

Федеральная служба по гидрометеорологии и  
мониторингу окружающей среды

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ  
ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А.И.ВОЕЙКОВА»

(ГУ «ГГО»)

УДК 551.588

№ госрегистрации

Инв.№

УТВЕРЖДАЮ

Директор ГУ «ГГО»,  
д-р физ.-мат.наук

В.М. Катцов

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ОЦЕНКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЕГО  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ОТРАСЛЕЙ  
ЭКОНОМИКИ БЕЛАРУСИ И РОССИИ И РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ  
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО АДАПТАЦИИ К МЕНЯЮЩИМСЯ КЛИМАТИЧЕСКИМ  
УСЛОВИЯМ

(промежуточный)

Раздел 3 программы Союзного государства «Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды» на 2007 – 2011 гг.

Контракт № 3 от « 19 » июня 2007 г.,  
Дополнительное соглашение № 2  
к Контракту от 19 июня 2007 г. № 3 от 9 марта 2009 г.

Координатор работ,  
ученый секретарь ГУ «ГГО»,  
канд. геогр. наук

Е.Л. Махоткина

Санкт-Петербург 2009

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

### 1. Проект 3.1

Научный руководитель,  
зав. отделом, д.ф.-м.н.

Г.В. Груза

Ответственный исполнитель,  
зав. сектором, д.ф.-м.н.

Э.Я. Ранькова

Исполнители:

снс, к.ф.-м.н.

М.Ю. Бардин

снс, к.г.н.

Э.В. Рочева

снс, к. ф.-м.н.

Р.Н. Хвостова

к.г.н.

Т.В. Платова

к.г.н.

Ю.Ю. Соколов

к.г.н.

О.Ф. Самохина

### 2. Проект 3.2

Ответственный исполнитель,  
зав. лабораторией, к.ф.-м.н.

И.М. Школьник (Введение, разделы 1-2,  
заключение)

Исполнители:

Директор ГУ «ГГО», д.ф.-м. н.

В.М. Катцов (Разделы 1-2)

Руководитель отдела, д.ф.-м. н.

В.П. Мелешко (Разделы 1-2, заключение)

Младший научный сотрудник

С.В. Ефимов (Разделы 1, 2)

### 3. Проект 3.3

Ответственный исполнитель  
гл.н.с., д.г.н., проф.

Н.В. Кобышева (Общее руководство,  
участие в подготовке всех рекомендаций  
по адаптации)

Исполнители:

В.н.с., к.г.н.

Е.М. Акентьева (Энергетика)

В.н.с., к.г.н.

М.В. Ключева (Строительство)

С.н.с., к.г.н.

Ю.А. Семенов (Нагрузки)

С.н.с., к.г.н.

Е.Н. Разова (Трубопроводы)

### 4. Проект 3.4

Ответственный исполнитель:

Зав. ОПК в.н.с., к.г.н

В.В. Стадник

Исполнители:

в.н.с, д.г.н.,

М.М. Борисенко

в.н.с., к. ф.-м.н.

Е.И. Хлебникова

с.н.с., к.г.н.

И.Н. Шанина

с.н.с.

Л.М. Псаломщикова

н.с.

И.А. Салль

м.н.с.

О.В. Трофимова

м.н.с.

Л.В. Штабова

## РЕФЕРАТ

Отчет 63 стр., 18 рис., 19 табл., 16 источников

КЛИМАТ, БАЗА ДАННЫХ, МОНИТОРИНГ КЛИМАТА, ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ИЗМЕНЧИВОСТЬ, АНОМАЛЬНОСТЬ, ЭКСТРЕМАЛЬНОСТЬ КЛИМАТА, ТЕМПЕРАТУРА, ОСАДКИ, РЕГИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ, РЕАНАЛИЗЫ, ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА, РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ВЕТРОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ

Настоящий отчет содержит результаты работ, полученные при выполнении в 2009 г проектов, входящих в раздел 3 «Оценка региональных особенностей изменения климата и его социально-экономических последствий для основных отраслей экономики Беларуси и России и разработка практических рекомендаций по адаптации к меняющимся климатическим условиям» программы Союзного государства «Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодноклиматических условиях, состоянии и загрязнении природной среды» на 2007 – 2011 годы.

По проекту 3.1 подготовлены и размещены на Интернет-сайте ИГКЭ бюллетени с данными о текущих климатических аномалиях на территории России и Беларуси, в том числе годовой бюллетень "Изменения климата – 2008 (декабрь 2007-ноябрь 2008) и сезонные бюллетени за зиму 2008-2009 гг., весну – осень 2009.

По проекту 3.2 по данным реанализа NCEP проведен расчет изменчивости характеристик климата на территориях России и Белоруссии. Показано, что неопределенности в современных реанализах могут оказывать существенное влияние на расчет изменчивости климата двух стран.

В проекте 3.3 предлагаются рекомендации по некоторым мерам адаптации к изменениям климата в ключевых и, в то же время, наиболее климатически-уязвимых секторах экономики – энергетике, строительству и ЖКХ. Рекомендации подготовлены с учетом результатов анализа прогнозируемых изменений климата и социально-экономических особенностей.

В проекте 3.4 представлены рассчитанные характеристики различных видов скользкости. Перечень их следует рассматривать как необходимый для разработки общей стратегии зимнего содержания автомобильных дорог в различных климатических условиях и определения порядка действий и норм внесения противогололедных материалов в конкретных ситуациях.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **1. Проект 3.1 Оценка наблюдаемых тенденций изменения климата на региональном уровне и выпуск информационных бюллетеней о его состоянии и изменениях на территории Союзного государства**

Введение .....	6
1.1. Данные о приземной температуре и осадках в базовых массивах мониторинга климата (по состоянию на 01.01.2009) .....	6
1.2. Обзор климатических аномалий на территории Республики Беларусь в 2008г.....	7
1.2.1. Температура воздуха.....	7
1.2.2. Атмосферные осадки.....	11
1.3. Климатические аномалии 2009 года (материалы сезонных бюллетеней мониторинга климата Беларуси) .....	14
1.3.1. Зима 2008-2009гг.....	14
1.3.2. Весна 2008 г.....	15
1.3.3. Лето 2009 г.....	18
Заключение .....	20

### **2. Проект 3.2. Исследование и сценарные оценки ожидаемых изменений регионального климата на территориях Беларуси и России**

Введение.....	20
2.1. Постановка экспериментов .....	21
2.2. Анализ расчетов.....	22
Заключение.....	24
Список использованных источников .....	24

### **3. Проект 3.3. Оценка последствий изменения климата и его влияния на базовые сферы социально-экономической деятельности и подготовка рекомендаций по адаптации основных отраслей экономики Беларуси и России к возможным изменениям климата**

Введение.....	25
3.1. Принципы стратегии адаптационных мероприятий, проводимых в связи с изменением климата.....	26
3.2. Рекомендации по адаптации энергетики Беларуси и России к возможным изменениям климата и его долгосрочным сценарным оценкам.....	29
3.2.1. Влияние изменения климата на специализированные климатические характеристики для энергетики.....	29
3.2.2. Адаптационные мероприятия для энергетики.....	32

3.3. Рекомендации по адаптации строительства Беларуси и России к возможным изменениям климата и его долгосрочным сценарным оценкам.....	35
3.3.1. Влияние изменения климата на специализированные климатические характеристики для строительства.....	35
3.3.2. Адаптационные мероприятия для строительства.....	36
3.4. Рекомендации по адаптации жилищного коммунального хозяйства Беларуси и России к возможным изменениям климата и его долгосрочным сценарным оценкам.....	38
Заключение.....	43
Список использованных источников.....	44
<b>4. Проект 3.4. Разработка унифицированных форм представления специализированной климатической информации в научно-справочных пособиях для автомобильного транспорта</b>	
Введение.....	45
4.1. Термины и определения.....	46
4.2. Виды скользкости на поверхности автомобильных дорог и метеорологические условия ее образования.....	47
4.3. Режимные характеристики снегопадов.....	49
4.4. Состав специализированной климатической информации для оптимального функционирования автомобильного транспорта и содержания автомобильных дорог в зимнее время. Методические основы определения специализированных характеристик...	50
4.5. Специализированные климатические характеристики скользкости на автомобильных дорогах.....	55
4.5.1. При наличии снегоотложений.....	55
4.5.2. При отсутствии снеговых отложений.....	55
Заключение.....	60
Список использованных источников.....	61

# **1. Проект 3.1 Оценка наблюдаемых тенденций изменения климата на региональном уровне и выпуск информационных бюллетеней о его состоянии и изменениях на территории Союзного государства**

## **Введение**

Проект 3.1 «Оценка наблюдаемых тенденций изменения климата на региональном уровне и выпуск информационных бюллетеней о его состоянии и изменениях на территории Союзного государства» выполняется в рамках Контракта № 3.1 от 20.06.2007 по программе Союзного государства «Совершенствование системы обеспечения населения и отраслей экономики РФ и Республики Беларусь информацией о сложившихся и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды».

Задачи этапа 2009 г. – продлить базовый архив мониторинга климата данными наблюдений за 2009 гг. и на его основе подготовить бюллетени о состоянии климата в 2008-2009 гг. на территории России и Республики Беларусь (годовой бюллетень за 2008 год, сезонные бюллетени 2009 г.) и получить обновленные региональные оценки текущих тенденций изменения климата.

Бюллетени климатического мониторинга размещены на сайте ИГКЭ «Изменения климата России» (<http://climatechange.su>). В отчете представлены основные материалы мониторинга климата на территории Республики Беларусь (2008-2009 гг.).

### **1.1 Данные о приземной температуре и осадках в базовых массивах мониторинга климата (по состоянию на 01.01.2009)**

Для регулярного мониторинга приземного климата в ИГКЭ используются месячные данные о температуре и осадках на 1383 станциях глобальной сети метеорологических наблюдений, пополняемые на основе сводок CLIMAT (в их числе на территории РФ 310 станций и на территории Республики Беларусь – 7 станций). Дополнительно привлекаются суточные данные о максимальной, минимальной и средней температуре и суточной сумме осадков на 223 станциях международного обмена (архив подготовлен во ВНИИГМИ-МЦД; данные пополняются на основе суточных выводов по сводкам SYNOP). Подробная справка о составе данных, истории их создания и состоянии на момент 01.01.2008 приведены в отчете за 2007 г. К настоящему времени массивы продлены за счет включения данных за 2008 гг. Одноименные данные за 2009 г. накоплены в процессе текущего мониторинга климата для включения в базовые массивы по завершении года.

Фрагмент карты, иллюстрирующий физико-географическое положение региона Республики Беларусь и размещение указанных 7 метеорологических станций (табл.1.1), используемых в мониторинге, приведен на рис.1.1.



