



**Рисунок 5.7** – Средняя площадь морского льда в сентябре в Арктике (слева, по данным NSIDC [http://nsidc.org/data/seaice\\_index/index.html](http://nsidc.org/data/seaice_index/index.html)) и в Сибирских арктических морях (справа, по данным ААНИИ <http://www.aari.nw.ru/>) в 1979-2011 гг. Пунктирной кривой показан ход, сглаженный ортогональным полиномом 10 степени.

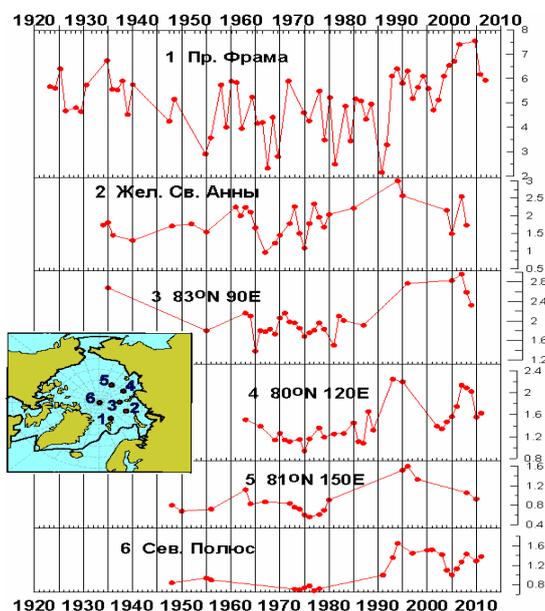
**Северный Ледовитый океан.** Для мониторинга изменений климата в морской Арктике особое значение имеет слежение за атлантической водой (АВ), поступающей в Арктический бассейн (конечное звено североатлантической части глобального океанического «конвейера»). Данные о температуре АВ, полученные в ходе экспедиционных исследований по программам МПГ 2007/08гг. показали сохранение

повышенных значений температуры АВ в Арктическом бассейне, установившихся с середины 1990-х годов. Наблюдения в 2009 -2011 годах в рейсах НЭС «Академик Федоров», на дрейфующих станциях «Северный полюс-36», «Северный полюс-37», «Северный полюс-38» и в других экспедициях показали понижение температуры АВ (рис. 5.9).



**Рисунок 5.8** – распределение сплошности льда в начале второй декады сентября в 2009, 2010 и 2011 гг. (Данные с сайта <http://www.aari.ru/projects/ECIMO/index.php>).

Эта тенденция подтверждается данными инструментальных измерений температуры и объема АВ на разрезе из притопленных буйковых станций через пролив Фрама, установленных в 1997 году немецкими и норвежскими океанографами (<http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/>).



**Рисунок 5.9** Изменения температуры АВ по данным измерений в шести районах Арктического бассейна за 1920-2011 гг. (см. врезку). Данные за 2011 год получены в экспедиции «Шельф-2011» на НЭС «Академик Федоров» и на сайте <http://psc.apl.washington.edu/northpole>)

Более детальные сведения о происходящих изменениях климата в Северной полярной области и Северном Ледовитом океане можно найти на сайте ААНИИ <http://www.aari.nw.ru>

## 6. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА<sup>1</sup>

*Многолетнемерзлые породы (ММП)*, часто называемые «вечной мерзлотой», в России занимают около 65% территории страны, причем на площади в 7 млн км<sup>2</sup> они имеют практически сплошное распространение (ММП занимают более 90% площади), 1.8 млн км<sup>2</sup> – прерывистое (50%-90%) и 2.5 млн км<sup>2</sup> – островное (10%- 50%) и редкоостровное (менее 10%). Подробную информацию о мощности мерзлых толщ на территории России и их основных характеристиках можно найти на Интернет-портале [www.permafrost.su](http://www.permafrost.su), поддерживаемом ФГБУ ГГИ. Состояние вечной мерзлоты чаще всего характеризуют двумя параметрами – ее температурой и глубиной сезонного таяния (мощностью сезонно-талого слоя - СТС) в теплый период года.

В 1990 году была создана международная программа мониторинга мощности СТС, часто обозначаемая англоязычной аббревиатурой CALM (Circumpolar Active-layer Monitoring). Она входит в программы Глобального Мониторинга Земли (Global Terrestrial Observing System - GTOS) и Глобального Мониторинга Климата (Global Climate Observing System - GCOS), осуществляемых под эгидой Всемирной Метеорологической Организации. Включение CALM в систему GTOS/GCOS сделало необходимым использование международных протоколов, в частности для выбора точек наблюдений. Они должны выбираться так, чтобы получить целостную региональную и глобальную картину СТС при максимальном возможном использовании уже существующих мест проведения наблюдений.

В настоящее время CALM является основным источником данных о межгодовой изменчивости мощности СТС, на основании которых можно изучать её отклик на изменения климата. По состоянию на 2011 год измерения по этой программе проводятся в 168 пунктах наблюдений на территории 15 стран по всему земному шару. На территории России в разное время было организовано 49 площадок, осуществляющих наблюдения по стандартизованной методике, однако сколько-нибудь продолжительные наблюдения (порядка 10 лет) имеются менее чем на 20 из них.



**Рисунок 6.1** - Измерение мощности сезонно-талого слоя при помощи ручного щупа

Наиболее распространенным является метод измерения СТС с помощью металлического щупа, основанный на разнице в плотности протаявшего и мерзлого грунта (см. рис. 6.1). Основным недостатком является ограниченность применения, возможного только для тонкодисперсных отложений, так как даже сравнительно небольшое содержание обломочного материала в грунте может привести к заниженным значениям СТС. Существенным отличием обработки результатов измерений по программе CALM и

<sup>1</sup> В сборе данных о состоянии вечной мерзлоты и в подготовке текста большую помощь оказал Д.А. Стрелецкий, координатор международной программы CALM по измерению мощности СТС (Институт Криосферы Земли СО РАН)

российских ГОСТ является осреднение данных в каждой точке измерений. Согласно ГОСТ, рекомендуется производить три измерения в каждой точке, принимая за глубину оттаивания максимальное значение. Согласно методике CALM, данные группы измерений в каждой точке осредняются.

Первичные данные представляют собой ежегодные измерения максимальной мощности СТС в 121 точке в узлах регулярной сетки с шагом 100 м на площадках размером 1 км<sup>2</sup> (1000 м × 1000 м), или же с шагом 10 м на меньших площадках размером 100 м × 100 м. Ежегодно пополняемые данные доступны в интернете на <http://www.udel.edu/Geography/calm/>. Там представлены фотографии площадок и метаданные с описанием ландшафтных и почвенных характеристик. Некоторые площадки имеют также данные по высоте снежного покрова и влажности грунта. Данные по Российским площадкам CALM доступны также на русскоязычном специализированном интернет портале [www.permafrost.su](http://www.permafrost.su).

Глубокое оттаивание ММП в аномально теплые годы или же при потеплении климата может затронуть переходный слой с повышенным содержанием льда (см. рис. 6.2). Вытаивание льда при этом может вызвать просадку грунта и изменение рельефа. Если этот процесс не скомпенсирован сезонным пучением, наблюдается понижение рельефа, которое может привести к заболачиванию и развитию термокарста. Поэтому важной частью мониторинга СТС является определение пучения и просадки грунта. При этом могут быть использованы как точечные стационарные методы, например, пучиномеры, так и площадные нестационарные, например, оптическое или лазерное нивелирование или спутниковое нивелирование с помощью высокоточных GPS. Все перечисленные методы опробованы на различных площадках CALM как в России, так и за рубежом. Длительные ряды наблюдений за осадкой грунтов ведутся на северо-востоке Европейского Севера, кратковременные замеры также проводились в некоторых других регионах криолитозоны России.

#### ***Динамика мощности СТС за период наблюдений по проекту CALM***

В таблице 6.1 приведены данные измерений по проекту на площадках, где имеются данные за 5 лет или более за период 1999-2011 гг.: координаты, значения мощности СТС за каждый год, а также тренды за период 1999-2011 гг. для площадок, наиболее полно представленных измерениями, и изменение мощности СТС в 2011г, по сравнению с 2010. Некоторые действовавшие в 2011 году российские площадки, измерения на которых были начаты после 2007 г., в таблицу включены не были, поскольку данные не обладают достаточной продолжительностью для того, чтобы по ним можно было судить о современных изменениях. Полный объем данных по всем российским площадкам имеется на сайте [www.permafrost.su](http://www.permafrost.su). Обращает на себя внимание достаточно большая дисперсия на многих площадках, указывающая на сильную межгодовую изменчивость мощности СТС, в особенности на европейской территории севера России. Эти данные позволяют оценить многолетнюю динамику мощности СТС криолитозоны России.



**Рисунок 6.2** - Анализ вертикального разреза многолетнемерзлых пород, содержащих ледяные жилы.

Европейский Север представлен тремя площадками (Таблица 6.1), более чем десятилетние ряды наблюдений на которых указывают на увеличение мощности СТС от 2 до 6 см/год. На некоторых площадках увеличение СТС сопровождается осадкой поверхности, повлекшей изменения рельефа в районе Воркуты. Из 8 площадок на территории Западной Сибири только три имеют наблюдения более 10 лет, включая Надым, где наблюдения проводятся с 1971 г. Уменьшение СТС на площадках Западной Сибири составляет от 0 до 2 см/год. Следует принимать во внимание, что в 2009 г. полевой сезон на некоторых площадках CALM этого региона был завершён раньше обычного, из-за чего измерения СТС были проведены 1 августа - почти на месяц раньше, чем обычно. Очевидно, это привело к занижению данных по отношению к максимальной величине СТС. Соответствующие значения в таблице 6.1 помечены звездочкой и приведены лишь как ориентировочные; значения тренда для этих площадок получены с пропуском 2009 г. (также помечены в таблице звездочкой).

Семь площадок было организовано в разное время в Центральной Сибири. Короткие ряды данных не позволяют достоверно оценить тренды СТС, которые составили около 0-2 см/год. Северо-восточная Сибирь представлена сетью из 24 площадок, из которых 17 действующие. Средний ряд наблюдений по действующим площадкам составляет около 10 лет, в некоторых пунктах до 15 лет. Увеличение СТС по площадкам региона в среднем составляет 1.5 см/год. На трех площадках на Чукотке с рядом наблюдений более 10 лет изменение СТС составляет около 1 см/год. Измерения СТС, проводимые на Камчатке, также показывают достаточно стабильный СТС ( $\pm 1$  см/год). Таким образом, европейский север России характеризуется наибольшим приростом СТС за период наблюдений. В целом, тренд СТС уменьшается по мере продвижения в восточные районы российской криолитозоны.

**Таблица 6.1** – Данные измерений мощности СТС на 45 российских площадках CALM, тренды за период 1999-2011 гг. и изменения в 2011 г. по сравнению с 2010 г. ( $\Delta z$ , см)

Код площадки	с.ш.	в.д.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Тренд см/год	$\Delta z$ , см
Европейский север																	
<b>R2</b>	67	64	64	69	73	76	77	78	81	84	89	87	86	89	88	<b>+2.0</b>	-1
<b>R23</b>	67	63	91	111	111	110	113	125	131	137	138	152	144	138	144	<b>+4.2</b>	6
<b>R24</b>	68	54	89	106	106	104	113	120	115	114	125	124	112	104	107	<b>+1.1</b>	3
Западная Сибирь																	
<b>R1</b>	65	72	129	126	132	143	126	134	141	129	129	136	101	114	129	<b>-1.1</b>	15
<b>R3</b>	69	66	92	106	111	115	109	114	116	116	114	114	85*	98	102	<b>+0.1*</b>	4
<b>R5</b>	70	68	87	92	92	92		94	97	94	92	93	76*	87	87	<b>-0.1*</b>	0
Центральная Сибирь																	
<b>R29A</b>	71	129			27		35	25	33	35	44	38	28	38	39	<b>1.0</b>	1
<b>R29B</b>	72	130						26	33	32	44	37	25	28	35	<b>+1</b>	7
<b>R32</b>	69	88							81	91	90	94	94	94	96	<b>+2.0</b>	2
Северо-Восточная Сибирь																	
<b>R13A</b>	70	159	36	33	38	44	49		50	42	55	50	36	52	46	<b>+1.0</b>	-6
<b>R13B</b>	70	159		31	39		48		46	32	56	37	25	50	46	<b>+0.5</b>	-4
<b>R14</b>	69	156	38	41					47	44		40	46	49	47		-2
<b>R15A</b>	69	158	32		36					30	60	38	28	48	32		-16
<b>R15B</b>	69	158	36		32					44	54	44	39	45	54		9
<b>R16</b>	69	158	30						54	42	75	49	43	56	72		16
<b>R17</b>	68	161		45	47		51	55	54	53	60	49	47	56	61	<b>+0.9</b>	5
<b>R18</b>	68	161	74	75	75	76	81	85	82	83	86	80	78	84		<b>+0.8</b>	
<b>R18A</b>	68	161					91	97	100	96	104	98	96	104			

Таблица 6.1 (продолжение)

Код площадки	с.ш.	в.д.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Тренд см/год	Δz, см
<b>Северо-Восточная Сибирь</b>																	
R19	68	160	67	72			84	92	95	93		92	92	103	94	+2.3	-9
R20	68	161	52	46	50		48	56	53	54	57	55	49	53	59	+0.6	6
R21	68	161	83	84	84		96	103	113	101	117	100	96	110	105	+2.0	-5
R22	69	154	46					51	53		57	53	51	57			
R25	69	159	23	37	38				55	45	65	43	42	65	60	+2.4	-5
R31	70	147						39	42	44	48	47	49	52	53		1
R36	69	154							38	37	43	43	41	31			
R38A	68	161					115	129	148	137	151	133	122	145			
R38C	68	161					72	77	80	81	84	79	78	82			
<b>Чукотка</b>																	
R9	64	176	39	42	44	46	50	57	57	53	59	52	52	52		+1.3	
R11	64	177	53	46	47	52	55	64	62		67	61	60	53		+1.1	
R27	65	-171		59	60	62	64	65	67	59	74	61	64	74	65	+0.7	-9
<b>Камчатка</b>																	
R30A	55	160					78	67	71	73	72	73	80	76	72	+0.4	-4
R30B	55	160						49	56	54	53	56	63	58	59	+1.3	1
R30C	55	160								44	45	49	49	50	50		0

\*) см. пояснения в тексте

На рисунке 6.3 приведена карта расположения российских площадок CALM. Различия в обозначаяющих их символах характеризуют тренд мощности СТС, рассчитанный по данным за период 1999-2011 г. Из-за небольшой продолжительности рядов надежность этих оценок весьма мала. В то же время, используя полный объем имеющихся данных, можно достаточно уверенно констатировать заметное увеличение мощности СТС в начале 21 века по сравнению с серединой 1990х годов, имевшее место на большинстве площадок.

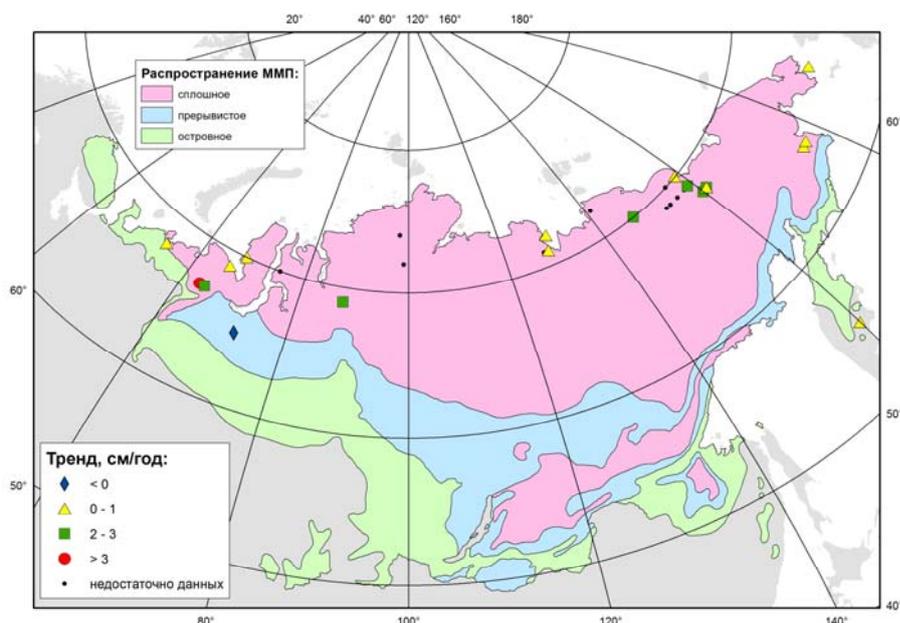


Рисунок 6.3 – Расположение российских площадок CALM с указанием величины тренда мощности СТС (см/год), рассчитанного по данным за десятилетие 1999-2011 (см. пояснения к символам на карте).

### *Особенности состояния вечной мерзлоты в 2011 году.*

В 2011 данные о мощности СТС на территории России были получены на 21 площадке. За исключением Чукотки, где измерения в 2011 году на большинстве площадок не проводились, регионы были представлены примерно тем же количеством пунктов наблюдений, что и в предыдущие годы. Учет данных за 2011 г. в целом не сильно повлиял на оценки долгопериодных трендов, представленных в табл. 6.1. Сопоставление с предшествующим 2010 годом выявляет следующие региональные особенности.

На севере ЕЧР данные по трем площадкам показали в целом увеличение мощности СТС по сравнению с 2010 годом. При этом на двух из трех площадок СТС за 2011 г. превысил средние значения за период 1999-2011 на 10-15%.

В Западной Сибири 3 площадки, на которых в 2011 г. проводились измерения, в целом показали увеличение мощности СТС по сравнению с предыдущим годом на фоне небольших отрицательных трендов СТС за последние 12 лет. Особенно сильный рост по сравнению с предыдущим годом отмечается в южной криолитозоне Западной Сибири притом, что значения за 2011 г. в целом до 5% ниже средних за период наблюдений.

На севере Восточной Сибири на фоне положительных трендов за последние 12 лет, в 2011 г. мощность СТС повсеместно была выше, чем в предыдущий год (на 5-15%).

На Чукотке отмечено уменьшение СТС по сравнению с прошлым годом. Значение СТС в 2011 г. примерно соответствует среднему за период наблюдений.

На Камчатке СТС был в пределах многолетней нормы, отличаясь от нее не более чем на 5%.

## 7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

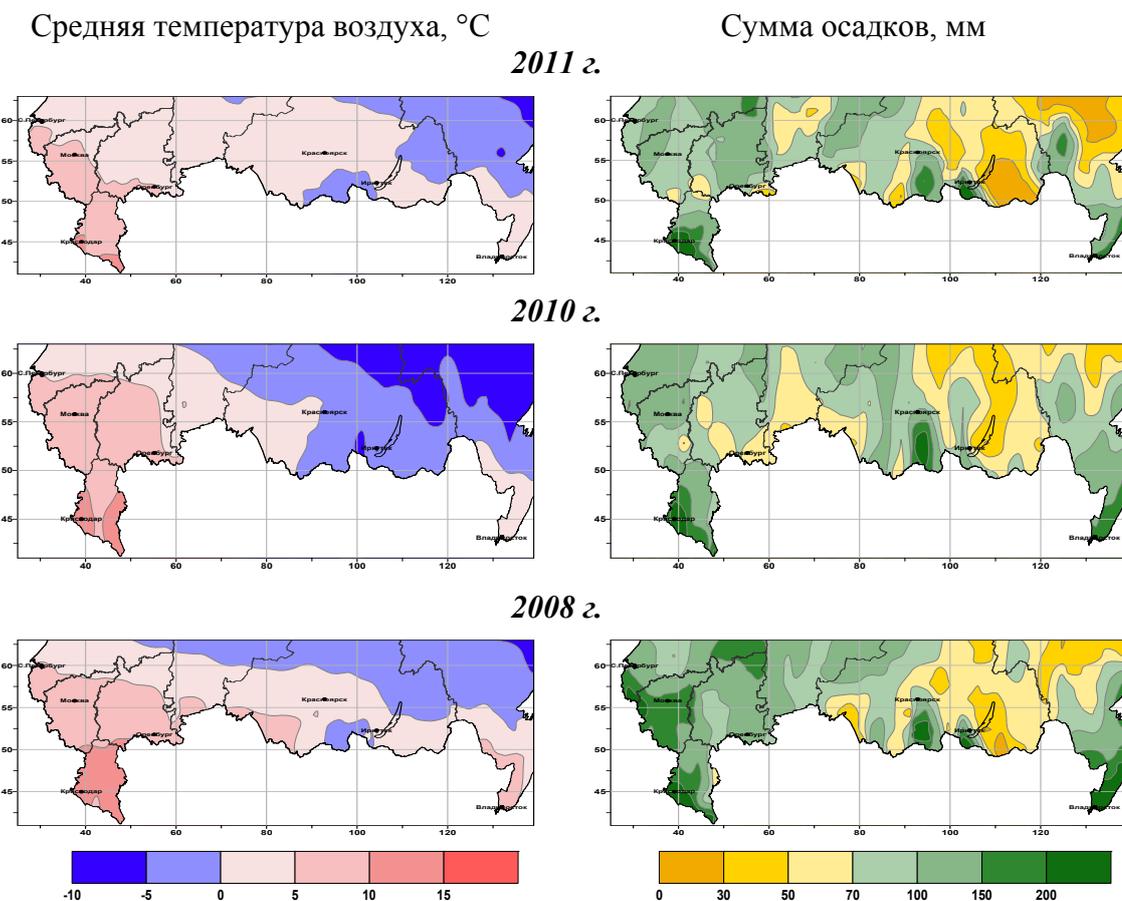
Климатические условия, определившие продуктивность сельского хозяйства России в 2011 году, рассматриваются на фоне лет с экстремальными условиями: острозасушливого, неурожайного 2010 г. и благоприятного, высокоурожайного 2008 года. Эти два года задали почти двукратный коридор (108 млн. т в 2008 г. и 61 млн. т в 2010 г.) возможных климатогенных изменений урожаев зерна в России. Сравнительная характеристика агрометеорологических условий прошлого года и экстремальных реперных лет (2010 и 2008 гг.) представлена в таблице 7.1. Следует заметить, что эти данные относятся к районам с развитым сельским хозяйством, расположенным, как правило, южнее широты Санкт-Петербурга. Более 60% сельскохозяйственной продукции России производится в трех федеральных округах: Южном, Приволжском и Центральном, которые выделены жирным шрифтом в таблице 7.1 как наиболее значимые в сельскохозяйственном отношении. Детальные данные о распределении температуры и осадков по территории России весной и летом 2011 г. представлены на рисунках 7.1 и 7.2. Здесь же для сравнения приведены аналогичные карты распределения температуры и осадков в 2010 и 2008 гг.

**Таблица 7.1** – Характеристика агрометеорологических условий вегетации сельскохозяйственных культур в 2011 году по сравнению с условиями низкоурожайного 2010 и высокоурожайного 2008 годов

Федеральный округ	Средняя температура воздуха, °С				Длина вегетационного периода	Сумма температур выше 5°С	Сумма осадков за период, мм			
	зима	весна	лето	осень			зима	весна	лето	осень
<b>2011 г.</b>										
Сев.-Западный	-12,5	3,8	17,4	5,4	185	2446	134	104	196	190
<b>Центральный</b>	-9,2	5,8	20,1	5,9	191	2950	160	88	205	124
<b>Приволжский</b>	-12,1	4,2	19,6	4,3	183	2812	134	101	156	185
<b>Южный</b>	1,1	9,8	24,2	10,3	234	4029	173	198	173	152
Уральский	-17,2	2,9	16,5	2,7	181	2432	69	83	231	118
Сибирский	-21,5	2,7	16,8	1,2	177	2299	54	71	202	89
Дальневосточный	-13,7	0,3	16,3	4,3	161	2166	149	149	255	234
<b>Россия</b>	-14,4	3,3	17,9	3,8	180	2539	118	107	205	155
<b>2010 г.</b>										
Сев.о-Западный	-12,4	4,3	18,1	3,7	175	2490	117	125	211	190
<b>Центральный</b>	-10,2	7,5	22,7	6,7	187	3237	122	104	123	159
<b>Приволжский</b>	-14,3	6,1	22,7	5,8	178	3161	118	80	85	153
<b>Южный</b>	0,9	11,2	26,2	14,0	285	4872	194	172	99	168
Уральский	-20,2	3,7	18,4	3,3	173	2504	68	72	119	99
Сибирский	-24,5	-0,8	16,3	1,7	150	1984	58	76	191	112
Д.-восточный	-14,8	-0,7	16,6	4,4	158	2207	125	167	316	223
<b>Россия</b>	-16,3	2,9	18,9	4,3	173	2621	104	108	177	156
<b>2008 г.</b>										
Сев.-Западный	-3,9	3,5	15,2	5,4	185	2142	128	129	263	190
<b>Центральный</b>	<b>-5,1</b>	<b>7,9</b>	<b>18,1</b>	<b>7,2</b>	<b>218</b>	<b>2928</b>	<b>78</b>	<b>164</b>	<b>225</b>	<b>121</b>
<b>Приволжский</b>	<b>-10,8</b>	<b>7,1</b>	<b>18,8</b>	<b>6,2</b>	<b>204</b>	<b>2838</b>	<b>107</b>	<b>117</b>	<b>190</b>	<b>150</b>
<b>Южный</b>	<b>-1,4</b>	<b>12,4</b>	<b>23,7</b>	<b>13,0</b>	<b>268</b>	<b>4458</b>	<b>133</b>	<b>199</b>	<b>148</b>	<b>136</b>
Уральский	-13,3	4,0	17,6	4,4	179	2316	56	104	183	143
Сибирский	-17,1	2,3	17,0	1,9	157	2123	54	70	203	126
Д.-восточный	-14,7	2,4	16,0	4,0	166	2202	77	164	231	223
<b>Россия</b>	<b>-11,5</b>	<b>4,3</b>	<b>17,4</b>	<b>4,7</b>	<b>184</b>	<b>2483</b>	<b>85</b>	<b>125</b>	<b>211</b>	<b>158</b>

Зима на Европейской части России в 2011 г. сложилась менее холодной по сравнению с зимами 2010 и 2008 гг. Количество осадков, выпавших зимой 2011 г. в основных сельскохозяйственных районах Европейской России, превысило уровень как засушливого 2010 г., так и достаточно увлажненного 2008 года. Исключение составила лишь территория Южного ФО, где количество зимних осадков 2010/11 было на 10-15 % меньше, чем зимой 2009/10 г. В целом условия зимнего периода 2010/11 г. оцениваются как достаточно благоприятные для перезимовки озимых зерновых культур.

Весна на всей Европейской территории России в 2011 г. была значительно (на 1.5-2.0°C) более холодной по сравнению с весной 2010 г., что способствовало сохранению накопленных за предшествующий осенне-зимний период запасов почвенной влаги. В наиболее подверженных засухам регионах Приволжского и Южного ФО весной 2011 г. выпало в среднем на 20 мм больше осадков, чем в засушливом 2010 г., но все же несколько меньше, чем в достаточно увлажненном 2008 г.



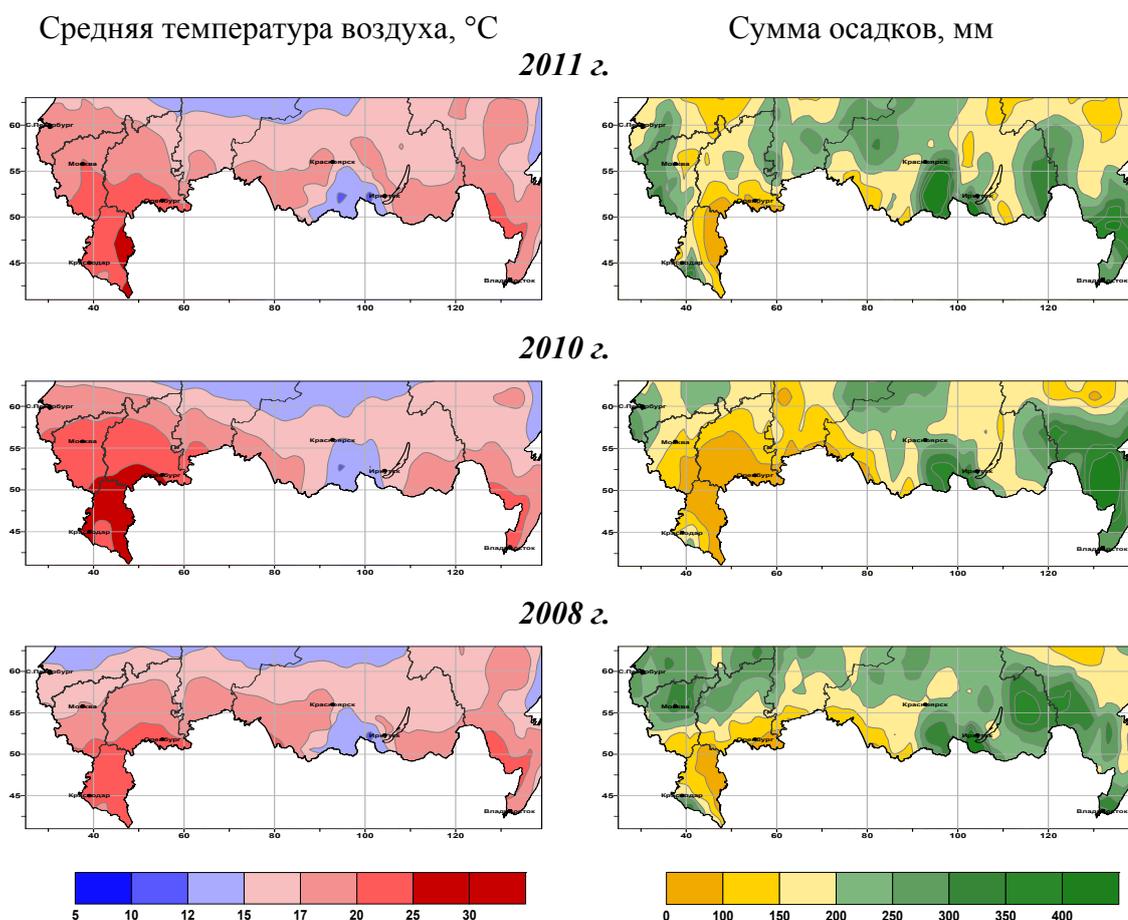
**Рисунок 7.1** – Средняя температура воздуха и сумма осадков за весенний период в 2011, 2010 и 2008 гг.

Агрометеорологические условия летнего периода 2011 г. коренным образом отличались как от условий 2010, так и от условий 2008 года. В 2011 г. на всей Европейской территории РФ температура воздуха наблюдалась значительно ниже рекордных значений 2010 года, но повсеместно превысила температурный фон благоприятного для сельского хозяйства 2008 г.

Аналогичная ситуация сложилась в 2011 г. и с атмосферными осадками, которые в среднем на 100 мм превысили уровень 2010 г., но все же в большинстве регионов не достигли уровня 2008 г.