**Рис. 1.1 – Географическое положение республики Беларусь**

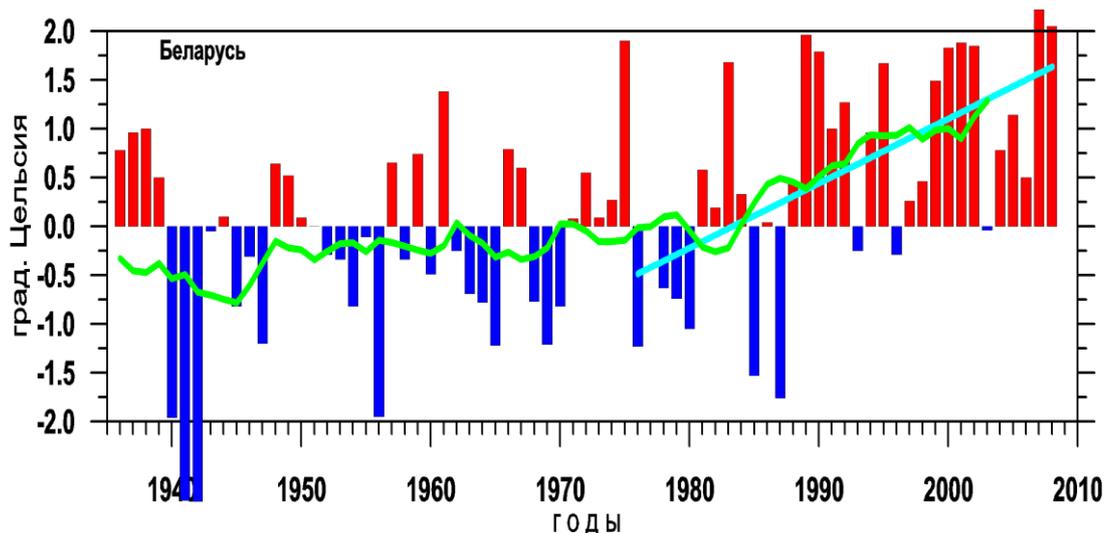
**Таблица 1.1 Перечень станций Республики Беларусь, используемых в климатическом мониторинге**

№№	Название	Индекс ВМО	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)	Высота (м)
1	Витебск	26666	55,20	30,20	169
2	Минск	26850	53,90	27,50	234
3	Могилев	26863	53,90	30,30	180
4	Брест	33008	52,10	23,70	144
5	Пинск	33019	52,10	26,10	144
6	Василевичи	33038	52,30	29,80	140
7	Гомель	33041	52,40	31,00	144

## **1.2. Обзор климатических аномалий на территории Республики Беларусь в 2008г.**

### **1.2.1. Температура воздуха.**

На рис. 1.2 показаны временные ряды регионально осредненных среднегодовых аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 года по настоящее время. Приведенный линейный тренд оценен методом наименьших квадратов и характеризует среднюю скорость изменения температуры в 30-летию 1976-2008 гг.



**Рисунок 1.2 Среднегодовые (декабрь – ноябрь) аномалии температуры приземного воздуха (°С), осредненные по региону Республики Беларусь, 1936 – 2008 гг.**

*Аномалии рассчитаны как отклонения от средней многолетней за 1961 – 1990 гг. Дополнительно приведены 11-летняя сглаженная кривая и линейный тренд за период 1976 – 2008 гг.*

Числовые значения аномалий температуры на станциях, вычисленные за каждый месяц 2008 года, а также за сезоны и год в целом (относительно базового периода 1961-1990 гг.) приведены в таблице 1.2, а в таблице 1.3 приведены сезонные оценки, осредненные по территории Беларуси.

**Таблица 1.2 - Аномалии средней месячной /сезонной / годовой температуры приземного воздуха (°С) на станциях Беларуси в 2008г.**

	<i>Витебск</i>	<i>Минск</i>	<i>Могилев</i>	<i>Брест</i>	<i>Пинск</i>	<i>Василевичи</i>	<i>Гомель</i>
	<b>26666</b>	<b>26850</b>	<b>26863</b>	<b>33008</b>	<b>33019</b>	<b>33038</b>	<b>33041</b>
<b><i>Зима 2007-2008</i></b>	<b>+4.96</b>	<b>+4.41</b>	<b>+4.18</b>	<b>+3.45</b>	<b>+3.91</b>	<b>+3.88</b>	<b>+4.01</b>
Дек.07	+3.3	+2.6	+2.2	+1.1	+1.6	+2.2	+2.5
Янв.08	+4.9	+4.3	+4.3	+3.7	+4.0	+3.9	+3.8
Фев.08	+6.7	+6.3	+6.0	+5.5	+5.9	+5.6	+5.7
<b><i>Весна 2008</i></b>	<b>+1.81</b>	<b>+1.52</b>	<b>+1.68</b>	<b>+1.38</b>	<b>+1.54</b>	<b>+1.64</b>	<b>+2.20</b>
Маар.08	+3.56	+3.08	+3.51	+2.48	+3.24	+3.66	+4.09
Апр.08	+3.65	+3.11	+3.09	+2.12	+2.04	+2.35	+3.01
май.08	-1.77	-1.63	-1.56	-0.47	-0.66	-1.08	-0.49
<b><i>Лето 2008</i></b>	<b>+1.17</b>	<b>+0.94</b>	<b>+0.69</b>	<b>+1.57</b>	<b>+1.42</b>	<b>+0.92</b>	<b>+1.67</b>
июн.08	+0.00	+0.24	-0.70	+1.58	+1.17	-0.34	+0.36
июл.08	+1.05	+0.79	+0.88	+1.08	+1.19	+1.14	+1.97
Авг.08	+2.42	+1.80	+1.90	+2.04	+1.91	+1.95	+2.68
<b><i>Осень 2008</i></b>	<b>+1.53</b>	<b>+1.14</b>	<b>+1.12</b>	<b>+1.19</b>	<b>+1.26</b>	<b>+1.43</b>	<b>+1.61</b>
Сен.08	+0.33	+0.07	-0.05	-0.18	+0.14	+0.14	+0.44
Окт.08	+2.69	+2.22	+2.60	+1.96	+2.15	+2.96	+3.23
ноя.08	+1.56	+1.14	+0.82	+1.80	+1.47	+1.18	+1.15

<b>Год 2008: декабрь- ноябрь</b>	<b>+2.37</b>	<b>+2.00</b>	<b>+1.92</b>	<b>+1.89</b>	<b>+2.01</b>	<b>+1.97</b>	<b>+2.37</b>
--	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

**Таблица 1.3** Сезонные аномалии температуры, осредненные по территории Беларуси, в 2008 году.

<b>Сезоны</b>	<b>vt, °C относительно нормы 1961-1990</b>	<b>Ранг</b>	<b>Рекордный год и его аномалия (vt, °C)</b>
<b>Зима</b>	+4.27	4	1990 (+5.32 °C)
<b>Весна</b>	+1.64	11	2007(+2.89 °C)
<b>Лето</b>	+1.05	18	1999 (+3.09 °C)
<b>Осень</b>	+1.25	8	1967 (+2.48 °C)

Среднегодовая (2007<sub>XII</sub>–2008<sub>XI</sub>) аномалия температуры, осредненная по территории Беларуси, равна +2.05 °C. Это второй максимум в ряду наблюдений после рекордного значения +2.22 °C в 2007 г. Линейный тренд 1976 – 2008 гг. составил +0.66°C / 10 лет (34% дисперсии), так что потепление составляет весьма существенную часть общей изменчивости температуры в регионе Беларуси в последнем 30-летию. Очень тепло было зимой (4-ое значение в ряду наблюдений с 1936 года), особенно в феврале, когда аномалии температуры достигали +6°C.

Особенности пространственного распределения температуры в годовом и сезонном осреднении более четко прослеживаются на рис.1.3, где представлены поля годовых и сезонных аномалий температуры 2008 года на территории Беларуси.

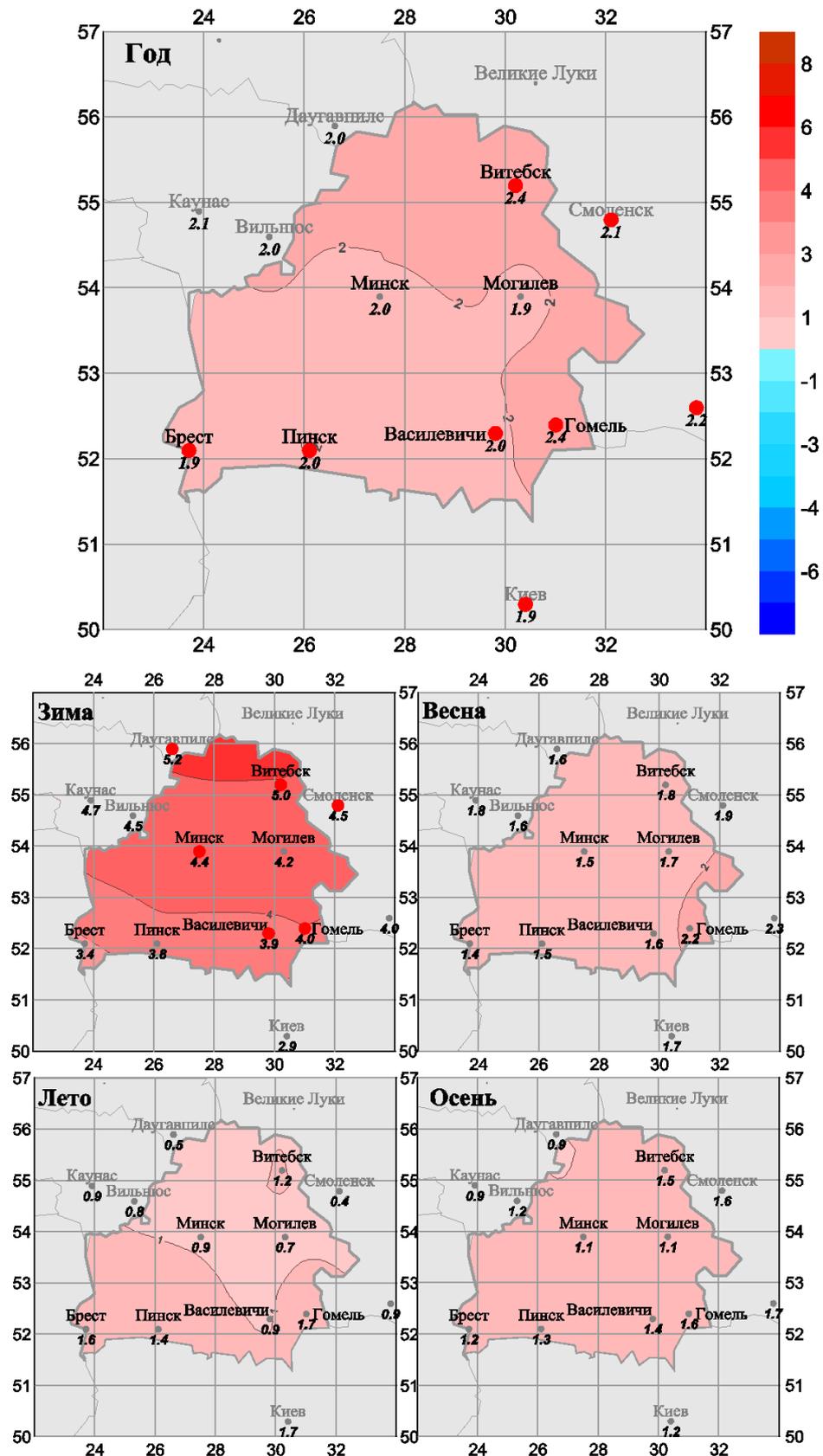


Рисунок 1.3 Среднегодовая и средние сезонные аномалии температуры приземного воздуха (отклонения от средней за 1961-1990 гг.) на территории Республики Беларусь (2007<sub>ХП</sub> – 2008<sub>ХП</sub>). Красными кружками показаны станции, где наблюдались экстремально теплые условия (среди 5% самых теплых за период наблюдений с 1936 г.). Цифрами приведены значения аномалий температуры в градусах Цельсия.