В соответствии с термическими условиями, вегетационный период в 2011 г. оказался на 7 дней более продолжительным, чем в 2010 г., но на 4 дня более коротким, чем в 2008 году. В 2011 г. соотношение аномалий температуры воздуха и осадков

сформировало режим увлажнения не такой напряженный, как в 2010 г., но менее благоприятный для сельского хозяйства, чем в 2008 г.

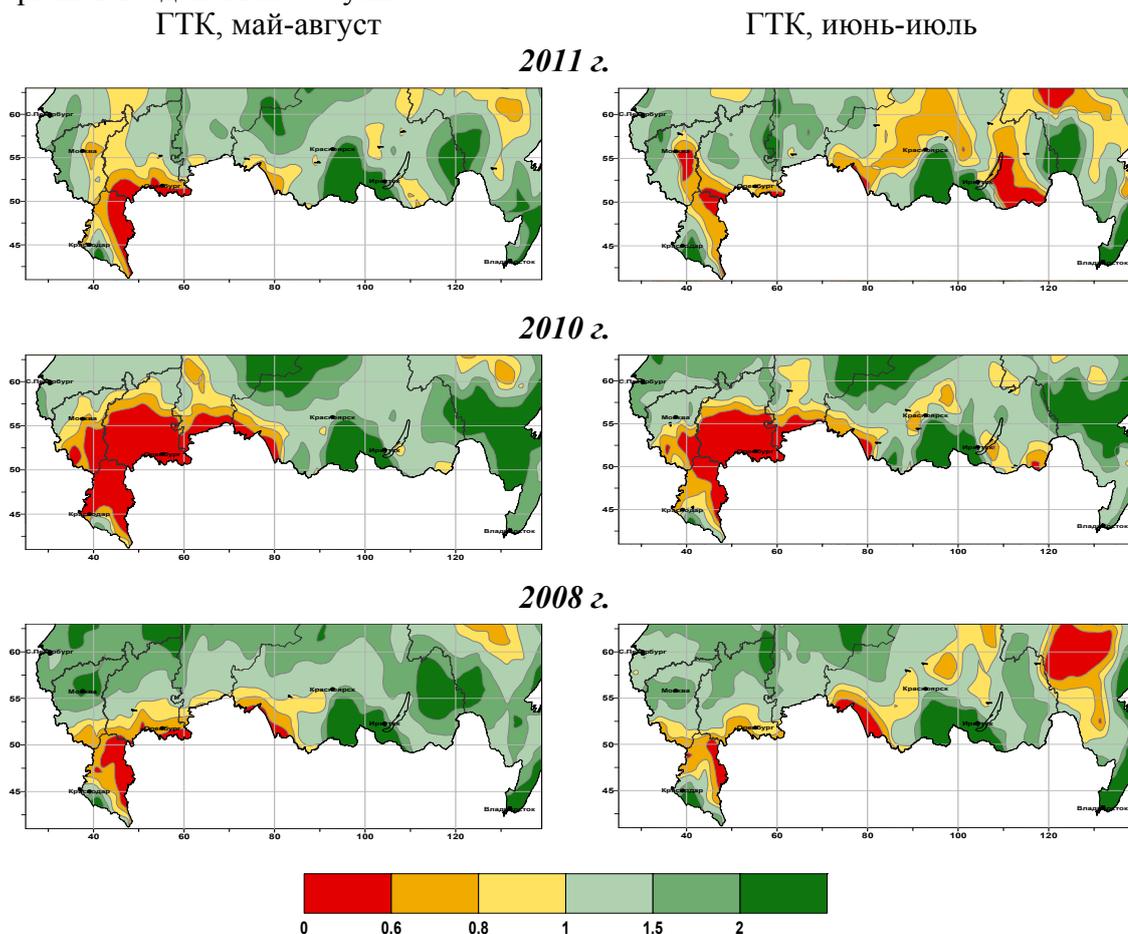


**Рисунок 7.2** – Средняя температура воздуха и сумма осадков за летний период в 2011, 2010 и 2008 гг.

Детальные данные о распределении температуры и осадков по территории России весной и летом 2011 г. представлены на рисунках 7.1 и 7.2. Здесь же для сравнения приведены аналогичные карты распределения температуры и осадков в 2010 и 2008 гг. Пониженные температуры весеннего периода 2011 года в основных сельскохозяйственных районах России замедлили процессы фенологического развития как озимых, так и яровых сельскохозяйственных культур, что способствовало более экономному расходованию весенних запасов почвенной влаги и привело к росту урожайности. Термический режим летнего периода 2011 г. на Европейской части России, как показывает рисунок 7.2 сложился более напряженным чем в высокоурожайном 2008 г., но более благоприятным для зерновых культур, чем 2010 г., особенно на территории Северного Кавказа и Нижнего Поволжья. Режим увлажнения посевов сельскохозяйственных культур определяется отношением приходной (осадки) и расходной (испарение) составляющих водного баланса, которое характеризуется величиной гидротермического коэффициента (ГТК), представляющего собой отношение суммы осадков к 10-кратной сумме среднесуточных температур воздуха выше 10°C.

На рисунке 7.3 представлены значения ГТК за май-август и июнь-июль. ГТК за май-август характеризуют условия увлажнения за теплый период года в целом. ГТК за июнь-июль хорошо коррелируют с урожайностью ранних яровых культур. Установлено, что при значениях ГТК менее единицы наблюдается снижение урожайности зерновых культур из-за засухи. Рисунок 7.3 показывает, что засуха в 2011 г. в отличие от 2010 г. охватила значительно меньшие площади на юго-востоке Европейской части России.

Вместе с тем в 2011 г. значительные территории в Алтайском крае и Забайкалье также подверглись воздействию засухи.



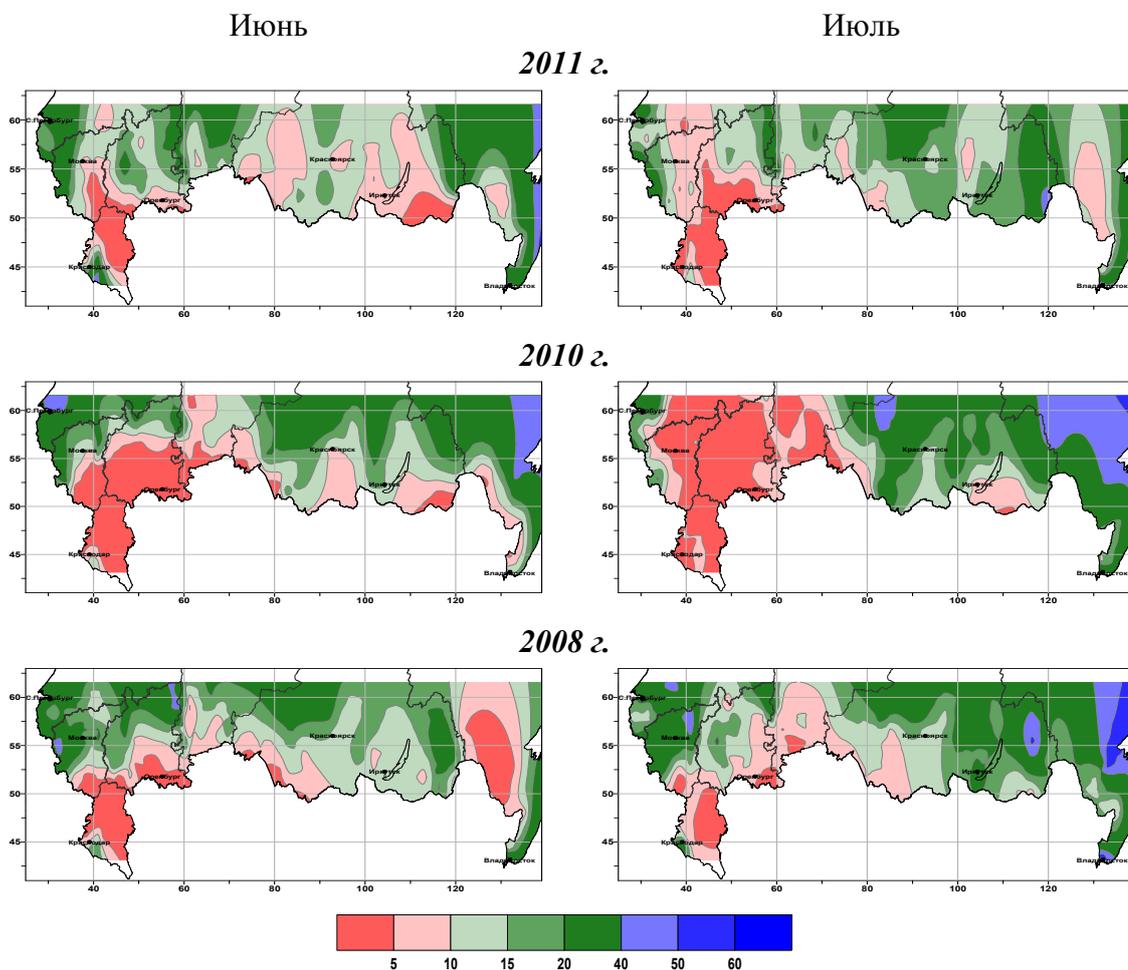
**Рисунок 7.3** – Распределение гидротермического коэффициента за май-август и за июнь-июль в 2011, 2010 и 2008 гг.

Динамику развития почвенной засухи в 2011 г. позволяют проследить карты запасов влаги в пахотном слое почвы, представленные на рисунке 7.4. Почвенная засуха отмечается при снижении запасов почвенной влаги в пахотном слое почвы до 10 мм и ниже. Видно, что в 2011 г. площадь регионов, охваченных засухой, росла от июня к июлю, но сильная засуха (влагозапасы пахотного слоя  $\leq 5$  мм) ограничилась территорией Северного Кавказа, Нижней Волги и Южного Урала.

В заключение анализа рассмотрим распределение итогового интегрального показателя – климатообусловленной урожайности зерновых культур, которая характеризует степень благоприятности агрометеорологических условий вегетации 2011 г. в целом. Климатообусловленная урожайность рассчитана с помощью динамической модели «погода-урожай» на основании метеорологических данных. Расчет урожайности по модели «погода-урожай» дает возможность исключить и/или уравнивать влияние факторов, не связанных с погодными условиями (удобрения, сроки сева, условия уборки урожая и т.д.). Рассчитанные по метеорологическим данным ряды урожайности становятся однородными и позволяют объективно оценивать влияние пространственной и временной изменчивости погодно-климатических факторов на продуктивность сельскохозяйственных культур, как для отдельных регионов, так и России в целом.

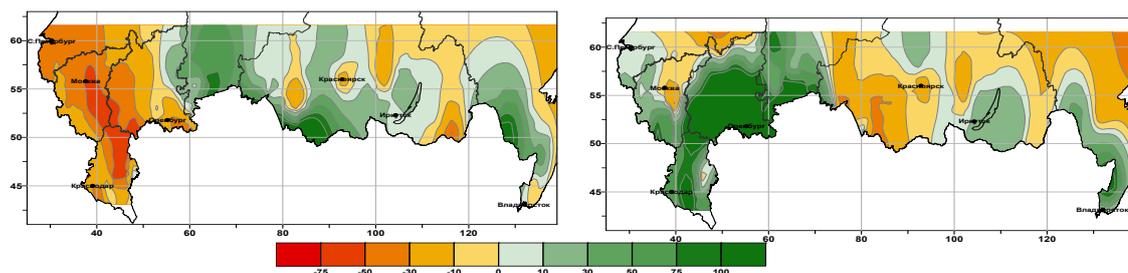
На рисунке 7.5 приведены карты распределения расчетной урожайности яровых зерновых культур в 2011 г. в виде отклонений от рассчитанной урожайности за 2008 и 2010 гг. Первая из этих карт позволяет количественно оценить агрометеорологические условия 2011 года в отклонениях от максимальной урожайности, а вторая – в отклонениях от минимальной урожайности. Понятно, что это противоположные оценки – отклонения

от урожайности 2008 г. положительны, а отклонения от урожайности 2010 г. отрицательны практически на всей территории Европейской России. Так, например, в 2011 г. агрометеорологические условия, сложившиеся в Воронежской, Саратовской и Ростовской областях привели к формированию более низкой климатообусловленной урожайности, чем в рекордном 2008 г., на 32, 52 и 12 % соответственно. Вместе с тем условия формирования урожая оцениваемого 2011 г. в этих областях оказались лучше условий предшествующего 2010 г., что привело к повышению климатообусловленной урожайности на 46, 182 и 63 % соответственно.



**Рисунок 7.4** – Запасы продуктивной влаги (мм) в пахотном слое почвы в июне, июле за 2011, 2010 и 2008 гг.

В целом агроклиматические условия 2011 г. следует оценить как более благоприятные по сравнению с предшествующим 2010 г., но в результате засухи, наблюдавшейся на юго-востоке Европейской России, сельское хозяйство понесло значительные потери по сравнению с 2008 годом.



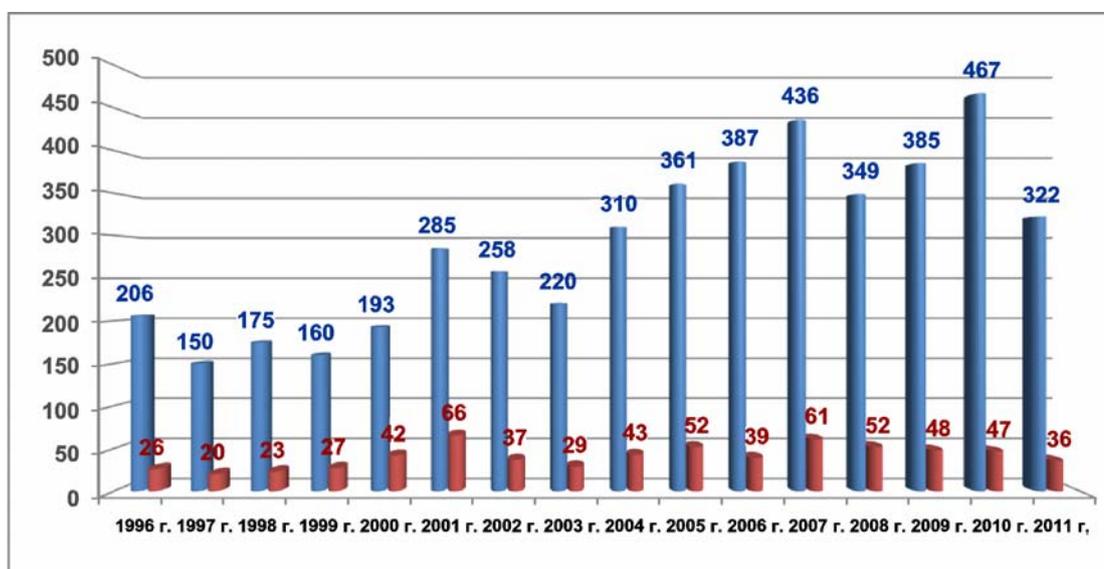
**Рисунок 7.5** – Отклонения (в %) климатообусловленной расчетной урожайности яровых зерновых культур в 2011 г. от уровня 2008 г. (слева) и 2010 г. (справа)

## 8. ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Общее число опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ), включая агрометеорологические и гидрологические, в 2011 году составило 760. Это на 22% меньше, чем в 2010 году, когда их было 972. Напомним, что в более ранние годы общее число гидрометеорологических ОЯ составило: в 2009 году – 923, а в 2008 году – 1090. Из 760 ОЯ 2011 года 322 явления нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

На рис. 8.1 приведены данные о динамике количества гидрометеорологических ОЯ за 1996 – 2011 гг. (общее число ОЯ и количество непредусмотренных ОЯ). Данные относятся лишь к опасным явлениям и комплексам гидрометеорологических явлений (включая гидрологические и агрометеорологические явления), которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения.