В целом можно видеть, что на всей территории Беларуси год (2007<sub>XII</sub> – 2008<sub>XI</sub>), как и все сезоны, был теплее обычного; на пяти станциях из семи наблюденное среднегодовое значение аномалии температуры превысило 95% процентиль. Самым теплым сезоном была а зима, когда аномалии температуры на всей территории были выше +3.5 °С, а на севере достигли отметки +5 °С.

### 1.2.2 Атмосферные осадки.

На рисунке 1.4 изображен ход осредненных по территории Беларуси среднегодовых аномалий осадков за период с 1936 года. В среднем за 2008 год (2007<sub>XII</sub> – 2008<sub>XI</sub>) и по территории Беларуси месячная сумма осадков превысила норму на 2.8 мм/месяц. Коэффициент линейного тренда за период 1976-2008 гг. составил 1.15 мм/месяц/10 лет, при вкладе тренда в суммарную дисперсию ряда 4% (соответствует уровню значимости 12.8%), что говорит об очень слабой тенденции к росту осадков с высокой вероятностью его случайного происхождения.

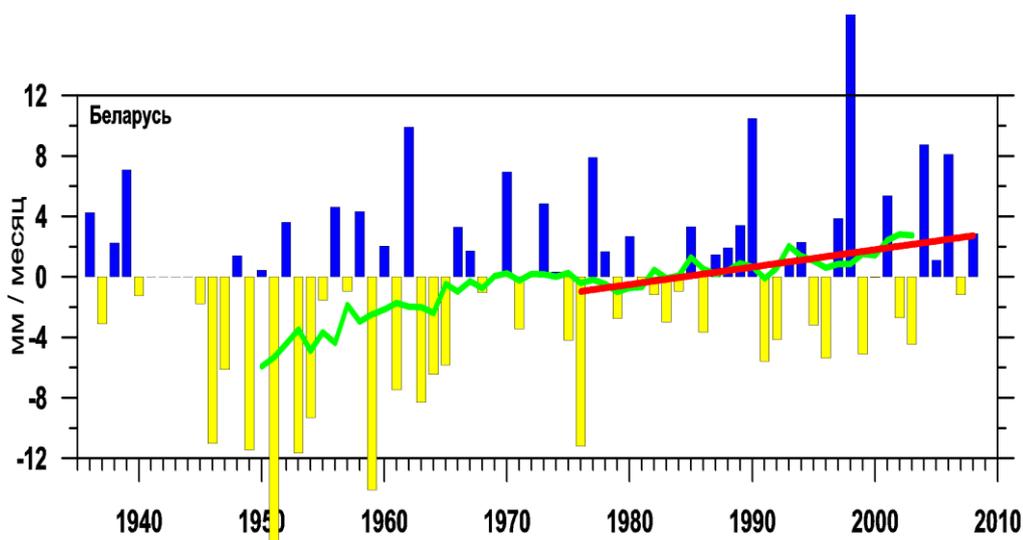


Рисунок 1.4 Среднегодовые аномалии (декабрь – ноябрь) месячных сумм осадков (мм/месяц) для республики Беларусь, 1936 – 2008 гг.

В таблице 1.4 представлены количественные данные об осадках, выпавших на станциях Беларуси в 2008 году (ежемесячно, в среднем за каждый сезон и год). Верхняя секция таблицы содержит собственно количество выпавших осадков в мм, а нижняя – величину аномалий осадков, рассчитанных как отклонения от соответствующих 30-летних стационарных «норм» (в мм/месяц).

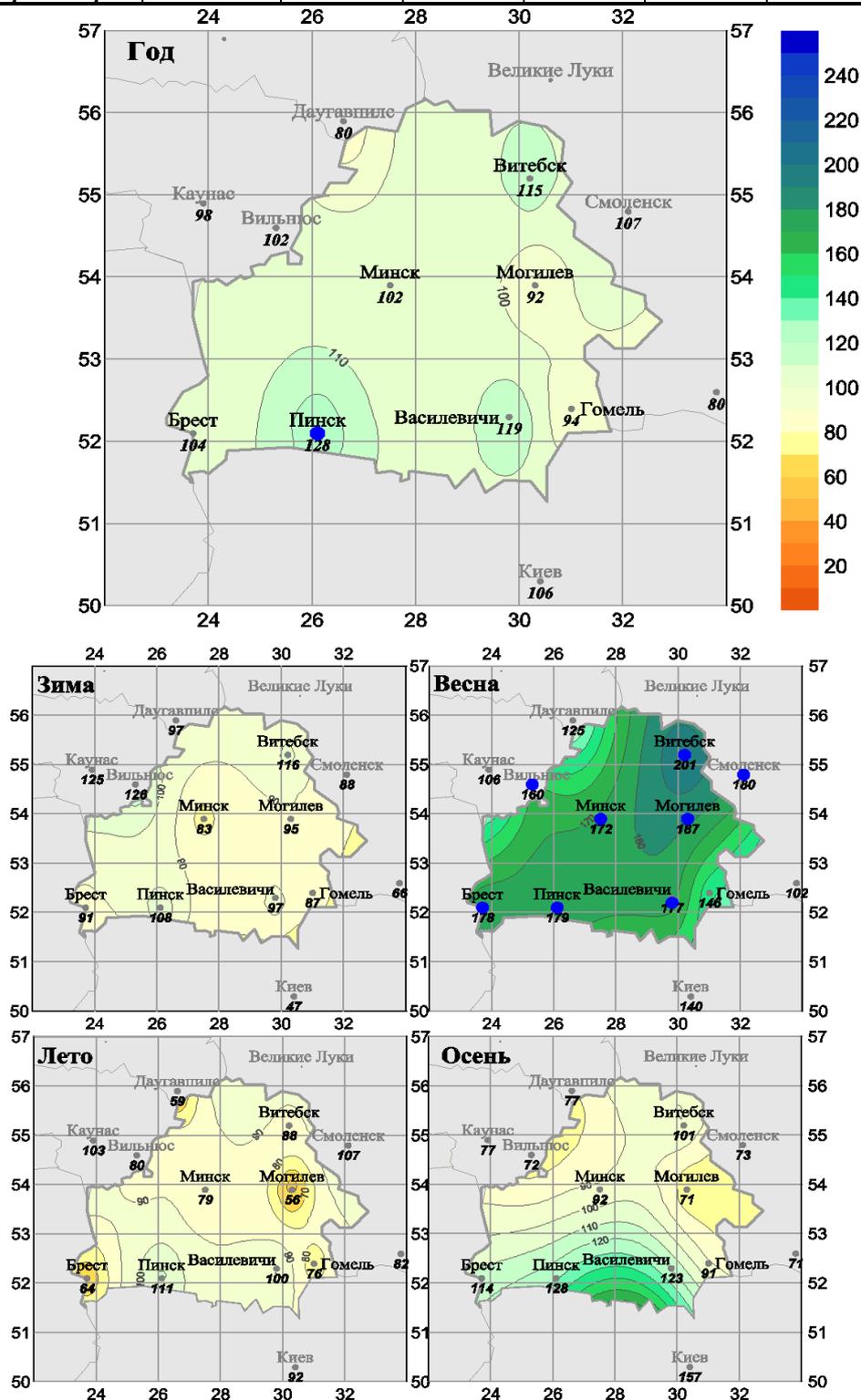
Данные табл. 1.4 дополнительно иллюстрируются рис. 1.5, на котором представлены поля аномалий годовых и сезонных сумм осадков, выраженных в процентах от «нормы» 1961-1990 гг.

В целом, количество осадков, выпавших на территории Беларуси в 2008 г., было около нормы (т.е. в диапазоне 80-120% нормы). Лишь на станции Пинск годовая сумма осадков, достигнув величины 128% (за счет весны и осени), попала в градацию «выше нормы». Межсезонные различия режима осадков на территории Беларуси в 2008 г. оказались существенными. Зимой заметных аномалий не наблюдалось, тогда как весной на всех станциях, кроме Гомеля, количество осадков превысило 95%-ый процентиль (71-84 мм/месяц). Летом, напротив, во всей центральной полосе зафиксирован дефицит осадков (до 54% нормы на станции Могилев). Осенью на юге Республики (Пинск, Василевичи) выпало более 120% нормы, на остальной территории – около нормы.