В целом, 2011 г. оказался седьмым (из рассмотренных 16 лет) в рейтинге по количеству гидрометеорологических ОЯ, нанесших ущерб. Меньшее количество гидрометеорологических ОЯ наблюдалось только в период с 1996 г. по 2004 г.

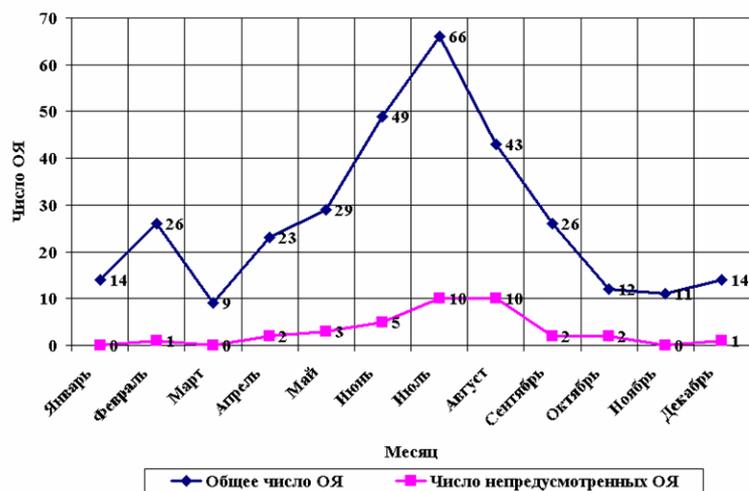


**Рисунок 8.1** – Распределение гидрометеорологических ОЯ по годам: общее количество (синий) и количество непредусмотренных ОЯ (красный).

На рисунке 8.2 информация о гидрометеорологических ОЯ, послуживших в 2011 г.у источниками чрезвычайных ситуаций, детализирована по месяцам.

Наибольшая активность возникновения опасных явлений на территории Российской Федерации, по-прежнему, наблюдалась в период с мая по август, но количество гидрометеорологических ОЯ существенно уменьшилось по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Рассматривая отдельно данные для метеорологических явлений, можно отметить, что в 2011 году на территории России был зарегистрирован 401 случай возникновения опасных метеорологических явлений (ОЯ) и комплексов метеорологических явлений (КМЯ). В таблице 8.1 показано распределение метеорологических ОЯ и КМЯ по месяцам, а в таблице 8.2 – по федеральным округам. Учитывались все опасные явления погоды, имевшие место на территории РФ, о которых были получены донесения, независимо от нанесенного ущерба. Следует отметить, что суммарное количество метеорологических ОЯ в табл. 8.1 и 8.2 может не совпадать, т.к. ОЯ часто охватывают большие территории и одновременно наблюдаются в 2-х и более округах.



**Рисунок 8.2** – Распределение гидрометеорологических ОЯ по месяцам в 2011 году

Количество зарегистрированных метеорологических ОЯ по сравнению с 2010 годом уменьшилось на 21,5% (110 случаев). Высокой была повторяемость сильных осадков и КМЯ (84 и 86 случаев соответственно) – они составили почти половину от всех опасных метеорологических явлений. КМЯ по своим параметрам не достигали критериев ОЯ, но в значительной степени затрудняли хозяйственную деятельность регионов. Часто наблюдался сильный ветер (75 случаев или 19%). Эти явления, как правило, наносили наиболее значительный ущерб секторам экономики и частному сектору.

**Таблица 8.1** – Распределение метеорологических ОЯ по месяцам за 2011 год

Месяц	Сильный ветер	Сильные осадки	Налипание мокрого снега	Заморозки	Сильная жара	Сильный мороз	Аномально теплая погода	Аномально холодная погода	Туман	КМЯ	Гололедные явления	Метель	Град	Смерч	Мгла	Всего ОЯ и КМЯ
I	2	3	1	-	-	6	-	6	-	5	2	3	-	-	-	28
II	12	-	2	-	-	2	-	8	-	20	2	7	-	-	-	53
III	8	1	1	-	-	2	-	1	-	6	2	2	-	-	-	23
IV	12	3	5	1	-	-	-	-	-	6	-	1	-	1	-	29
V	5	8	-	11	2	-	-	-	-	5	-	-	2	-	-	33
VI	4	10	-	4	3	-	4	-	-	8	-	-	5	1	-	39
VII	8	29	-	1	6	-	4	-	-	16	-	-	5	2	-	71
VIII	6	16	-	6	2	-	1	-	-	8	-	-	4	3	-	46
IX	2	5	-	8	-	-	1	-	-	2	-	-	1	4	-	23
X	1	6	1	1	-	-	-	-	1	5	-	-	-	1	-	16
XI	8	2	3	-	-	-	-	-	-	4	-	6	-	-	-	23
XII	7	1	1	-	-	-	-	1	-	1	2	4	-	-	-	17
Год 2011	75	84	14	32	13	10	10	16	1	86	8	23	17	12	-	401
Год 2010	104	81	6	42	26	28	13	9	7	114	24	35	15	6	1	511

Наибольшую повторяемость метеорологические ОЯ и КНЯ имеют в теплый период года (с мая по сентябрь) – 212 случаев (53%). Это связано с тем, что в этот период возрастает число ОЯ, обусловленных активной конвекцией.

Периоды сильных морозов и аномально холодной погоды в 2011 г. отмечались в 26 случаях, то есть на 30% меньше, чем в 2010 году, когда их было 37 случаев. Наиболее холодным выдался январь 2011 г., когда было зарегистрировано 6 случаев с аномально холодной погодой и 6 случаев сильных морозов. Периодов с аномально теплой погодой в 2011 г. было на 23% меньше, чем в 2010 году (10 и 13 случаев соответственно). Сильная жара отмечалась в два раза реже, чем в 2010 г., который был рекордным по этим явлениям. В вегетационный период в 2011 году наблюдалось 32 заморозка, что на 24% меньше, чем за аналогичный период 2010 года, когда их было 42.

**Таблица 8.2** - Распределение метеорологических ОЯ за 2011 г. по территории федеральных округов

№	Явления	Федеральные округа								Всего
		СЗ ФО	ЦФО	Прв ФО	ЮФО	СК ФО	Ур ФО	Сиб ФО	ДВ ФО	
1	Ветер	10	6	9	11	10	8	28	10	92
2	Сильные осадки	3	11	17	23	20	9	14	19	116
3	Метель	1					2	11	11	25
4	Пыльная буря									
5	Смерч				9	6	1	2	1	19
6	Мороз	3	3	5	2	1	5	3	1	23
7	Аномально холодная погода	5	4	8	2	1	4	5	2	31
8	Жара		6	2	1	1	4	2	2	18
9	Аномально тёплая погода	1	5	3	1		4	1	1	16
10	Град		2	3	11	11	4	2		33
11	Гололедные явления		1	2	1	2	1	2		9
12	Налипание мокрого снега		1	1	4	4		1	3	14
13	Заморозки	6	12	11	1		8	12	4	54
14	Туман								1	1
15	КМЯ	8	12	12	12	13	11	27	11	106
Всего – 2011		37	63	73	78	69	61	110	66	557
Всего – 2010		54	71	83	60	45	78	184	93	668

Как видно из таблицы 8.2, на территории Сибирского ФО в 2011 г. зарегистрированы 110 случаев ОЯ и КМЯ (~20% от общего количества), что на 74 случая ОЯ (40%) меньше, чем в 2010 г. Следует иметь в виду, что Сибирский ФО самый большой по территории и характеризуется активными атмосферными процессами.

В Южном и Северо-Кавказском федеральных округах в 2011 г. количество ОЯ и КМЯ резко возросло (на 30-50%) по сравнению с 2010 г., что обусловлено более активными циклоническими и конвективными процессами на юге ЕТР в 2011 году. В Северо-Западном, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах количество ОЯ и КМЯ в 2011 г., по сравнению с 2010 г., снизилось на 30-40%.

Динамика количества всех зарегистрированных метеорологических ОЯ за период с 1998 по 2011 годы приведена в таблице 8.3. Из нее следует, что 2011 г. с 401 случаями ОЯ был по рейтингу пятым среди самых неблагоприятных (по количеству метеорологических ОЯ и КМЯ) за последние 14 лет. В 2011 г. количество ОЯ было на 23% больше, чем в среднем за 1998-2011 гг. Наиболее неблагоприятным по погодным условиям остается 2010 год с 511 случаями ОЯ.

**Таблица 8.3** - Динамика количества метеорологических ОЯ за период с 1998 по 2011 годы

Годы	Месяцы												Всего за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1998	19	15	12	12	14	17	28	16	19	19	20	15	206
1999	20	10	9	9	14	10	15	15	16	8	14	12	152
2000	9	2	6	10	15	17	18	17	20	7	8	12	141
2001	12	12	4	5	27	30	30	25	17	14	16	19	211
2002	16	15	17	11	24	27	41	35	28	17	16	29	276
2003	21	17	13	14	16	35	41	36	27	17	18	17	272
2004	23	29	27	21	23	54	49	61	26	20	28	28	389
2005	19	19	49	31	28	52	48	38	21	24	14	21	364
2006	27	20	29	21	39	64	49	56	26	22	30	24	407
2007	39	40	21	9	56	61	56	52	38	25	28	20	445
2008	29	25	18	19	28	47	83	45	27	12	30	41	404
2009	26	30	24	24	31	64	57	42	26	22	16	28	390
2010	39	23	33	28	31	68	73	64	35	16	35	66	511
2011	<b>28</b>	<b>53</b>	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>71</b>	<b>46</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>401</b>

## 9. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ

Солнечная радиация является главным фактором, воздействующим на изменения различных параметров, с которыми связывается происходящее глобальное потепление. Закономерности изменения солнечной радиации, достигающей земной поверхности, наряду с астрономическими факторами, существенно зависят от особенностей изменения облачности и прозрачности атмосферы, определяемой вариацией ее газового и аэрозольного состава.

Основным источником данных для слежения за климатическими изменениями составляющих радиационного баланса земной поверхности являются ряды наземных актинометрических наблюдений. Для правильной атрибуции наблюдаемых климатических изменений первостепенное значение имеет слежение за разными компонентами радиационного баланса подстилающей поверхности. На настоящем этапе в системе регулярного мониторинга анализируются приходящая суммарная и прямая солнечная радиация, месячные и годовые суммы которых рассчитываются по данным наблюдений об интенсивностях различных потоков радиации в фиксированные сроки (так называемых «срочных» наблюдений), поступающих с актинометрической сети станций.

Из двух видов актинометрических наблюдений (срочные и наблюдения с помощью регистраторов), дающих информацию не только о суммарной радиации, но и об отдельных составляющих радиационного баланса, предпочтение отдано именно срочным наблюдениям в силу большей плотности подсети этих станций, как в начале 21 века, так и в 60-х годах 20-го столетия.

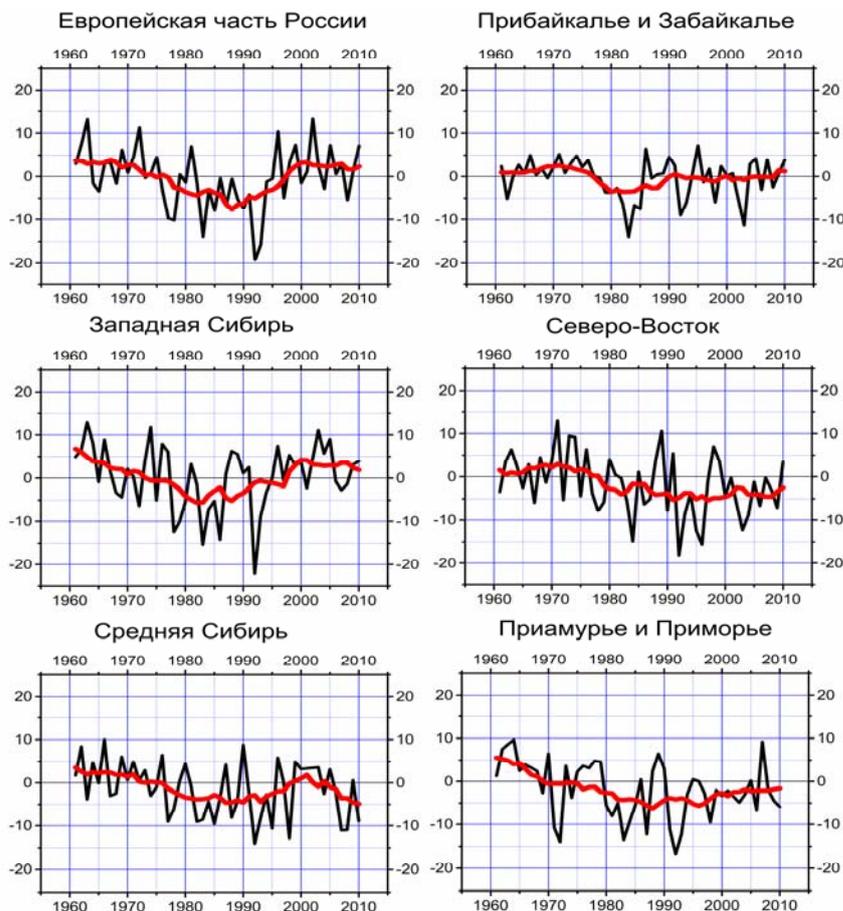
Для большинства действующих станций со срочными наблюдениями (в отличие от станций, ведущих наблюдения с помощью регистраторов) могут быть рассчитаны нормы за базовый период 1961-1990 гг.

Аномалии сумм радиации рассчитаны как отклонения от норм базового периода 1961-1990 гг. и выражены в процентах от этих норм. Оценки условий 2011 г. получены по данным 86 (из 90) российских станций со срочными наблюдениями, для которых своевременно поступила оперативная информация.

В последние десятилетия сложилось представление, что изменения приходящей радиации играют маскирующую роль по отношению к потеплению антропогенного происхождения. Такое представление базируется на результатах работ, в рамках которых была обнаружена тенденция к уменьшению поступления солнечной радиации на подстилающую поверхность. Впервые эта тенденция была выявлена в российских исследованиях по данным станций, освещающих значительную часть Евразийского континента, на интервале 1961-90 гг. Привлечение к анализу данных за последующие годы показало, что отрицательная тенденция не является долговременной.

Анализ *многолетних* колебаний пространственно-осредненных аномалий годовых сумм прямой радиации на интервале 1961-2010 гг. (рис. 9.1) показывает, что в конце 80-х – начале 90-х гг. 20 века во всех рассмотренных крупных регионах отмечается пониженное поступление солнечной радиации (возможно, связанное с воздействием крупных вулканических извержений). При этом на интервале 1961-1990 гг. диагностируется отрицательный тренд. В последнее десятилетие 20-го столетия и начале 21 века происходит возврат к значениям приходящей радиации, близким к норме. Включение в анализ годовых сумм за 2010 г. (последний полный календарный год с доступными для обобщения радиационными данными) подтверждает этот вывод.

В большей степени, чем для других регионов, отклоняются от нормы годовые суммы прямой радиации на территории Средней Сибири (рис. 9.1), где в течение последних лет регистрируются отрицательные аномалии. Однако выраженной тенденции к повышению (или понижению) прихода радиации, отражающей крупномасштабные изменения, пока не обнаруживается.



**Рисунок 9.1** - Регионально-осредненные аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) годовых сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, за период 1961 – 2010 гг.