**Таблица 1.4 Количество осадков (мм/месяц), выпавших на станциях Беларуси в 2008 году и их аномалии (отклонения от средних 1961-1990 гг.)**

	<i>Витебск</i> 26666	<i>Минск</i> 26850	<i>Могилев</i> 26863	<i>Брест</i> 33008	<i>Пинск</i> 33019	<i>Василевичи</i> 33038	<i>Гомель</i> 33041
<b>А) Месячная сумма осадков (ежемесячно, в среднем за сезон и за год)</b>							
<i>Зима 2007-08</i>	<b>40.3</b>	<b>32.7</b>	<b>32.3</b>	<b>33.7</b>	<b>35.7</b>	<b>36.7</b>	<b>29.3</b>
дек.07	22	19	31	12	17	23	17
январ.08	43	43	30	74	64	56	43
февр.08	56	36	36	15	26	31	28
<i>Весна 2008</i>	<b>84.3</b>	<b>83.3</b>	<b>79.0</b>	<b>76.0</b>	<b>71.0</b>	<b>76.7</b>	<b>55.7</b>
мар.08	104	75	76	67	49	63	54
апр.08	63	71	73	46	84	94	60
май.08	86	104	88	115	80	73	53
<i>Лето 2008</i>	<b>71.7</b>	<b>64.3</b>	<b>42.7</b>	<b>48.7</b>	<b>80.7</b>	<b>80.7</b>	<b>57.3</b>
Июн.08	36	40	39	39	39	57	24
Июл.08	84	90	43	54	115	127	75
авг.08	95	63	46	53	88	58	73
<i>Осень 2008</i>	<b>56.7</b>	<b>48.7</b>	<b>35.0</b>	<b>53.3</b>	<b>60.7</b>	<b>56.7</b>	<b>40.7</b>
сен.08	46	51	50	64	81	82	46
окт.08	66	65	25	69	52	58	42
ноя.08	58	30	30	27	49	30	34
<i>Год 2008: декабрь-ноябрь</i>	<b>63.3</b>	<b>57.3</b>	<b>47.3</b>	<b>52.9</b>	<b>62.0</b>	<b>62.7</b>	<b>45.8</b>
<b>б) Аномалия месячных сумм осадков (ежемесячно, в среднем за сезон и за год)</b>							
<i>Зима 2007-08</i>	<b>+2.40</b>	<b>-9.57</b>	<b>-3.67</b>	<b>-4.27</b>	<b>+1.57</b>	<b>-2.53</b>	<b>-6.43</b>
дек.07	-29.4	-33.6	-14.0	-32.3	-23.7	-23.8	-27.4
январ.08	+5.3	+3.0	-5.4	+37.0	+30.1	+17.3	+7.2
февр.08	+26.5	+1.9	+8.4	-17.5	-1.7	-1.1	+0.9
<i>Весна 2008</i>	<b>+42.0</b>	<b>+34.8</b>	<b>+35.6</b>	<b>+33.2</b>	<b>+30.6</b>	<b>+32.6</b>	<b>+16.5</b>
мар.08	+65.0	+33.2	+41.4	+36.4	+19.4	+29.3	+21.6
апр.08	+24.2	+28.8	+32.7	+6.7	+46.7	+48.8	+22.8
май.08	+36.8	+42.4	+32.8	+56.5	+25.7	+19.7	+5.0
<i>Лето 2007</i>	<b>+1.17</b>	<b>+0.94</b>	<b>+0.69</b>	<b>+1.57</b>	<b>+1.42</b>	<b>+0.92</b>	<b>+1.67</b>
июн.08	+0.00	+0.24	-0.70	+1.58	+1.17	-0.34	+0.36
июл.08	+1.05	+0.79	+0.88	+1.08	+1.19	+1.14	+1.97
авг.08	+2.42	+1.80	+1.90	+2.04	+1.91	+1.95	+2.68
<i>Осень 2008</i>	<b>+2.1</b>	<b>-13.4</b>	<b>-42.1</b>	<b>+27.1</b>	<b>+40.2</b>	<b>+31.4</b>	<b>-12.7</b>

сен.08	-18.8	-9.2	-4.2	+12.8	+28.2	+32.3	-1.9
окт.08	+17.9	+18.1	-19.7	+34.2	+5.4	17.6	-0.9
ноя.08	+3.1	-22.4	-18.1	-19.8	+6.6	-18.5	-9.9
<b>Год 2008: декабрь-ноябрь</b>	<b>11.9</b>	<b>3.2</b>	<b>-2.4</b>	<b>14.4</b>	<b>18.4</b>	<b>15.6</b>	<b>-0.2</b>

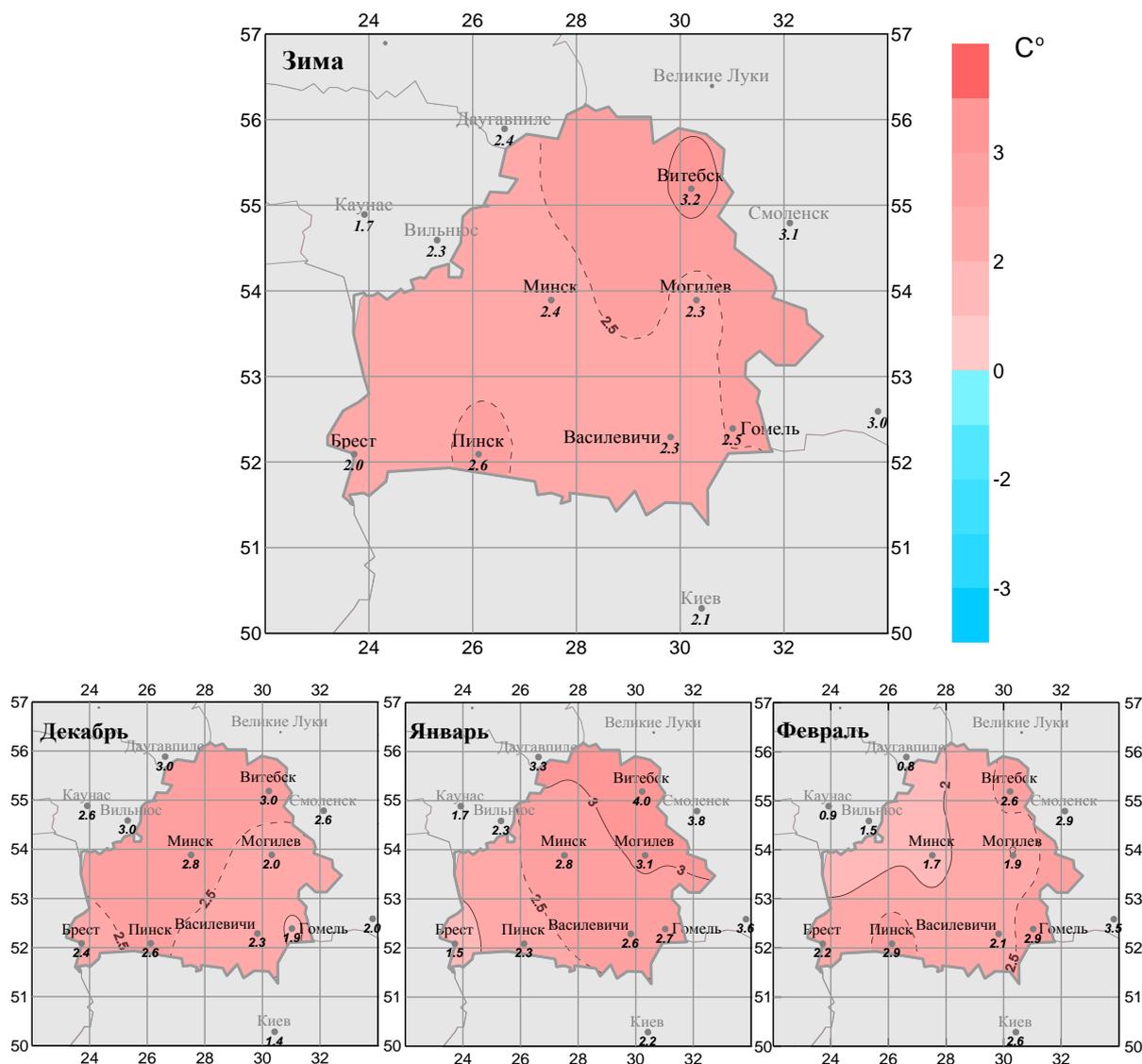


**Рисунок 1.5** Аномалии годовых (2007<sub>ХП</sub>–2008<sub>ХИ</sub>) и сезонных сумм осадков на территории республики Беларусь в 2008 году (в % от нормы). Синими кружками отмечены станции с экстремально высокими осадками (среди 5% самых влажных за период наблюдений с 1936 г.). Числовые значения указывают количество выпавших на станции осадков в % от нормы.

### 1.3. Климатические аномалии 2009 года (материалы сезонных бюллетеней мониторинга климата Беларуси)

Наиболее четко наблюдавшиеся на территории Беларуси климатические аномалии прослеживаются по пространственным распределениям температуры и осадков, приведенным ниже для каждого сезона и входящих в него месяцев.

#### 1.3.1. Зима 2008-2009 гг.

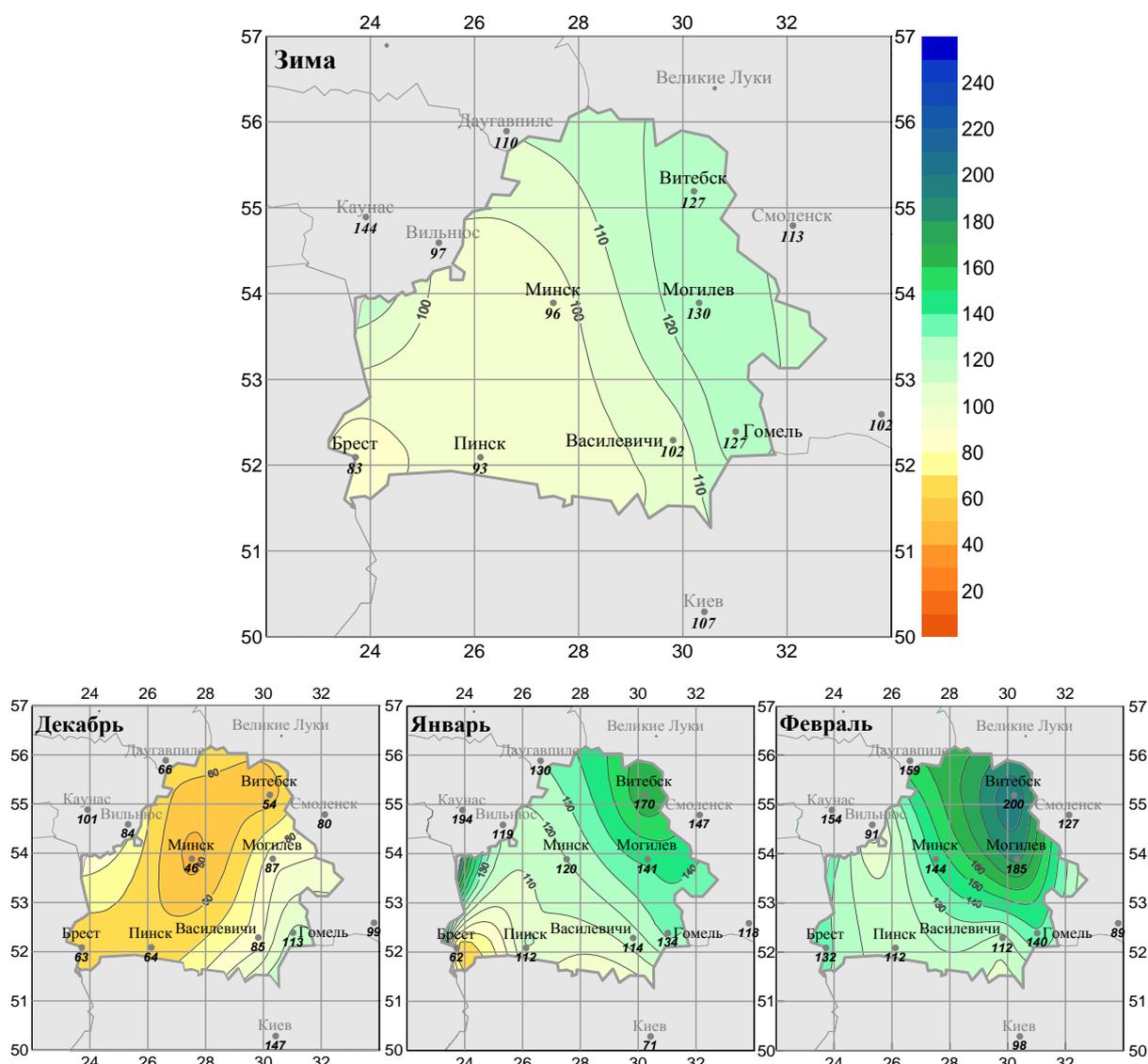


**Рисунок 1.6 Средняя сезонная и средние месячные аномалии температуры приземного воздуха на территории Республики Беларусь (отн. 1961-1990 гг.): зима, декабрь 2007 – февраль 2008.**

Зима в целом была теплой во все месяцы сезона. Средние сезонные аномалии температуры воздуха составили на станциях от +2°C до +3°C. Несколько «теплее» других месяцев был январь (аномалия +4.0°C в Витебске и +3.1°C в Могилеве).