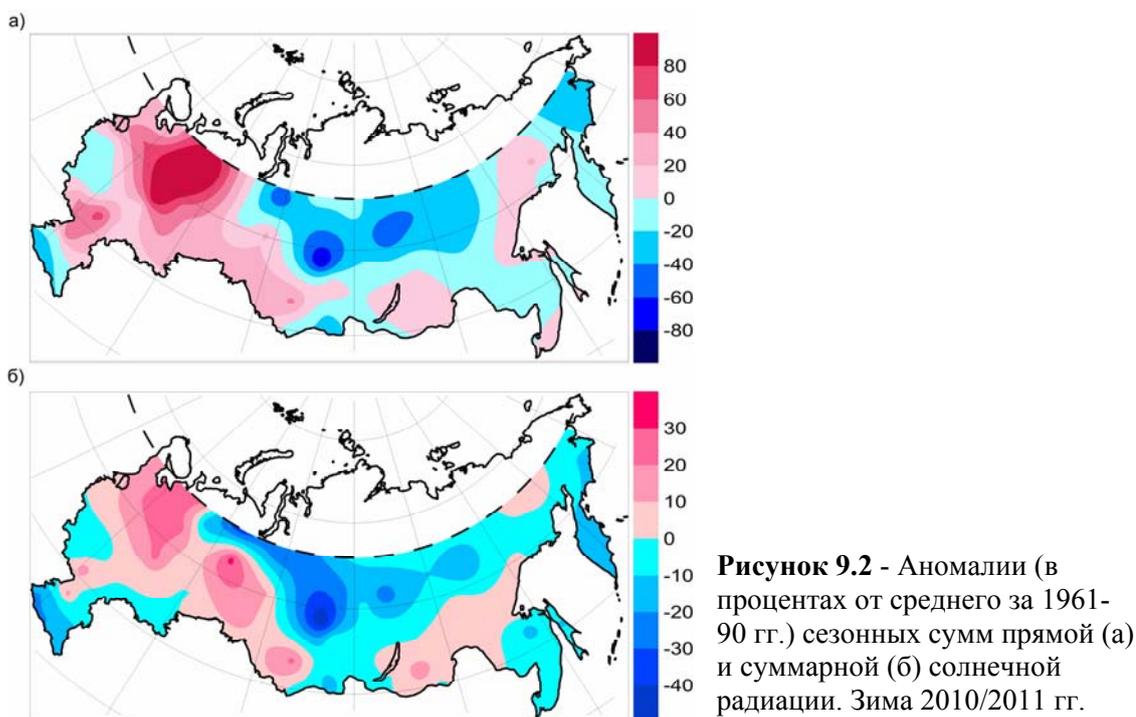
*Красная кривая показывает сглаженный ход (11-летние скользящие средние)*

В **зимний** период 2010-2011гг. в распределении по территории России прямой радиации (рис. 9.2) наблюдалось два выраженных очага аномалий противоположных знаков. Европейская территория РФ, за исключением Смоленской, Тульской, Орловской и Калининградской областей, была занята положительной аномалией. Наиболее мощный очаг положительной аномалии располагался на северо-востоке ЕЧР. Превышение нормы в этом регионе составило 80% и более. Отрицательная аномалия прямой радиации в западных и центральных областях ЕЧР была слабая, отклонения от нормы не превышали 20%. На формирование зимней сезонной аномалии прямой радиации наибольшее влияние оказали особенности ее поступления в декабре и феврале, когда преобладала малооблачная погода в условиях антициклональной циркуляции.

Основная часть территории АЧР в зимний сезон характеризовалась пониженным приходом прямой радиации. Наиболее глубокие очаги отрицательной аномалии (отклонения от нормы более 60%) были небольшие по площади и располагались в Западной Сибири и в центральных районах Восточной Сибири вблизи широты 60° с.ш.

Поле сезонных аномалий суммарной радиации на территории России в общих чертах повторяет распределение аномалий прямой радиации, но интенсивность аномалий обоих знаков значительно меньше – в пределах 30-40%.

В районах, близких к северному полярному кругу малые абсолютные значения месячных сумм солнечной радиации не позволяют с достаточной точностью определить величину аномалии как прямой, так и суммарной радиации.



*Весной* отмечались значительные изменения в распределении прямой радиации на территории России (рис. 9.3). Частая смена циркуляционных процессов от месяца к месяцу, характерная для весны, привела к большой изменчивости соответствующих полей.

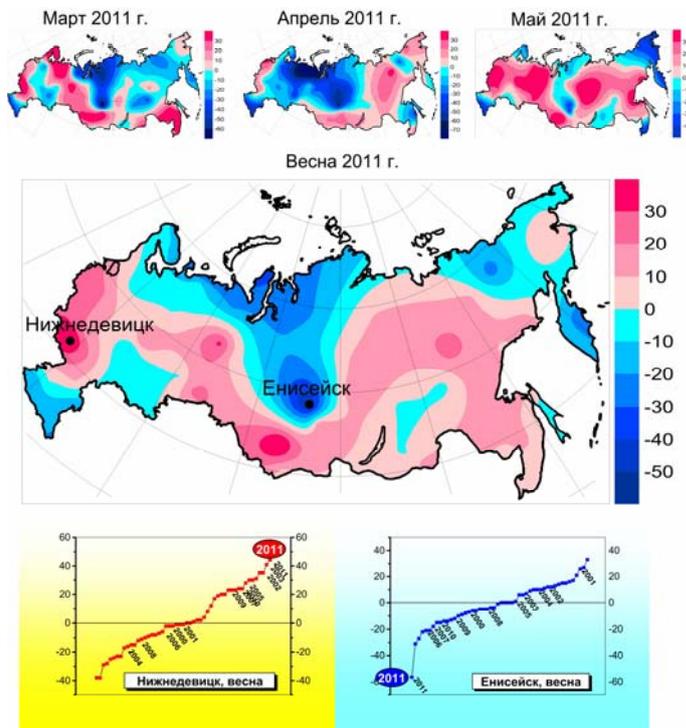
В марте началось разрушение зимней положительной аномалии на территории ЕЧР. В апреле в результате увеличения фронтальной активности в околополярных районах и резкого увеличения облачности произошло формирование очень глубокой отрицательной аномалии, которая заняла огромную территорию – всю европейскую часть России, за исключением крайних западных районов, и западную половину азиатской территории. На северо-востоке ЕЧР и северо-западе Западной Сибири месячный приход прямой радиации был ниже нормы на 70% и более.

На юге азиатской территории (Алтайский край, Кемеровская область, Забайкалье) и в восточных районах (Якутия, Чукотка) в апреле приход прямой радиации был выше нормы. Однако сформировавшийся обширный очаг положительной аномалии не отличался большой интенсивностью. Отклонения месячных сумм от нормы были в пределах 20% и только в отдельных районах Якутии аномалии достигали 30%. На фоне повышенного прихода прямой радиации на большей части Азиатской территории - в Магаданской области, Хабаровском крае, на Камчатке и Сахалине - наблюдалась слабая отрицательная аномалия.

В мае вновь произошла смена знака аномалий в связи с перестройкой циркуляции на летний режим. Сформировавшийся над ЕЧР активный гребень обусловил преобладание малооблачной погоды на большей части этого региона и привел к формированию хорошо выраженной положительной аномалии в поле прямой радиации (превышение нормы составило более 30%).

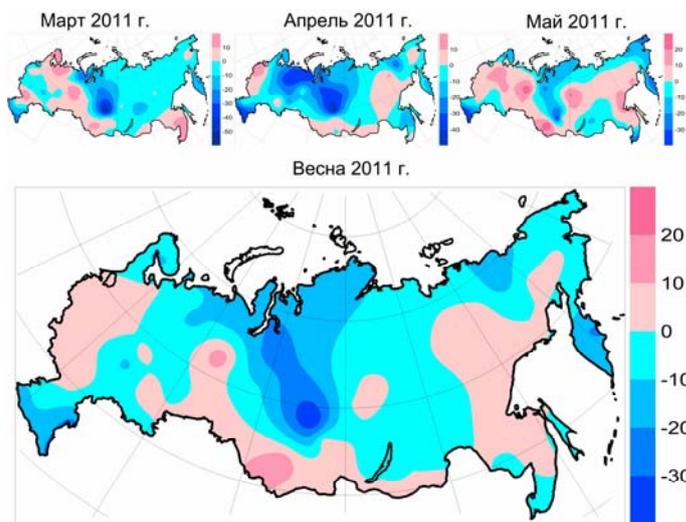
При сравнении месячных аномалий прямой и суммарной радиации в весенние месяцы обращает на себя внимание, в первую очередь, сохранение знака в очагах крупных аномалий прямой и суммарной радиации, в отдельных районах даже без больших изменений интенсивности аномалии (рис. 9.4). Это наглядно проявилось в апреле, когда резкое снижение прямой радиации (до 60-70%) в условиях преобладания облачной циклональной погоды на территории ЕЧР и в Западной Сибири не компенсировалось

ростом рассеянной радиации, и месячная сумма суммарной радиации в этом месяце оказалась ниже нормы на 40%.



**Рисунок 9.3** - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) месячных и сезонных сумм прямой солнечной радиации. Весна 2011 г.

В мае высокий приход прямой радиации в ЕЧР и в Восточной Сибири способствовал росту суммарной радиации. В обоих этих регионах в мае наблюдалась положительная аномалия прямой и суммарной радиации. Обширная положительная аномалия прямой радиации, занимающая Восточную Сибирь, в поле суммарной радиации проявилась в ослабленном виде только в Хабаровском крае. На остальной части Восточной Сибири суммарная радиация в целом за весенний период была немного ниже нормы ( $\leq 10\%$ ). В западных и восточных районах ЕЧР сезонные суммы суммарной радиации были выше нормы благодаря высокому приходу прямой радиации в марте и особенно в мае.

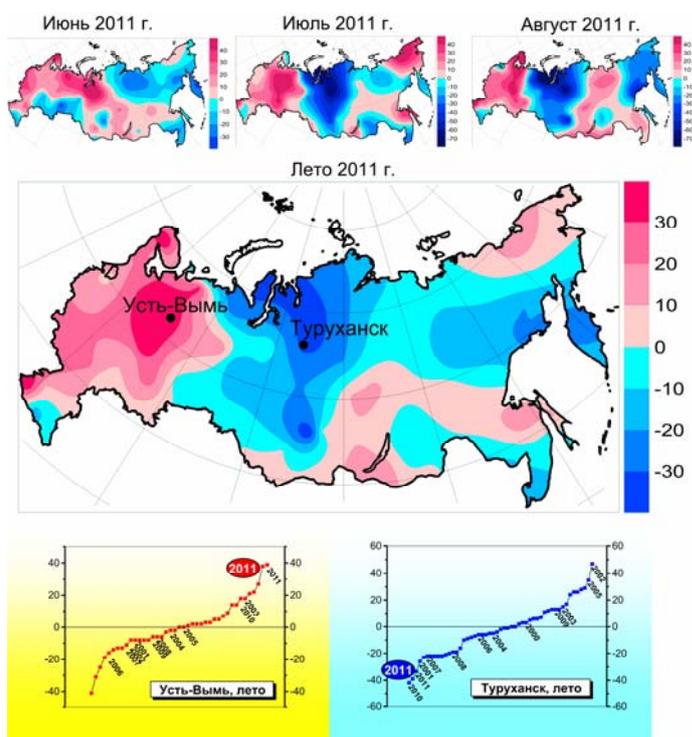


**Рисунок 9.4** - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) месячных и сезонных сумм суммарной солнечной радиации. Весна 2011 г.

*Летний* сезон отличался резким контрастом в приходе прямой радиации на территории Европейской и Азиатской частей России. Преобладание положительных аномалий прямой радиации на ЕЧР и отрицательных на большей территории АЧР отмечалось во все летние месяцы (рис. 9.5).

На территории ЕЧР, а также на среднем Урале, преимущественно наблюдалась малооблачная антициклональная погода, что и сформировало обширную положительную аномалию прямой радиации в этом регионе. В Архангельской, Вологодской, Ярославской областях сезонные суммы прямой радиации были выше нормы на 30-40%.

В то же время северный Урал, Западная Сибирь, Красноярский край и Якутия находились в области повышенного циклогенеза и, следовательно, преобладания облачной погоды с фронтальными осадками, которые местами были очень интенсивными. Соответственно в этом регионе в поле прямой радиации сформировалась глубокая отрицательная аномалия. В северных районах Новосибирской области суммы прямой радиации были ниже нормы на 30-40%.

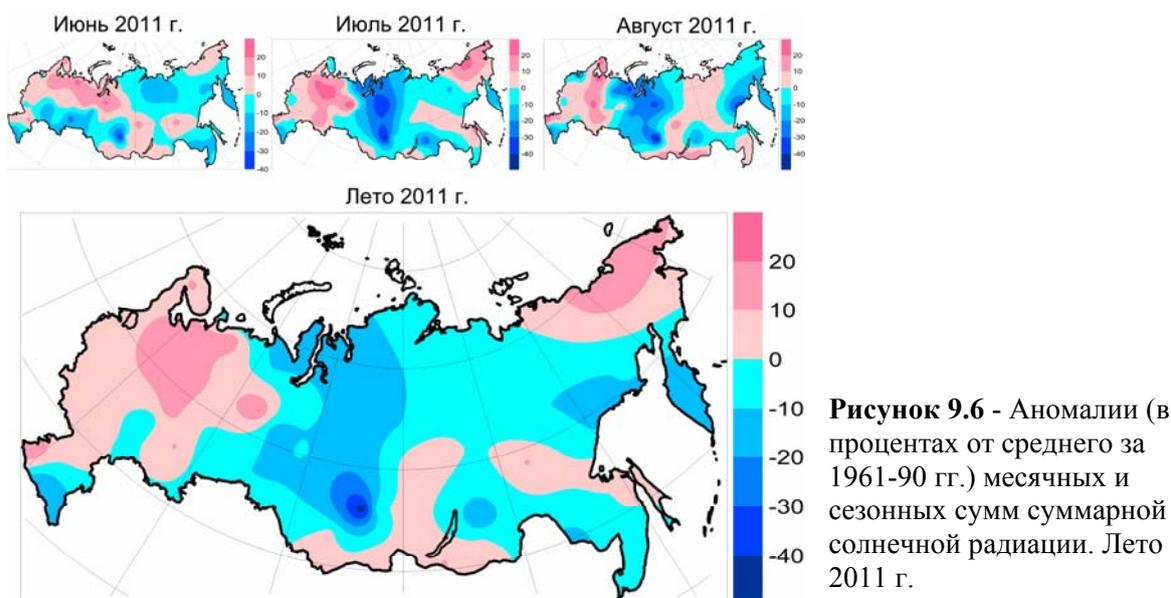


**Рисунок 9.5** - Аномалии (в процентах от среднего за 1961-90 гг.) месячных и сезонных сумм прямой солнечной радиации. Лето 2011 г.

Восточная Сибирь и Дальний Восток характеризовались большим разнообразием в поступлении прямой радиации. На территории этого региона в направлении с севера на юг наблюдалось чередование слабых положительных и отрицательных аномалий, величина которых находилась в пределах  $\pm 10\%$ . Только в крайних северо-восточных регионах аномалии достигли 20-30%-го уровня: положительные – на Чукотке, отрицательные – в Магаданской области и в центральных районах Камчатки.

В суммарном приходе радиации прослеживаются те же особенности, что и в поступлении прямой радиации. Конфигурации областей с положительными и отрицательными аномалиями в соответствующих полях практически совпадают (рис. 9.6).

Анализ **сезонных** аномалий прямой радиации (рис. 9.7), осредненных по территории России, показывает, что зимой и весной в среднем регистрируется небольшая положительная аномалия в приходе радиации, а в летний сезон – небольшая отрицательная. Наибольшее отклонение от нормы отмечается летом, когда в течение продолжительного времени (июль, август) на азиатской территории России наблюдалась значительная отрицательная аномалия в приходе солнечной радиации, связанная с особенностями атмосферной циркуляции.