Сезонные суммы осадков в целом по территории близки к норме, с уменьшением их к юго-западу (Брест, 89% сезонной нормы) и более существенным увеличением к

востоку (130% в Могилеве, 127% - в Витебске и Гомеле). Межмесячные колебания весьма существенны. Дефицит осадков на всех станциях, кроме Гомеля, в декабре (Минск - 46% нормы, Витебск - 54%, Брест, Пинск – 64%) в январе сохранился только в Бресте (62%), притом что на остальной территории осадки достигли нормы и превысили ее (Минск – 120%, Могилев – 140%, Витебск – 170% нормы). В феврале область избыточных осадков распространилась всю территорию Беларуси с максимумом 200% в Витебске.

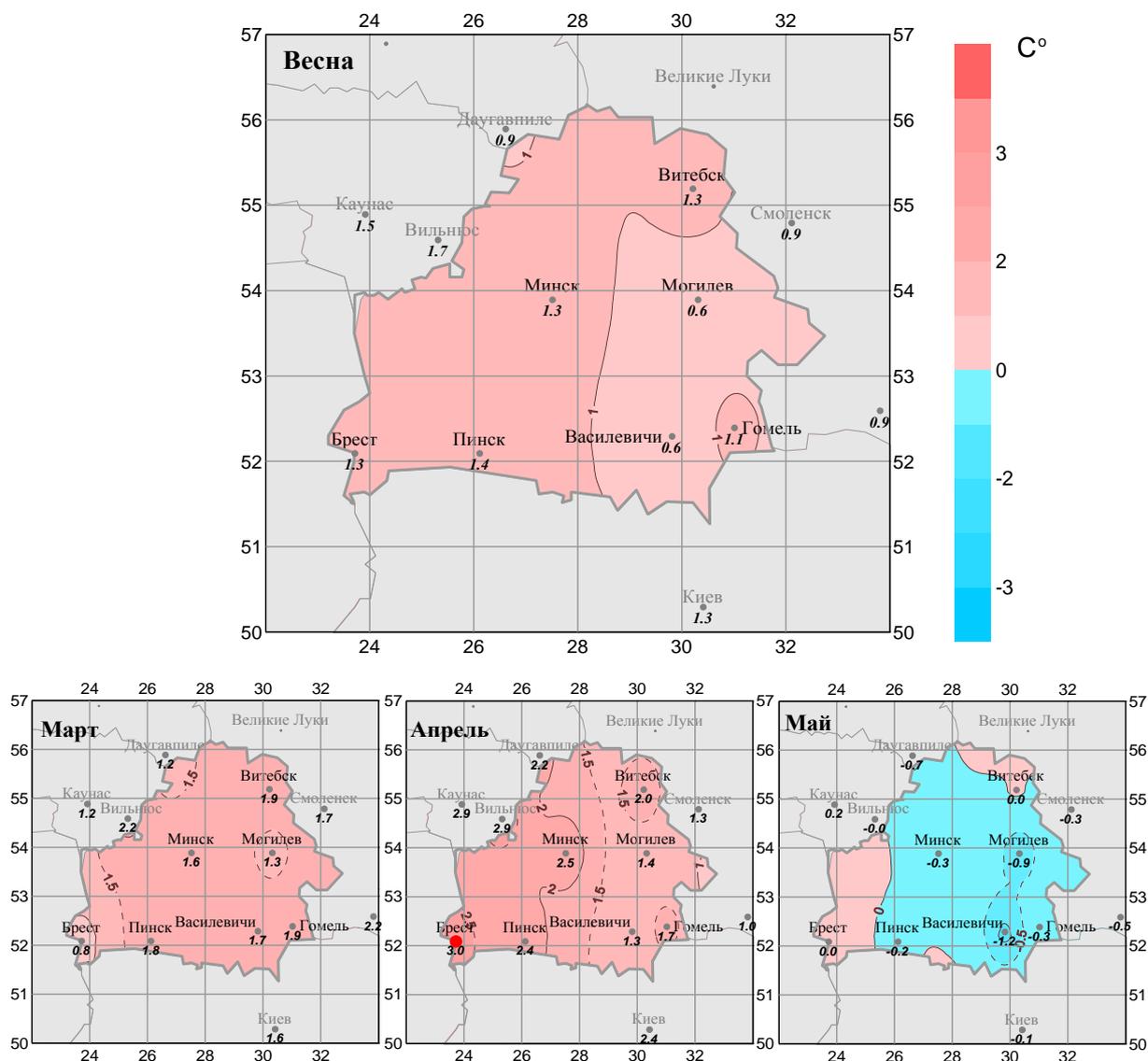


**Рисунок 1.7** Аномалии месячных и сезонных сумм осадков зимой 2008/2009 гг. на территории республики Беларусь (в % от норм за 1961-1990 гг.). Числовые значения - количеству осадков на станции в процентах от нормы.

### 1.3.2. Весна 2009 г.

Весна была теплой на всей территории Беларуси; средняя сезонная по территории аномалия составила  $+1.09^{\circ}\text{C}$ . В восточной части региона (станции Могилев, Василевичи) сезонная аномалия несколько ниже ( $+0.6^{\circ}\text{C}$ ), на остальной территории – около  $+1.3^{\circ}\text{C}$ . Температурные условия в марте-апреле напоминают средние за сезон (тепло на всей территории). В мае практически на всей территории температура на уровне нормы и чуть

ниже нормы; несколько более заметные отрицательные аномалии осуществились в мае на станциях Могилев (-0.9°C) и Василевичи (-1.2°C). Из крупных аномалий в этом сезоне можно отметить лишь апрельскую температуру в Бресте +1.1°C, что на +3.0 °C выше нормы и превышает 95% процентиль апрельских температур с 1936 г. для этой станции.



**Рисунок 1.8 Средняя сезонная и средние месячные аномалии температуры приземного воздуха на территории Республики Беларусь (отн. 1961-1990 гг.): весна 2009 (март-май).**

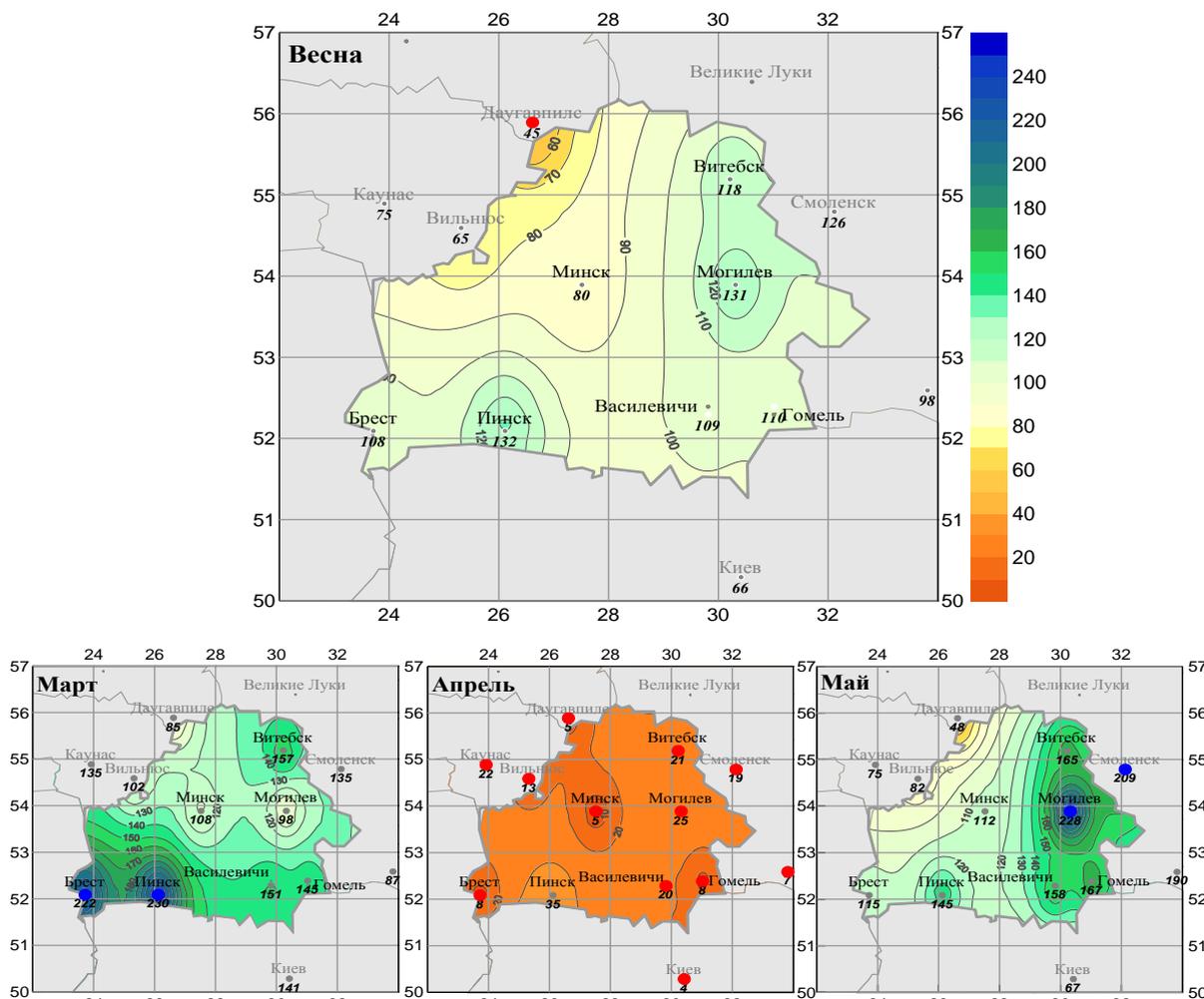
*Числовые значения соответствуют величине аномалии на станциях (°C). Красным кружком показаны станции с экстремально высокими температурами (среди 5% самых теплых за период наблюдений с 1936 г.)*

Сезонные суммы осадков на большей части территории Беларуси попадают в градацию «около нормы» (80-120% нормы). Исключение составляют станции Могилев, Пинск (~ 130% сезонной нормы) и пограничные территории с Латвией и Литвой, где осадков выпало ниже 80 % нормы. От месяца к месяцу режим осадков существенно менялся. Влажный на всей территории март (с максимальными осадками на станциях Пинск и Брест – выше удвоенной нормы) сменился сухим апрелем, где дефицит осадков

зафиксирован также на всей территории (35% нормы - в Пинске, на остальной территории – ниже 25%, притом в Минске – всего 5% нормы). Распределение осадков в мае по конфигурации напоминает распределение сезонных осадков, но существенно большей интенсивности: на приграничном северо-западе – несколько ниже 80% нормы, на всех восточных станциях и в Пинске – значительно выше 120% нормы (более двух норм – в Могилеве).

Из экстремальных аномалий следует назвать:

- в марте рекордно высокие осадки в Бресте (68 мм, предыдущий максимум 67 мм в 1988 году);
- в апреле рекордно низкие осадки в Минске, Бресте и Гомеле на уровне 2-3 мм при предыдущих минимумах 9 мм (1940), 7 мм (1953) и 5 мм (1948) соответственно.
- в мае осадки на станции Могилев превысили 95%-ый процентиль.

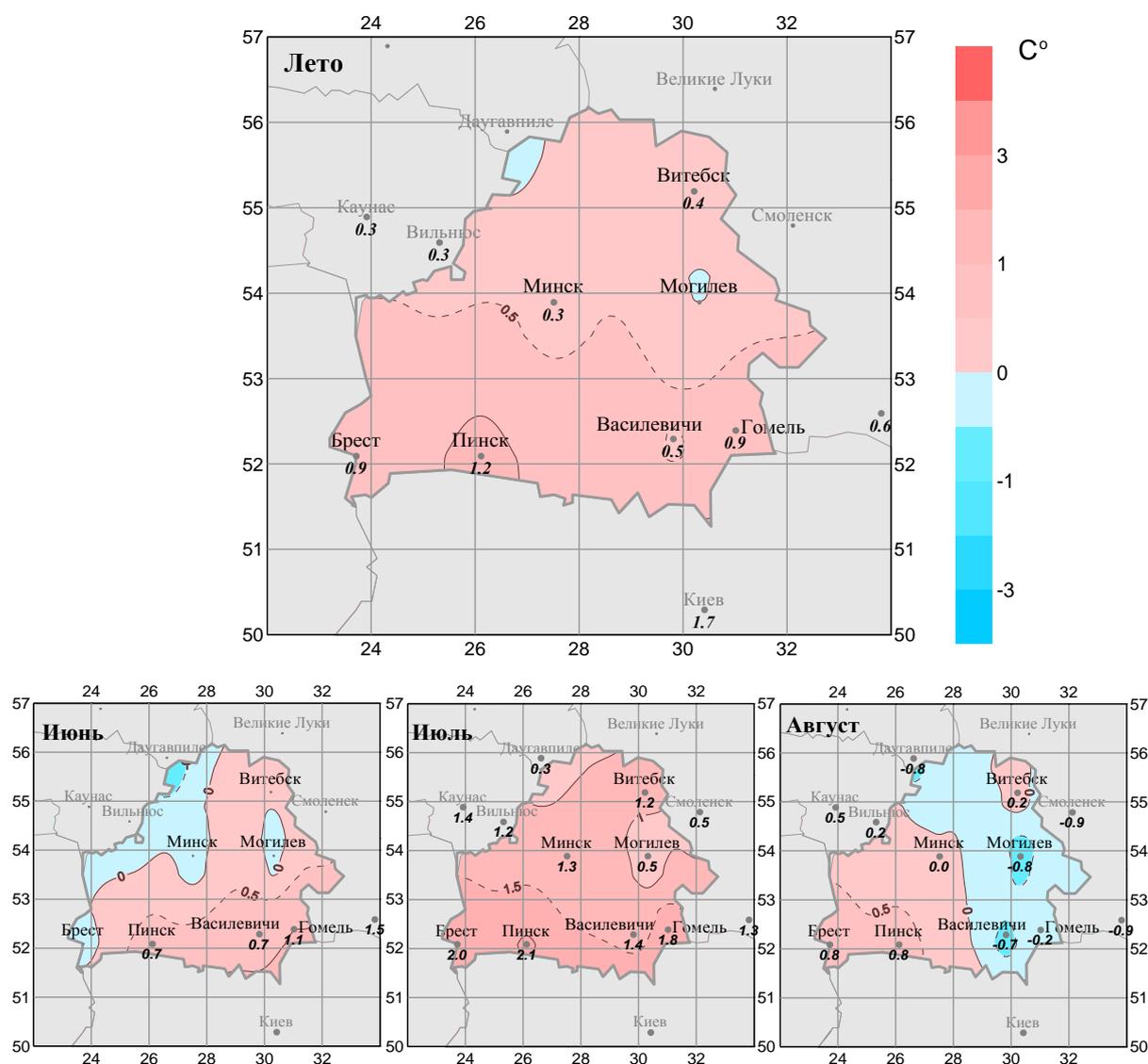


**Рисунок 1.9** Аномалии сезонных и месячных сумм осадков (в % от нормы) на территории Беларуси: весна 2009 (март - май).

Числовые значения соответствуют станционным аномалиям (в % от нормы). Синими (красными) кружками показаны станции с экстремально высоким (низким) количеством осадков (среди 5% самых влажных/сухих сезонов за период с 1936г.).

### 1.3.3. Лето 2009 г.

Летом 2009г. аномалия температуры воздуха, осредненная по территории Республики Беларусь, составила  $+0.39^{\circ}\text{C}$  (самая низкая после 2000 г.). Тем не менее, средний для всего региона тренд потепления за 1976-2009 гг. остается значительным:  $+0.7^{\circ}\text{C}/10$  лет при объясненной дисперсии 37% (гипотеза о случайности тренда отвергается на уровне значимости  $\alpha < 0.01\%$ ). Пространственное распределение летних температур однородно. Практически на всех станциях сезонные аномалии положительны, но не превышают  $0.5^{\circ}\text{C}$  (кроме станции Могилев с аномалией  $-0.2^{\circ}\text{C}$ ). В июне и в августе на отдельных станциях средняя месячная температура незначительно ниже нормы. Экстремальных аномалий в течение всего сезона на территории Беларуси не отмечалось.

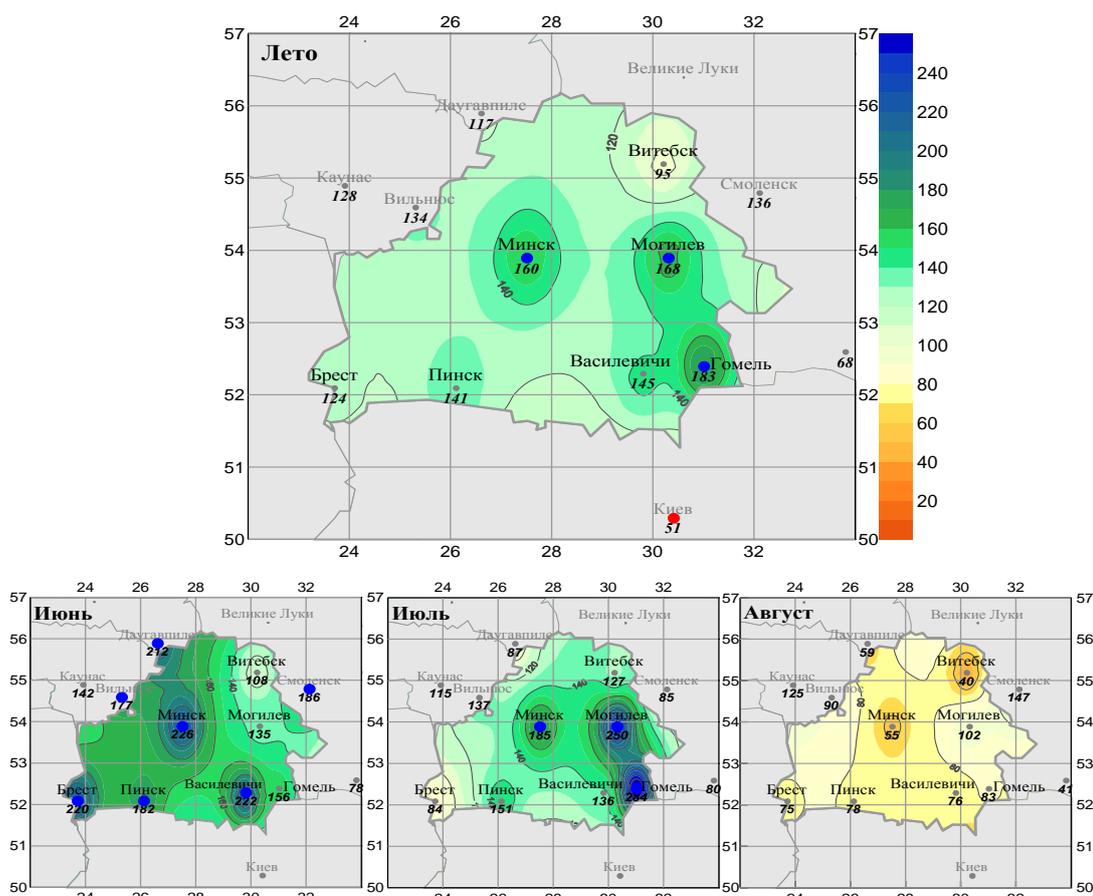


**Рисунок 1.10** Средняя сезонная и средние месячные аномалии температуры приземного воздуха на территории Республики Беларусь (отн. 1961-1990 гг.): лето 2009 (июнь-август)

Числовые значения соответствуют величине аномалии на станциях ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Аномалия сезонных сумм осадков, осредненная по территории Беларуси, составила +40.1 мм/месяц (второй максимум с 1936 года после рекордного 2006 г., когда летом выпало 41.0 мм/месяц). Тренд в ряду осадков за 1976-2009 гг. практически не прослеживается (гипотеза о случайности отвергается лишь на уровне значимости  $\alpha > 21\%$ ).