Таким образом, в среднем для территории России в 2011 г. во все сезоны приход солнечной радиации был близок к норме. Наиболее существенная особенность радиационного режима 2011г. связана с наличием в летний сезон обширной, глубокой и устойчивой отрицательной аномалии в азиатской части России (с центром в Средней Сибири), и положительной аномалии в европейской части, когда были зафиксированы рекордные значения месячных и сезонных сумм приходящей радиации.

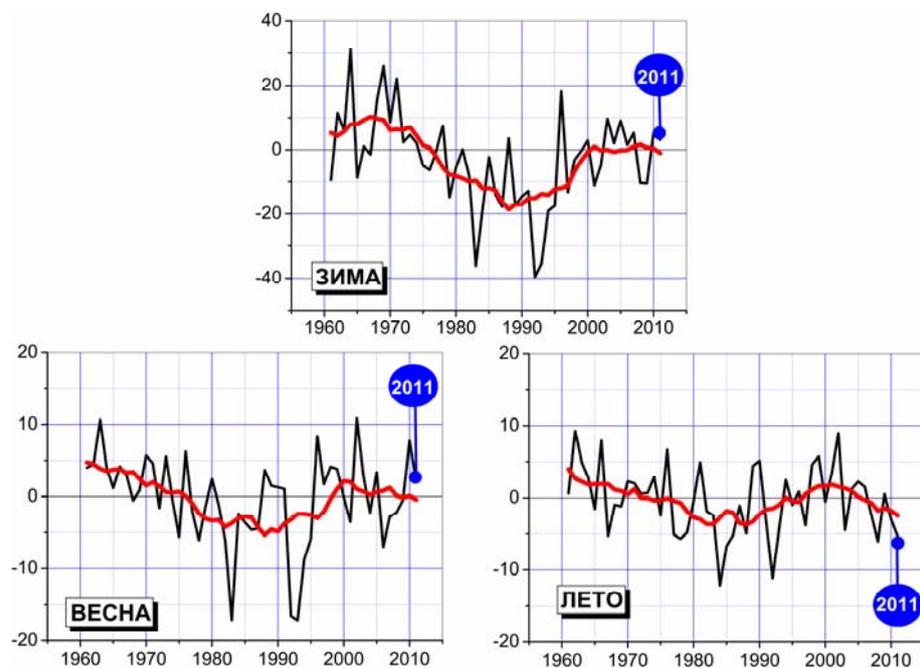


Рисунок 9.7 – Осредненные по территории РФ аномалии (в процентах от среднего за 1961-1990 гг.) сезонных сумм прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, за период 1961-2011 гг.

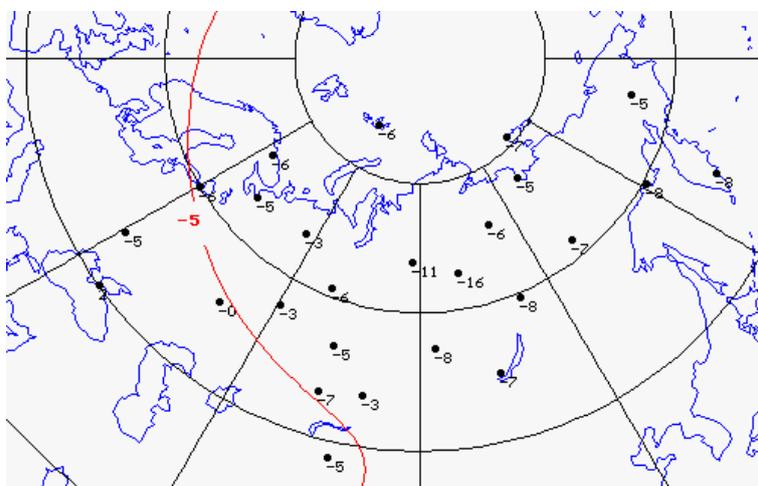
## 10. ОЗОНовый СЛОЙ

### *Общее содержание озона на территории РФ*

Анализ общего содержания озона (ОСО) выполнен по данным отечественной сети фильтровых озонметров М-124 с привлечением данных мировой озонметрической сети, поступающих в Мировой центр данных ВМО по озону и ультрафиолетовой радиации (WOUDC) в Канаде, а также данных спутниковой аппаратуры OMI (США). Более подробная информация о поведении ОСО с указанием отдельных аномалий в различные месяцы ежеквартально публикуется в журнале «Метеорология и гидрология».

ОСО является важнейшей характеристикой озонового слоя, которая определяет поглощение ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца в области длин волн 290-315 нм (УФ-Б область). Количественно ОСО выражают «приведенной толщиной слоя озона», которая получилась бы, если бы весь содержащийся в атмосфере озон привести к нормальному давлению при температуре 0° Цельсия. В среднем по земному шару приведенная толщина слоя равна 3 мм, меняется в интервале от 1 мм (в Антарктиде в период весенней озоновой аномалии) до 6 мм (в конце зимы – начале весны над Дальним Востоком). ОСО измеряют в единицах Добсона (е.Д.); приведенная толщина слоя озона 3 мм соответствует 300 е.Д.

В целом за 2011 г. поле отклонений среднегодовых значений ОСО от нормы (рис. 10.1), в основном, отрицательное и на большей части контролируемой территории отклонения ниже -5%. Для всех станций наблюдений ОСО эти отклонения лежат в интервале от -16 до +2%. Наибольший дефицит среднегодовых значений ОСО (-16%) зарегистрирован на станции Тура. Единственное превышение среднегодовых значений ОСО над нормой (+2%) зарегистрировано на станции Феодосия.



**Рисунок 10.1** – Поле отклонений (%) общего содержания озона от многолетних средних в целом за 2011 г. по данным озонметрической сети СНГ.

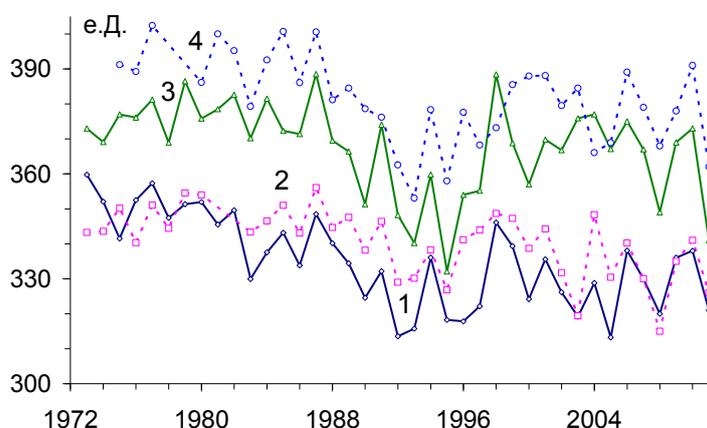
В течение 2011 г. отдельные существенные отклонения ежедневных значений ОСО от нормы отмечались в январе, марте и апреле:

- с 21 по 23 января пониженные на 35-40 % значения ОСО на территории от восточных районов Якутии до Чукотки включительно (270-305 е.Д.).

- с 15 марта по 23 апреля пониженные на 28-50 % значения ОСО над островами и побережьем Северного Ледовитого океана, Красноярским краем, Иркутской областью, Якутией и восточнее до Чукотки, Камчатки и Сахалина включительно, а также над Западной и Центральной Сибирью и Казахстаном (233-300 е.Д.).

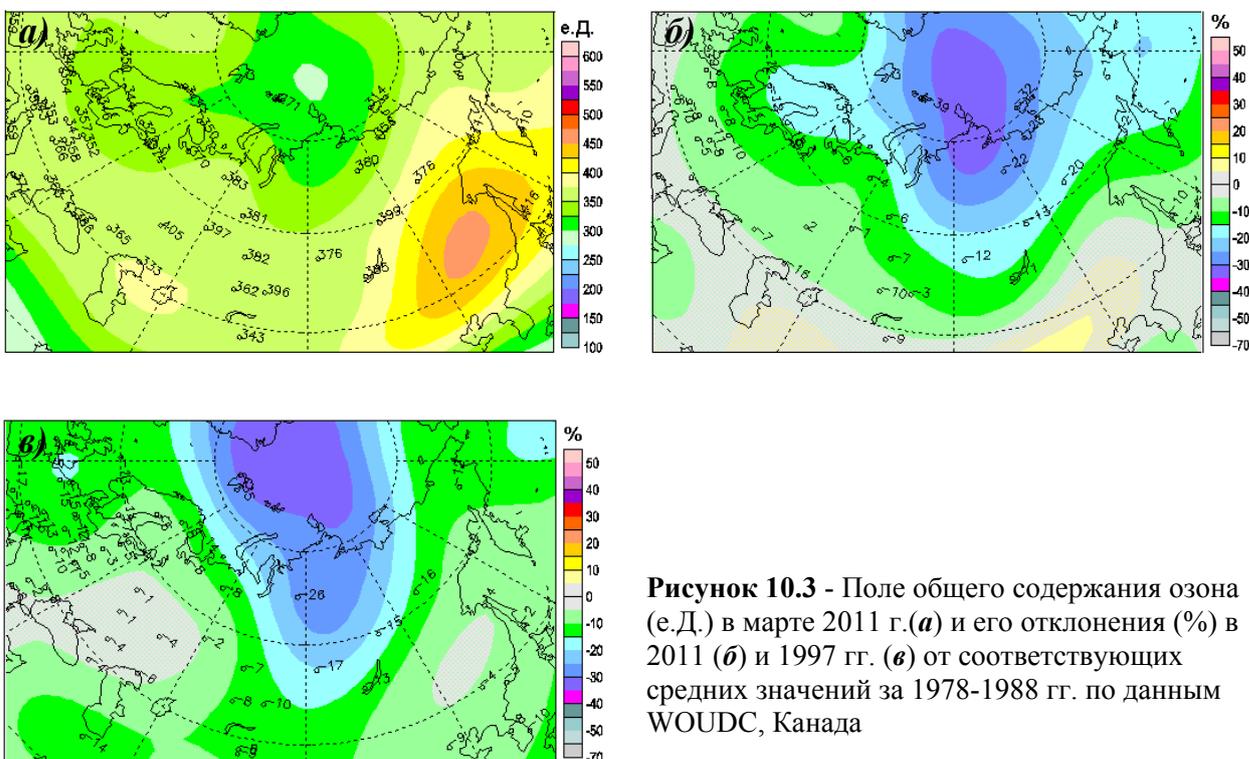
Долговременные изменения ОСО над территорией России иллюстрируются ходом среднегодовых значений на отдельных станциях наблюдений (рис. 10.2). На всех российских станциях ОСО в 2011 г. было заметно ниже, чем в предыдущем году, и близко

к абсолютным минимумам, которые наблюдались в период с 1992 по 1997 год. Ход ОСО, в целом над станциями наблюдений в России, удовлетворительно согласуется со среднезональным ходом ОСО в средних широтах Северного полушария (35–60° с.ш.).



**Рисунок 10.2** – Ход среднегодовых значений ОСО на станциях наблюдений С.-Петербург (1; 60N, 30E), Екатеринбург (2; 57N, 61E), Якутск (3; 62N, 130E), Нагаево (4; 60N, 151E). За период 1973-2006 гг. использованы данные станций, за 2007-2011 гг. – данные OMI.

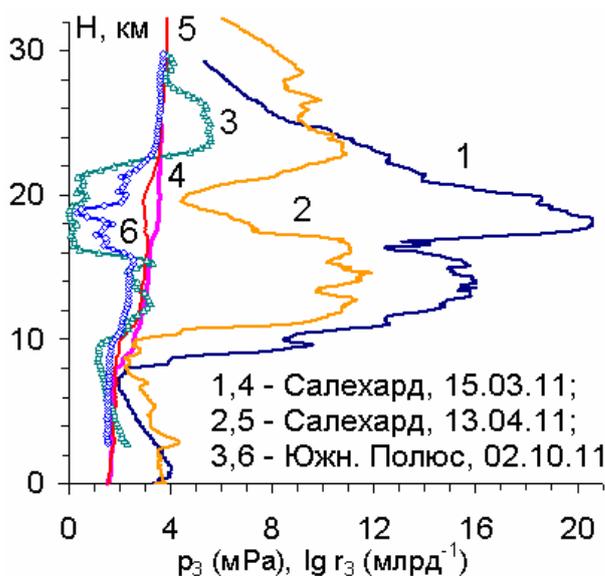
Столь низкие среднегодовые значения ОСО в 2011 г. связаны с тем обстоятельством, что весной в высоких широтах Северного полушария была зарегистрирована одна из самых значительных озоновых аномалий за все время полувекowych наблюдений. В течение большей части своего существования она располагалась над обширными территориями на севере западной и центральной Сибири (рис. 10.3). Близкая по характеристикам аномалия наблюдалась лишь в 1997 г. По данным спутниковой аппаратуры TOMS/SBUV среднее в широтном поясе 60–80° с.ш. ОСО в марте составило ~350 е.Д. (предыдущее рекордно низкое ОСО ~360 е.Д. здесь наблюдалось лишь в 1997 г.). В отдельные дни ОСО в некоторых областях опускалось до 230 е.Д. Низкие значения ОСО наблюдались на протяжении всего года и в Западной Европе.



**Рисунок 10.3** - Поле общего содержания озона (е.Д.) в марте 2011 г. (а) и его отклонения (%) в 2011 (б) и 1997 гг. (в) от соответствующих средних значений за 1978-1988 гг. по данным WOUDC, Канада

Возникновение столь значительной озоновой аномалии было обусловлено крайне редко наблюдаемой необычной динамикой Арктической стратосферы в марте. Активность тропосферных планетарных волн была необычно слабой, что привело к возникновению более холодного, чем обычно, сильного и стабильного циркумполярного вихря, который разрушился сравнительно поздно – во второй половине апреля. Внутри этого вихря ОСО было примерно на 75 е.Д. меньше, чем вне его; на высотах 18-20 км отношение смеси озона уменьшалось почти в 5 раз.

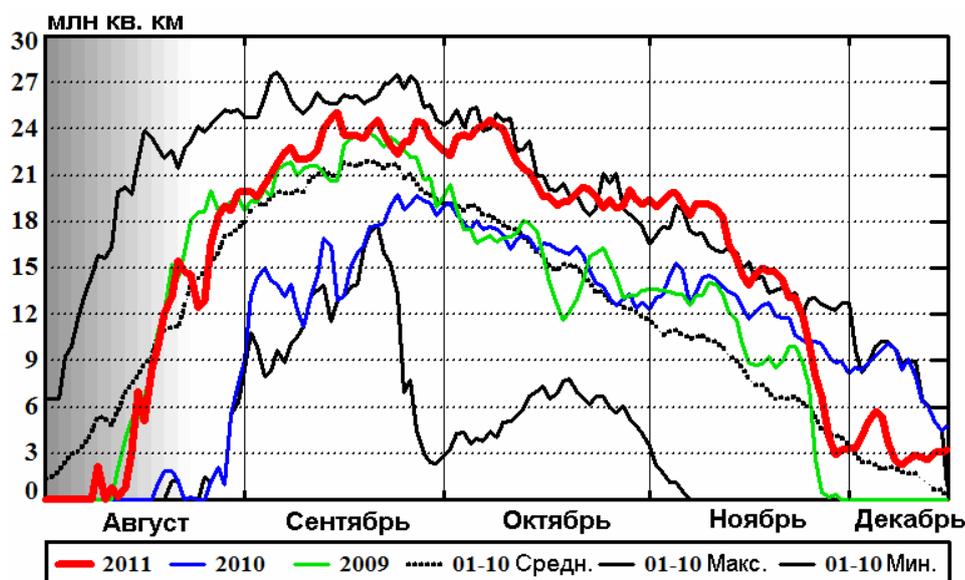
Факт истощения озонового слоя иллюстрируют вертикальные профили озона над станцией Салехард (рис. 10.4) в начале аномалии (15.03.11) и в ее конце (13.04.11). Вместе с тем их сравнение с озоновой аномалией 2011 г. в Антарктиде (Южный полюс, 02.10.11) показывает, что по величине дефицита массы озона арктические аномалии несопоставимы с антарктическими. Аномалия ОСО весной 2011 г. в высоких широтах Северного полушария не может быть объяснена аномалиями таких связанных с климатом факторов, как Арктическое (Североатлантическое) колебание, квазидвухлетние колебания, Эль-Ниньо - Южное колебание. По мнению некоторых авторитетных зарубежных исследователей, наблюдавшаяся аномалия ОСО обусловлена, в первую очередь, необычно теплой поверхностью Тихого океана в субарктической области. Образовавшаяся в марте аномалия обусловила пониженные значения ОСО и в последующие месяцы вплоть до конца осени, хотя и не столь значительные. Это объясняется тем, что интенсивность меридионального переноса озона из тропических озонопродукующих зон оказалась недостаточной для того, чтобы полностью восполнить образовавшийся весной дефицит.