Режим летних осадков на большей части территории Беларуси можно охарактеризовать как избыточное увлажнение. Осадки выше 120% зафиксированы на всех станциях, кроме Витебска (95% нормы). Превышение нормы на станции Брест составило 24%, на остальных станциях – более 40% (до 83% в Гомеле). В июне и июле на многих станциях осадков выпало более двух месячных норм (более 120% нормы практически на всей территории). В августе, напротив, на всей территории количество осадков много ниже нормы (кроме станции Могилев, где выпало 101.6% нормы). В Витебске и Минске осадков в августе выпало всего 39.7% и 55.5% нормы, соответственно. Новый максимум июньских осадков 187 мм зафиксирован на станции Минск (прежний максимум 173 мм наблюдался в 1998 г.). 90%-ый перцентиль распределения превышен на станциях Брест, Пинск, Василевичи (в июне) и Минск, Могилев, Гомель (в июле)



**Рисунок 1.11 Аномалии сезонных и месячных сумм осадков (в % от нормы) на территории Беларуси: весна 2009 (март - май).**

*Числовые значения соответствуют станционным аномалиям (в % от нормы).*

*Синими кружками показаны станции с экстремально высоким количеством осадков (среди 5% самых влажных сезонов за период с 1936г.).*

## **Заключение**

Бюллетени мониторинга климата по территории России за первые три сезона отчетного года (декабрь 2008 – ноябрь 2009) представлены на Интернет-сайте ИГКЭ «Изменение климата России» <http://www.climatechange.su>, на странице «Мониторинг климата». Бюллетень осеннего сезона в настоящее время находится в стадии завершения. В соответствии с плановыми сроками выпуска бюллетеней он будет размещен на сайте ИГКЭ в январе 2010 года, вместе с итоговым годовым выпуском.

Анализ климатических условий на территории Беларуси в настоящее время публикуется как раздел бюллетеня мониторинга климата России. По согласованию с Беларуской стороной, анализ региональных климатических условий Беларуси можно расширить и выделить в самостоятельный бюллетень.

Предполагается при этом расширить состав используемых станций за счет подключения дополнительных станций с территории Беларуси (как минимум, станции Гродненской области).

Дополнительно отметим, что материалы мониторинга климата на территории России и Беларуси публикуются также в бюллетенях Северо-Евразийского Климатического Центра (СЕАКЦ) «Обзор состояния и тенденций изменения климата» на сайте СЕАКЦ (<http://seakc.meteoinfo.ru>).

## **2. Проект 3.2. Исследование и сценарные оценки ожидаемых изменений регионального климата на территориях Беларуси и России**

### **Введение**

Последние 20 лет характеризовались бурным развитием моделей регионального климата (МРК), предназначенных для получения детализированных оценок климата различных регионов Земли. Принципиально не отличаясь от глобальных моделей (оба класса моделей основаны на численном решении полных уравнений гидротермодинамики), МРК используют более высокое разрешение (10-50 км по сравнению с 100-300 км в глобальных моделях) и создаются для ограниченных территорий (регионов) с размерами 1000-5000 км. Высокое разрешение позволяет МРК описывать взаимодействие крупномасштабной циркуляции атмосферы с мезомасштабным рельефом, небольшими водоемами и реками, разнообразной растительностью и др. факторами, формирующими региональный климат.

Для получения независимой оценки качества МРК обычно проводится ретроспективный расчет регионального климата с боковыми граничными условиями из

реанализа, а не из глобальной климатической модели. Поскольку все реанализы включают данные наблюдений, то считается, что для целей валидации МРК в принципе достаточно использовать лишь один из них для оценки всех аспектов качества расчета климата с помощью МРК.

Однако реанализы могут заметно различаться в части описания региональной циркуляции атмосферы, в первую очередь в областях с малым числом пунктов наблюдений. Значительные расхождения между реанализами обнаружены в описании временной изменчивости удельного влагосодержания в нижней тропосфере, особенно на 12-часовых и суточных временных интервалах, а отклонения средних месячных значений влагосодержания в реанализах на уровне 850 гПа могут находиться в диапазоне  $\pm 30\%$  от данных наблюдений. Так, например, при сравнении с данными зондирования атмосферы реанализ NCEP-DOE дает несколько заниженное, а реанализ ECMWF - завышенное влагосодержание в нижней и средней тропосфере [1].

Принимая во внимание неопределенности реанализов в оценке фактической эволюции характеристик климата, представляется важным оценить те неопределенности, которые возникают в связи с этим в оценках самой МРК для территории России и Беларуси. Различия в откликах внутренней изменчивости в МРК на задание боковых граничных условий из разных реанализов должны проявляться, в первую очередь, в расчетах компонентов регионального водного баланса. Для уточнения оценки модельных расчетов необходимо применять ансамблевый подход, когда членами ансамбля являются расчеты по МРК с данными различных реанализов на боковых границах.

Здесь приводятся результаты анализа расчетов климата по региональной модели ГГО [2] для территории России и Беларуси с привлечением данных трех реанализов: NCEP-DOE (США), ECMWF (ЕС) и JRA-25 (Япония).

## **2.1. Постановка экспериментов**

Перед проведением экспериментов разрешение МРК было увеличено в два раза (с 50 до 25 км) и проведена настройка модели на регион, включающий Беларусь, западные районы ЕТР и Европу. Размер горизонтальной сетки модели увеличен с  $105 \times 121$  до  $157 \times 165$ .

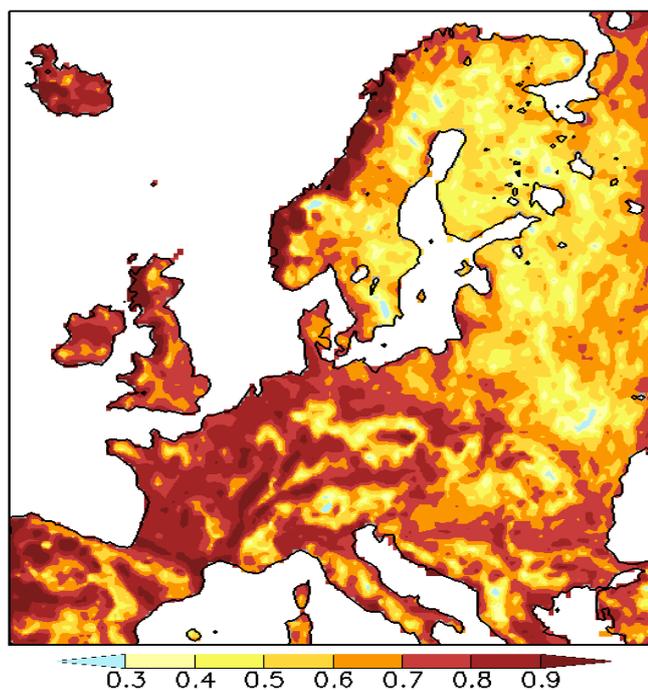
Данные реанализов по температуре, удельной влажности, атмосферному давлению у подстилающей поверхности и компонентам вектора скорости ветра были получены за каждые 6 часов для периода 1981-2000 с одинаковым спектральным разрешением T62 (~200 км). Была проведена пространственная интерполяция этих данных в сетку МРК с использованием единой интерполяционной процедуры. Таким образом, были

подготовлены три набора метеорологических полей для задания боковых граничных условий в МРК. В качестве температуры поверхности океанов и концентрации морского льда были использованы данные анализа наблюдений за этими характеристиками для принятого периода расчетов.

Затем, с помощью одной версии МРК были проведены три эксперимента, каждый по расчету климата за 20-тилетний период, последовательно включавшие граничные условия из трех реанализов. Результаты расчетов для температуры приземного воздуха и осадков сравнивались друг с другом и данными анализа наблюдений. В качестве последних был использован архив среднемесячных данных по температуре и осадкам CRU для территории Европы, включая Беларусь, с высоким пространственным разрешением (~20 км). Для удобства сравнения эти данные были предварительно переведены в сетку МРК.

## **2.2. Анализ расчетов**

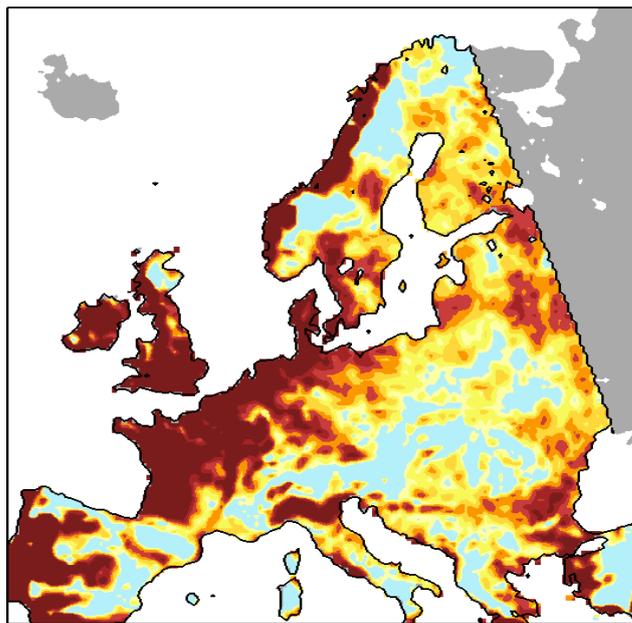
На рисунке 2.1 показано пространственное распределение коэффициентов временной корреляции между аномалиями среднемесячных осадков за период 1981-2000, рассчитанных в экспериментах по МРК с данными реанализов NCEP-DOE и ECMWF. Как видно из рисунка, расхождения в реанализах приводят к заметным различиям в расчете аномалий региональных осадков на северо-западе России и в Беларуси. Аналогичные различия обнаружены и при сравнении каждого из указанных расчетов с данными по эксперименту с JRA. Эти различия связаны с тем, что эволюция региональных осадков существенно зависит от вариаций глобальной конвергенции влаги в регионе, особенно в условиях, когда атмосфера близка к состоянию насыщения. Поэтому различия между реанализами в динамике влаги на границах области расчетов МРК могут по-разному определять степень согласованности между модельными данными об осадках. Так, если на территории Западной Европы модельные расчеты хорошо согласуются (там коэффициенты корреляции составляют 0.7 и более), то на территориях России и Беларуси согласованность аномалий среднемесячных осадков оказывается в два раза более низкой (0.3-0.4). Оценим, как согласуются модельные расчеты с данными о фактических аномалиях осадков в регионе.



**Рис. 2.1** Распределение коэффициентов временной корреляции между аномалиями среднемесячных осадков за период 1981-2000, полученных в экспериментах по МРК с данными NCEP-DOE и ECMWF на боковых границах.