**Рисунок 10.4** - Профили вертикального распределения парциального давления озона  $p_3$  (1-3) и логарифма его отношения смеси  $\lg r_3$  (4-6) на станциях Салехард ( $67^\circ \text{ N}$ ,  $67^\circ \text{ E}$ ) и Южный Полюс ( $90^\circ \text{ S}$ ).

### ***Весенняя Антарктическая озоновая аномалия***

Как и в последние 25 лет, в 2011 г. наблюдалась весенняя Антарктическая озоновая аномалия (ВАОА) – с августа по декабрь. Основной объем данных о характеристиках ВАОА (максимальная площадь, минимальное значение ОСО в ней и общий дефицит озона за время существования ВАОА) получают с помощью спутниковых наблюдений аппаратурой производства США и западноевропейских стран. Площадью, занятой ВАОА, считают площадь территории, над которой ОСО меньше 220 е.Д. Ее временной ход в 2011 г., по данным НАСА, США, приведен на рис. 10.5. В отличие от арктических аномалий озона, где от поверхности Земли до высоты 30 км наблюдается практически непрерывный рост отношения смеси озона, ВАОА характеризуется провалом в диапазоне высот 14-22 км в вертикальных профилях парциального давления  $p_3$  и отношения смеси озона  $r_3$  в 100 и более раз (рис. 10.4). Показатели ВАОА 2011 г. уступают рекордным показателям ВАОА, наблюдаемым в конце 1990-х гг.; тем не менее, ВАОА 2011 г. была несколько сильнее средней за последнее десятилетие и заметных особенностей не имела.



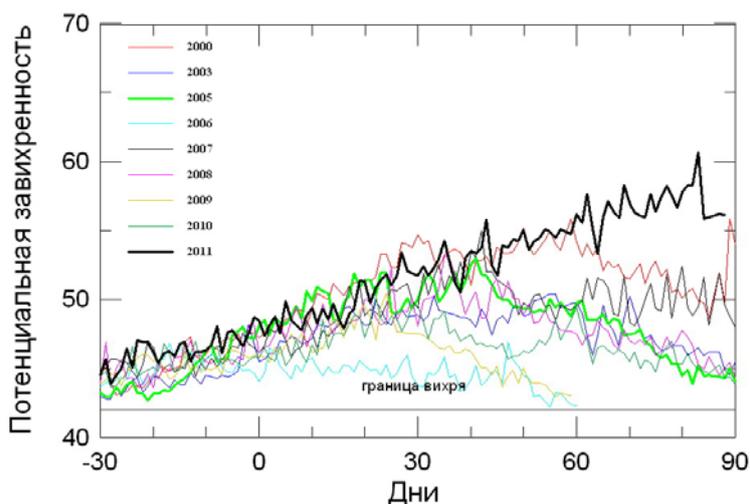
**Рисунок 10.5** - Площадь весенней Антарктической озоновой аномалии в 2009, 2010 и 2011 гг. по данным аппаратуры SBUV/2, NOAA, США (наибольшая ВАОА наблюдалась в 1998 г.); для периода 2001-2010 гг. приведены средняя, максимальные и минимальные площади ОСО для каждого календарного дня.

Процесс восстановления озонового слоя над Антарктидой сложен и сроки его плохо предсказуемы, в первую очередь, из-за недостаточного количественного (возможно, качественного) понимания механизмов, обуславливающих основные характеристики ВАОА. Хотя в 2011 г. появилась первая публикация, в которой сообщено об обнаружении признаков восстановления озонового слоя в районе наблюдений ВАОА, представляется, что в настоящее время возможно говорить лишь о стабилизации основных характеристик ВАОА. По мнению ряда специалистов, первые статистически достоверные признаки восстановления озонового слоя над Антарктидой появятся, вероятно, примерно через 10 лет. Учитывая аномальные метеорологические условия 2011 г. в стратосфере высоких широт Северного полушария и продолжающееся уменьшение содержания хлорфторуглеродов в стратосфере, в ближайшем будущем следует ожидать дальнейшего восстановления озонового слоя, в том числе над территорией Российской Федерации.

#### ***Факторы разрушения озона в Арктике.***

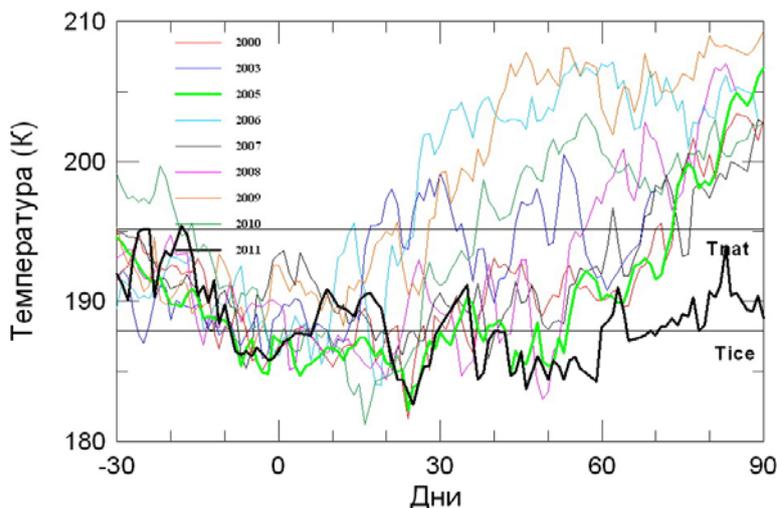
Впервые за время наблюдений в Арктике зимой 2010/11 года условия для химического разрушения озона в полярном циклоне были сопоставимы с антарктическими. Необычайно сильный и стабильный полярный циклон, более длительный (чем обычно в Арктике) период существования низких температур, а также рекордные пространственные размеры области формирования полярных стратосферных облаков (ПСО) создали условия для значительного увеличения содержания СЮ и степени денитрификации в полярной арктической стратосфере, характерные для Антарктики (например, зима 2003 года).

Крайне слабая активность планетарных волн в тропосфере в течение зимы привела к формированию очень сильного и стабильного полярного циклона, усиливающегося вплоть до конца марта (рис. 10.6), и к поздней весенней перестройке в конце апреля. Изменение ежедневной минимальной температуры в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (~18-19 км) для зимы 2010/11 г.г. приведено на рис. 10.7. Хотя ежедневные значения минимальной температуры не были необычно низкими, однако длительность холодного периода, его непрерывность и вертикальная протяженность области низких температур существенно превосходили ранее наблюдавшиеся значения.



**Рисунок 10.6** - Средняя потенциальная завихренность (ПЗ) в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (~18-19 км). Данные получены путем осреднения всех значений ПЗ в узлах регулярной сетки внутри циклона. Значение ПЗ=42 ед ( $10^{-6} \text{ км}^2 / \text{кгс}$ ) принимается за границу циклона.

Температура ниже пороговой для образования ПСО наблюдалась более 100 дней (с начала декабря до конца марта) в широком диапазоне высот 15 – 23 км. В течение первой половины января область образования ПСО I типа простиралась до необычайно высокого изэнтропического уровня 950 К (свыше 30 км). С середины января до конца февраля температуры ниже пороговых значений для образования ПСО I типа наблюдались непрерывно в диапазоне потенциальной температуры 400-600 К (15-25км), в течение марта верхняя граница области образования ПСО опустилась до высоты ~21 км (500 К). В третьей декаде января и в течение практически всего февраля на некоторых уровнях температура в стратосфере опускалась ниже пороговой для образования ПСО II типа (ледяных частиц). Суммарный объем воздушных масс с благоприятными для формирования ПСО условиями зимой 2010/11 года достиг рекордных для Арктики значений более 70 млн км<sup>3</sup>.



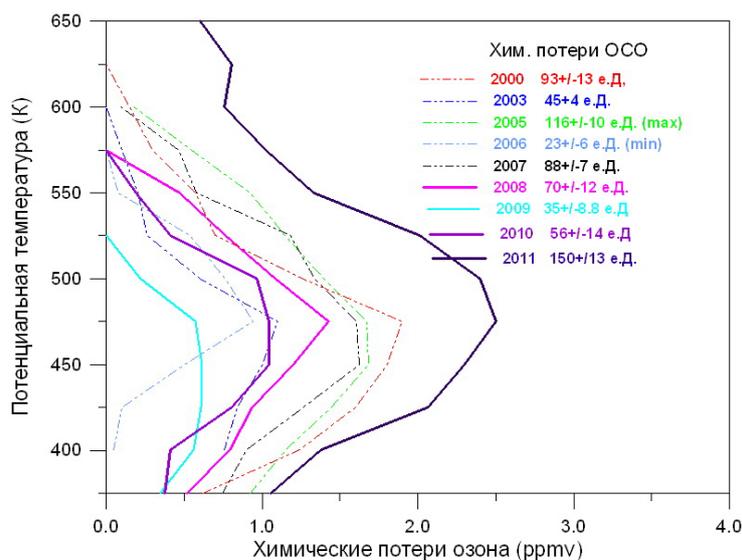
**Рисунок 10.7** - Изменение ежедневной минимальной температуры в полярном циклоне на изэнтропическом уровне 475 К (~19 км). Горизонтальные прямые указывают пороговые для образования ПСО I (Tnat) и II (Tice) типа значения температуры (по данным Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ECMWF).

Эволюция химического состава стратосферы в арктическом циклоне также развивалась по антарктическому сценарию. Уменьшение концентрации HCl и увеличение ClO наблюдаются в Арктике каждую холодную зиму, но никогда еще процесс активации хлора не был столь обширным и длительным. Средняя по циклону концентрация HCl на изэнтропическом уровне 475 К (~18-19 км) по данным спутникового прибора MLS-AURA уменьшилась от значений 1.8 ppbv в начале декабря до значений 0.3 ppbv в начале марта, а концентрация ClO соответственно возросла за тот же период от практически нулевых значений до 1.2 ppbv. К числу факторов, усиливающих химическое разрушение озона в полярном циклоне, относится процесс денитрификации стратосферы, замедляющий деактивацию хлора посредством преобразования в неактивный резервуар ClONO<sub>2</sub> (обычный для

Арктики механизм деактивации хлора). Существование столь длительного холодного интервала в зимне-весенний период 2010/11 года привело к образованию достаточно больших частиц ПСО, вследствие седиментации которых степень денитрификации стратосферы к концу марта 2011 года достигла 40% уровня.

**Химическое разрушение озона в полярном циклоне.** В зимне-весенний период 2009/10 года Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета продолжала осуществлять мониторинг состояния озонового слоя в высоких широтах северного полушария. Для оценок химических потерь озона (ХПО) в полярном циклоне использовались данные спутникового прибора MLS-AURA и результаты баллонного озонового зондирования на станциях сети NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change).

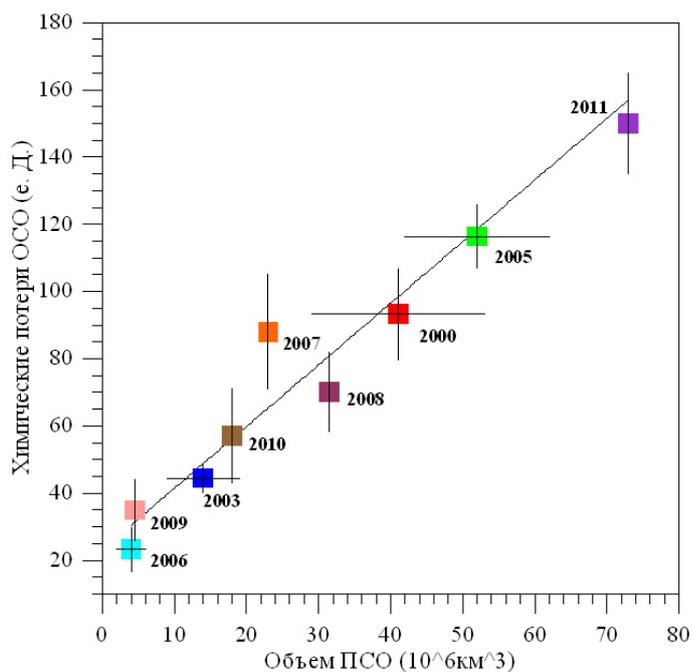
В конце января на изоэнтропических уровнях 400-650 К (15-27 км) началось резкое уменьшение отношения смеси озона, длившееся до середины апреля и указывающее на преобладание процесса химического разрушения озона в тот период, когда полярный циклон сместился в освещенную область. В конце марта - начале апреля в некоторых озоновых профилях отношение смеси озона в интервале 18-20 км уменьшилось до значений 0.5-0.7 ppv. Среднее по циклону отношение смеси озона на уровне 475 К (~18-19 км) к концу марта уменьшилось на 2 ppv (т. е. более чем на 70%) по сравнению со значениями в начале января. На рис. 10.8 представлены результаты расчета средних по циклону химических потерь озона за период с 5 января по 8 апреля 2011 г. в сравнении с данными, полученными за предыдущие годы.



**Рисунок 10.8** - Вертикальное распределение суммарных за зимне-весенний период химических потерь озона в полярном циклоне за период 2000-2011 гг.

Процесс химического разрушения озона протекал наиболее интенсивно в диапазоне потенциальных температур 400-650 К (15-22 км). Максимум химических озоновых потерь (ХПО) более 2.5 ppv наблюдался на изоэнтропическом уровне 475 К. Скорость химических потерь озона на этом уровне к середине марта достигла значений 100 ppv в день. Величина химических потерь ОСО в полярном циклоне зимой 2010/11 года составляла 150±13 е.Д. — это рекордная величина ХПО за весь период наблюдений в Арктике (предыдущий рекорд наблюдался зимой 2004/05 года и составлял 116 е. Д.).

На рис. 10.9 приведена зависимость величины химических потерь ОСО от величины объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода. Величина ХПО за зимне-весенний период 2010/11 года еще раз подтверждает существование линейной зависимости между этими величинами.



**Рисунок 10.9** - Зависимость величины химических потерь ОСО от объема воздушной массы, занимаемой полярными стратосферными облаками в течение зимне-весеннего периода. Расчеты ХПО проведены по данным баллонных измерений озона на российских станциях Салехард (2000, 2003, 2007), СП-35 (2008) и данным спутниковых измерений SAGE III (2005) и MLS-AURA (2006, 2009, 2010, 2011). Данные объема ОСО: до 2008 года – Alfred Wegener Institute, Potsdam, Germany, после 2008 года - ЦАО.

Таким образом, уровень общего содержания озона над практически всей территорией Российской Федерации в течение 2011 г. был заметно ниже наблюдаемого в конце 1970-х, но выше минимального в конце 1990-х.

Весенняя аномалия ОСО в высоких широтах была одной из самых значительных озоновых аномалий в Северном полушарии за все время более чем полувековых наблюдений. Возникновение крупной аномалии ОСО в высоких широтах Северного полушария в 2011 г. свидетельствует о том, что ряд механизмов, ответственных за поведение озонового слоя, подвержен заметным отклонениям от климатической нормы, и, следовательно, долговременная эволюция состояния этого слоя должна рассматриваться как часть долговременной эволюции климатической системы Земли в целом.

Величина химических потерь ОСО в газофазных и гетерофазных реакциях внутри полярного циклона зимой 2010/11 года составила, по разным оценкам, 130-150 е.Д. – это рекордная величина потерь за весь период наблюдений в Арктике (предыдущий максимум наблюдался зимой 2004/05 года и составлял 116 е.Д.).

## ВЫВОДЫ

□ В целом для России 2011 год был теплым – среднегодовая аномалия температуры составила  $+1.55$  °С. Год вошел в пять самых теплых лет за период инструментальных наблюдений, повторив температуру 2005 года. Более теплыми были рекордный 2007 год ( $+2.08$  °С) и следующие за ним 1995 и 2008 гг. (соответственно, аномалии  $+2.05$  и  $+1.86$  °С). Основными сезонными особенностями года были холодная зима и теплые весна (ранг 2) и лето (ранг 3). В регионе Приамурье и Приморье летняя температура перекрывала абсолютный максимум (с 1886 года) второй год подряд. Холодная зима 2010/11 г. вместе с исключительно холодной зимой предыдущего года значительно повлияла на оценки региональных трендов зимнего сезона.

В среднем за год на всей территории России сохранилась тенденция к потеплению. Регионы наиболее интенсивного потепления – Европейская часть России ( $0.53$ °С/10 лет) и Восточная Сибирь ( $0.51$ °С/10 лет). Тенденция к похолоданию в зимний период отмечается в северо-восточном регионе (на Чукотке до  $-0.6$  °С/10 лет) и в Западной Сибири (до  $-0.3$  °С/10 лет).

□ Количество осадков, выпавших в среднем за год по всей территории России, в 2011 году было близким к норме (аномалия  $-0.1$  мм/месяц). Наиболее значительные осадки отмечаются зимой в регионах Дальневосточного округа и весной на юге ЕЧР. Дефицит осадков наблюдался зимой в Центральном ФО и осенью в Прибайкалье и Забайкалье.

Тренд годовых сумм осадков за период 1976 - 2011 гг. положительный на большей части территории России. Преимущественно положительный тренд наблюдается и в отдельные сезоны; заметные исключения – восточные регионы России зимой и летом и ЕЧР - летом. Наиболее выражен рост осадков весной, когда линейный тренд объясняет 20% суммарной изменчивости осадков. Максимум роста годовых осадков наблюдается в Средней Сибири, где количество осадков растет во все сезоны, кроме зимы. В остальные сезоны в большинстве регионов тренды ответственны лишь за малую долю межгодовой изменчивости.

□ Для периода 1976-2011 гг. сохраняются основные тенденции изменений снежного покрова, наблюдавшиеся в прошлые годы: уменьшение продолжительности залегания снежного покрова на территории ЕТР и Западной Сибири, на Таймыре и востоке Якутии и рост на Урале, на юге Восточной Сибири, в Приморье и на побережье Охотского моря. Максимальная высота снежного покрова растет на Урале, на большей части Сибири, на Камчатке, Чукотке и юге Дальнего Востока и уменьшается на западе ЕТР и в Якутии.

Зимой 2010/11 продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России была близка к норме, но на севере и востоке ЕЧР и в Западной Сибири значительно ниже нормы. По высоте снежного покрова зима вошла в 10 самых снежных зим в среднем по территории России и на Дальнем Востоке за период 1939-2011 гг. На многих метеорологических станциях северо-запада ЕТР и Верхней Волги перекрыты абсолютные рекорды. Максимальный за зимний период запас воды в снежном покрове в 2011 г. (в среднем по России) оказался наибольшим с 1939 в поле, несколько ниже нормы – в лесу и преимущественно выше нормы и около нормы – в бассейнах крупных рек и водохранилищ.

□ Главной особенностью процесса вскрытия рек в 2011 году явилось его позднее наступление на реках юго-запада европейской территории России и раннее почти на всех реках азиатской территории. Ледообразование на реках западных и южных областей ЕЧР происходило прерывисто и в близкие к экстремально поздним сроки – на

30-35 суток позднее обычного. Позднее ледообразование наблюдалось также на большей части азиатской территории.

□ Для Северной полярной области 2011 год стал первым по рангу теплых лет за период с 1936 года – аномалия среднегодовой температуры воздуха в среднем по СПО составила +2.3 °С (предыдущий максимум +1.8 °С наблюдался в 2005 и 2007 гг.). Самые крупные аномалии, в целом за год и в отдельные сезоны, наблюдались на территории Западносибирского района в целом, а также в районе морей Карского и Лаптевых.

Значимый годовой тренд потепления наблюдается во всех климатических районах СПО, за исключением Североевропейского и Западносибирского. Для СПО в целом тренд за 1936-2011 гг. равен +0.11°С/10 лет и объясняет около 37% суммарной дисперсии. Годовые суммы осадков в целом для СПО увеличиваются (около +3 мм/10 лет).

Наблюдаемое с начала 1980-х годов сокращение площади морского льда резко ускорилось в конце 1990-х. В сентябре 2011 года площадь льда составила 4.61 млн. кв. км, что является вторым минимальным значением после 2007 года (4.30 млн. км<sup>2</sup>).

□ Мощность сезонно-талого слоя (СТС), характеризующая состояние вечной мерзлоты, растет в начале 20 века почти во всех пунктах измерений (площадках), для которых имеющиеся данные позволяют получить оценки тренда. Европейский север России характеризуется наибольшим приростом СТС за период наблюдений.

□ Условия зимнего периода 2011 г. оцениваются как достаточно благоприятные для перезимовки озимых зерновых культур. На ЕТР более холодная, по сравнению с 2010 г., весна способствовала сохранению накопленных за осенне-зимний период запасов почвенной влаги. В наиболее подверженных засухам регионах Приволжского и Южного федеральных округов весной 2011 г. выпало в среднем на 20 мм больше осадков, чем в засушливом 2010 году. Площадь регионов, охваченных засухой, росла от июня к июлю, но сильная засуха (влагозапасы пахотного слоя ≤ 5 мм) отмечена лишь на территории Северного Кавказа, Нижней Волги и Южного Урала.

В целом агроклиматические условия 2011 г. следует оценить как более благоприятные по сравнению с засушливым 2010 годом, но в результате засухи, наблюдавшейся на юго-востоке Европейской России, сельское хозяйство понесло значительные потери по сравнению с высокоурожайным 2008 годом.

□ Общее число опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) в 2011 г. составило 760, что на 22% меньше, чем в 2010 году. 322 ОЯ нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. 2011 год оказался седьмым за период 1996 – 2011 гг. в рейтинге по количеству гидрометеорологических ОЯ, нанесших ущерб; меньшее количество таких ОЯ наблюдалось только в период с 1996 г. по 2004 г.

□ В среднем для территории России в 2011 г. во все сезоны приход солнечной радиации был близок к норме. Наиболее существенная особенность радиационного режима 2011 г. связана с наличием в летний сезон обширной, глубокой и устойчивой отрицательной аномалии в азиатской части России (с центром в Средней Сибири), и положительной аномалии в европейской части, когда были зафиксированы рекордные значения в месячных и сезонных суммах приходящей радиации.

В конце 1980-х – начале 1990-х гг. в регионах Российской Федерации отмечается пониженное поступление солнечной радиации, при этом на интервале 1961-1990 гг. диагностируется отрицательный тренд. В последнем десятилетии 20-го и начале 21-го столетия происходит возврат к значениям приходящей радиации, близким к норме. В большей степени, чем для других регионов, отклоняются от нормы годовые суммы прямой солнечной радиации на территории Средней Сибири, где в течение последних лет регистрируются отрицательные аномалии.

□ Уровень общего содержания озона практически над всей территорией РФ в течение 2011 г. был заметно ниже наблюдаемого в конце 1970-х, но выше минимального в конце 1990-х. Весенняя аномалия ОСО в высоких широтах была одной из самых значительных озоновых аномалий в Северном полушарии за все время более чем полувековых наблюдений.

Величина химических потерь ОСО в газофазных и гетерофазных реакциях внутри полярного циклона зимой 2010/11 года составила, по разным оценкам, 130-150 е.Д.– это рекордная величина потерь за весь период наблюдений в Арктике (предыдущий рекорд наблюдался зимой 2004/05 года и составлял 116 е.Д.). Это дает основание говорить об обострении озоновой проблемы в Арктике.

## SUMMARY

□ The year 2011 on the territory of Russia was warm, with the annual mean SAT anomaly equal to  $+1.55^{\circ}\text{C}$ . The year ranks among the five warmest during the period of instrumental observations. The same SAT anomaly was observed in 2001. The warmer years were the record warm 2007 ( $+2.08^{\circ}\text{C}$ ) and then 1995 and 2008 with anomalies equal to  $+2.05^{\circ}\text{C}$  and  $+1.86^{\circ}\text{C}$ , respectively. The major seasonal features of the year were cold winter and warm spring (the 2nd warmest spring) and summer (3rd). In the regions of Amur and Primorye the summer of 2011 was the second consecutive year with temperature exceeding the absolute maximum since 1886. Cold winter of 2010/11, accompanied by extremely cold winter of the preceding year, seriously affected estimates of regional winter temperature trends.

All over the territory of Russia the warming tendency is conserved for annual averages. Regions of the strongest warming are the European part of Russia ( $0.53^{\circ}\text{C/decade}$ ) and Eastern Siberia ( $0.51^{\circ}\text{C/decade}$ ). The cooling tendency is observed in the north-eastern region (as strong as  $-0.6^{\circ}\text{C/decade}$  over the Chukotka peninsula) and Western Siberia ( $-0.3^{\circ}\text{C/decade}$ ).

□ Annual precipitation amount over the entire territory of Russia in 2011 was close to normal (anomaly about  $-0.1$  mm/month). Largest precipitation amounts were observed in winter over Far Eastern regions and in spring over southern European Russia. Lower than normal precipitation amounts were observed in winter in the Central Federal District and in autumn over the Baikal region.

Trends of annual precipitation amounts for the period from 1976 to 2011 are positive over most of Russia. Positive trends also prevail in individual seasons. The only apparent exceptions are eastern regions of Russia in winter and summer, and European Russia in summer. An increase in precipitation is most pronounced in spring, when the linear trend explains 20% of the total precipitation variance. The maximum of the annual precipitation increase is observed in Central Siberia, where precipitation amounts increase in all seasons except winter. In most regions in all seasons except spring trends are responsible for only the minor fraction of interannual variability.

□ Principal tendencies in the snow cover changes observed in previous years remain the same for the period from 1976 to 2011. These are: the decrease in duration of snow cover on the territory of European Russia, Western Siberia, the Taimyr peninsula, eastern Yakutia, and the increase over the Urals, in southern Eastern Siberia, Primorye and at the coast of the Sea of Okhotsk. The maximum depth of snow cover increases over the Urals, most of Siberia, the Kamchatka and Chukotka peninsulas, southern Far East, and decreases in western European Russia and Yakutia.

In winter of 2010/11, the average duration of snow cover over the territory of Russia was close to normal, but in the north and east of European Russia and in Western Siberia it was much less than normal. By the snow cover depth, this winter was among the 10 snowy winters in the period from 1939 to 2011 over the territory of Russia on the average, and in the Far East of Russia. At many stations in the north-western European Russia and the Upper Volga region previous record highest values were exceeded. The peak water storage in snow over the winter season in 2011 (averaged over Russia) was the largest since 1939 in the fields, but slightly less than normal in the forest, and mainly above normal and close to normal over basins of large rivers and storage reservoirs.

□ The principal feature of the river spring break process in 2011 is its late start on the rivers of south-eastern European Russia and early start on almost all rivers of Asian Russia. The freeze-up of rivers in western and southern European Russia ran discontinuously at the dates close to the latest: 30-35 days later than normal. The late river freeze-up was also observed in the most of Asian Russia.

□ In the North Polar region the year 2011 ranks as the first warmest since 1936 with the annual mean SAT anomaly averaged over the region equal to +2.3 °C (the second largest value of +1.8 °C was observed in 2005 and 2007). The largest annual and seasonal anomalies were observed over the West Siberian region and over the Kara and Laptev seas.

A significant annual warming trend is found in all climatic sub-regions of the North Polar region except the North European and West Siberian ones. For the North Polar region as a whole a linear trend over the period from 1936 to 2011 is +0.11 °C/decade and explains about 37% of the total variance. Annual precipitation amounts over the North Polar region increase by about 3 mm/decade.

The sea-ice area reduction, observed since the early 1980s, had accelerated abruptly since the late 1990s. In September, 2011 the sea-ice area was 4.61 million sq.km, the second smallest value after 2007 (4.30 million sq.km).

□ The depth of seasonal thawing that characterizes the permafrost state increases in the early 21<sup>st</sup> century at almost all measurement sites where available data are sufficient for the trend estimates. The largest increase in the seasonal thawing depth is observed in the north of European Russia.

□ Winter season conditions in 2011 are considered sufficiently favorable for winter crops. Colder than in 2010 spring in European Russia contributed to the conservation of soil moisture accumulated during autumn and winter seasons. The spring precipitation amounts in 2011 over most arid regions of Volga and Southern Federal Districts exceeded that in the dry year 2010 by 20 mm on the average. The area of regions experiencing drought had increased from June to July, but strong drought (moisture of soil in the arable layer  $\leq 5$  mm) was observed only in the North Caucasus, the Lower Volga, and the South Urals.

Generally agricultural climatic conditions of the year 2011 may be considered more favorable as compared to the dry year 2011, but the drought in south-eastern European Russia resulted in significant losses of agriculture as compared to the highly productive year 2008.

□ Average over the territory of Russia income of solar radiation in 2011 was close to normal in all seasons. The most significant features of radiation conditions in 2011 are the spacious, strong, persistent negative anomaly in Asian Russia, centered at Central Siberia, and the positive anomaly in European Russia, where record highest values of monthly and seasonal total incoming solar radiation were observed.

In the late 1980s – early 1990s the reduced income of solar radiation was observed over the regions of Russia, with downward linear trends experienced from 1961 to 1990. In the last decade of the 20<sup>th</sup> century and early 21<sup>st</sup> century incoming solar radiation tends to return to the normal values. To a greater degree, than in other regions, annual total direct radiation deviates from normal in Central Siberia, where negative anomalies are observed in recent years.

□ The total ozone content level in 2011 was significantly lower than that observed in the late 1970s, but greater than the minimum of the late 1990s. The spring total ozone anomaly in high latitudes ranked among the most significant ozone anomalies in the Northern hemisphere over almost five decades of observations.

The chemical ozone depletion in gaseous phase reactions and heterogeneous chemistry reactions within the Polar cyclone in the winter of 2010/11 was, by various estimates, 130-150 DU, which is the record highest depletion value over the entire period of observations in the Arctic region (the previous record value of the winter 2004/05 was 116 DU). This suggests the aggravation of the Arctic ozone problem.