По результатам трех экспериментов с МРК, включающих три различных реанализа, было проведено ансамблевое осреднение аномалий осадков. На рисунке 2.2 приведены коэффициенты временной корреляции, рассчитанные между аномалиями осадков в индивидуальном эксперименте с реанализом NCEP-DOE и данными наблюдений CRU. На этом рисунке также показаны оценки, но полученные для случая с ансамблем. Как видно, ансамблевый подход позволяет получить лучшую согласованность между расчетными и фактическими данными об осадках и более полно оценить качество самой МРК в части расчета осадков. В первую очередь улучшение (рост коэффициентов корреляции на 0.1-0.2 и более) заметно в регионах, охватывающих северо-запад России и Беларусь, где различия в оценках между отдельными расчетами, приведенные на рис.2.1, наиболее велики. Рост корреляции обнаруживается и в случае аномалий температуры приземного воздуха, хотя рост коэффициентов корреляции в случае температуры оказывается в два раза меньшим (0.05-0.1). Следует заметить, что успешность расчета аномалий среднемесячной температуры с помощью МРК слабо зависит от того, какой реанализ использован для задания граничных условий. Эффективность ансамблевого подхода оказывается более высокой в случае осадков, что представляется естественным, поскольку расхождения между реанализами в оценке влагосодержания больше, чем в температуре.

a)



б)

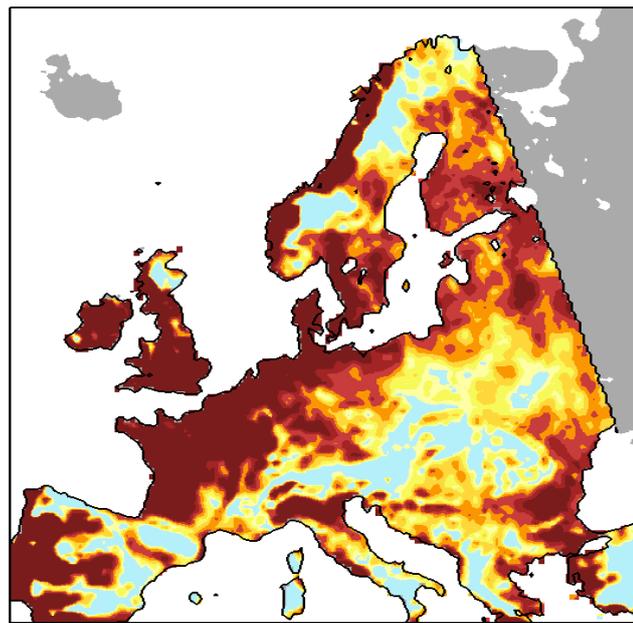


Рис. 2.2 Распределение коэффициентов временной корреляции между аномалиями среднемесячных осадков за период 1981-2000, полученных в экспериментах по МРК с данными NCEP-DOE на боковых границах (а) и данными CRU, а также полученные при сравнении данных CRU с осредненными по трем членам ансамбля значениями аномалий осадков (б).

#### Заключение

Рассмотрены оценки успешности расчета изменчивости климата на территориях России и Беларуси региональной моделью ГГО с использованием трех широко распространенных реанализов: NCEP-DOE, ECMWF, и JRA. Показано, что при сравнении модельных оценок с данными наблюдений на территории Союза двух стран ансамблевый подход, включающий расчеты по трем реанализам, имеет преимущество перед отдельными расчетами регионального климата.

#### Список использованных источников

1. Bromwich D.H., S.-H. Wang, 2005: Evaluation of the NCEP-NCAR and ECMWF 15- and 40-yr reanalyses using rawinsonde data from two independent arctic field experiments. *Mon. Wea. Rev.*, Vol.133, pp. 3562-3578.
2. Школьник И.М., В.П.Мелешко, Т.В.Павлова, 2000: Региональная гидродинамическая модель для исследования климата на территории России. *Метеорология и гидрология*, 3, стр. 5-17.

### **3. Проект 3.3. Оценка последствий изменения климата и его влияния на базовые сферы социально-экономической деятельности и подготовка рекомендаций по адаптации основных отраслей экономики Беларуси и России к возможным изменениям климата**

#### **Введение**

В отчете МЭГИК отмечено: «независимо от масштаба смягчающих мер, необходимы адаптационные мероприятия». Это означает, что необходим комплексный подход к учету изменения климата, который включал бы как смягчение, предусматривающее меры по предотвращению изменений климата, так и адаптацию, предполагающую мероприятия по приспособливанию к таким изменениям.

Адаптационность определяется как степень приспособления системы к произошедшему или ожидаемому изменению условий (в данном случае климатических). Она зависит от уязвимости системы и от способности ее к адаптации.

Разработка адаптационных стратегий осложняется тем, что прогнозы изменения климата на региональном уровне обладают рядом неопределенностей. Поэтому применение адаптационных механизмов и выбор хозяйственной стратегии должен сочетаться с экономическими расчетами выгод и потерь при этом.

Происходящие изменения климата, несмотря на ряд позитивных воздействий, в целом негативно отражается на отраслях экономики. Так, например, с одной стороны, на отопление тратится меньше энергии, т.к. в среднем сокращается продолжительность отопительного периода и возрастает его средняя температура. Но при этом одновременно увеличиваются затраты на излишнее отопление в течение отопительного периода, затраты на кондиционирование и, кроме того, нарушается равновесие криогенной сферы, возрастает агрессивность климата по отношению к зданиям и сооружениям.

Ряд адаптационных мер первоначально принимают органы национальных гидрометслужб. В случае кратковременных воздействий это раннее предупреждение об опасности (до отправления штормового предупреждения). Методика раннего предупреждения разрабатывается для всех опасных явлений (ОЯ) составленного предварительного реестра ОЯ.

Адаптационные механизмы для случая долговременных воздействий состоят в разработке адекватной воздействию меняющегося климата системы специализированных климатических характеристик, введению их во все нормативные документы и рекомендации (СНиП, ПЭУ, НП-064-05 «Учет внешних воздействий природного и технического происхождения на объекты использования атомной энергии», П и НАЭ – 5,6

«Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа» и др.) и организации мониторинга климатических условий (в частности, слежения за динамикой криогенной зоны) по изменениям специализированных характеристик.

Технические адаптационные мероприятия разрабатываются на основе предварительного расчета рисков уязвимости реципиентов и экономической оценки функции потерь или полезности принимаемых решений при проведении адаптации.

### **3.1. Принципы стратегии адаптационных мероприятий, проводимых в связи с изменением климата.**

Происходящие потенциальные воздействия меняющегося климата на экономику и социальную сферу РФ республики Беларусь, уязвимость этих сфер стимулирует разработку возможных стратегий адаптации и реагирования на изменения климата для достижения устойчивого развития этих стран. Нынешние изменения климата отличаются тем, что темпы и продолжительность потепления за последний век превышают этот показатель за любой другой период времени за последние несколько тысяч лет. С потеплением связан ряд изменений в экосистемах. Эти перемены могут оказать глубокое воздействие на прогресс в направлении устойчивого развития. Неотложность адаптационных задач очевидна. Адаптация представляет собой степень приспособляемости системы к произошедшему или ожидаемому изменению условий. МГЭИК дала определение следующим двум тесно связанным терминам: адаптация – приспособление в природной или человеческих системах, которое происходит в ответ на фактические или ожидаемые климатические стимулы или их последствия и позволяет смягчить вред или использовать благоприятные возможности. Адаптационная способность – способность системы приспособиться к изменению климата (включая изменчивость климата и экстремальные явления) с целью смягчения возможного вреда, использования благоприятных возможностей или преодоления последствий.

Это комплекс экономических, технических, социальных, административных и даже политических мер, которые позволяют построить устойчивые общественные инфраструктуры и гибкие социальные системы. Уязвимость предопределяет масштабы вреда или ущерба, который может быть причинен в результате изменения климата. Она зависит не только от чувствительности к изменению климата, т.е. ответной реакции системы на изменение климата, но и от ее способности к адаптации.

В настоящее время существует 6 основных стратегий адаптации к изменению климата:

- принятие заблаговременных мер для предотвращения ущерба;
- сокращение ущерба до приемлемого уровня;
- распределение или разделение ущерба (оказание помощи пострадавшим от бедствий);
- изменение структуры потребления или рода своей деятельности;
- смена места осуществления деятельности;
- восстановление того или иного объекта, пострадавшего от стихийных явлений.

Для разработки адаптационных мер, естественно, необходимо оценить уязвимость различных эко- и технических систем за счет изменчивости и изменений климата и затем тщательно следить за процессом глобального потепления, повышением уровня моря, загрязнением воздуха и воды, экстремальными погодными явлениями и другими подобными явлениями, т.е. проводить мониторинг изменений климата и последствий этого. Очень важны при этом ранние предупреждения об опасных климатических явлениях. Таким образом, необходимо выявление факторов, определяющих необходимость адаптационных мер. На рис. 3.1 представлена схема факторов, создающих необходимость адаптации.



Рис. 3.1 Схема факторов, создающих необходимость адаптации

Таким образом, вынужденная адаптация определяется величиной риска. Для оценки риска необходимо определить поражающий объект (реципиент) фактор и его

уязвимость. Примеры поражающих факторов для реципиентов в различных областях экономики представлены в таблице 3.1.

**Таблица 3.1 Поражающие факторы**

<i>Сектор экономики</i>	<i>Наименование поражающего метеорологического фактора</i>	<i>Реципиент</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Атомная энергетика	Смерч; скорость ветра, возможная 1 раз в 10 тыс. лет	Здания и сооружения ЯРОО (ядерно-радиационно опасных объектов) на площадках 1 степени.
	Скорость ветра $\geq 35$ м/с	Площадка АЭС класса А
	Снеговая нагрузка на кровли зданий и сооружений, возможная 1 раз в 10 тыс. лет	Здания ЯРОО на площадках класса А
	Кол-во осадков $\geq 20$ мм/ч	Площадка класса Б и В
	Кол-во осадков $\geq 50$ мм за 12ч	Площадка класса А
	Толщина стенки гололеда $\geq 25$ мм	Здания и сооружения ЯРОО на площадках класса А, сети
	Температурная нагрузка на здания, сооружения, сети и др., возможная 1 раз в 10 тыс. лет; температура ниже $-20^{\circ}\text{C}$	Здания и сооружения, сети, ЯРОО. Технические изделия (подъемные краны, ворота ангаров с ядерным топливом и др.)
Температурно-влажностный комплекс за неблагоприятный период года, обеспеченностью 10%	Пруды - охладители	
Жилищный сектор	Заморозки, оттепели (высокой повторяемости); суточные амплитуды температуры (выше установленной для элементов здания)	Здания (долговечность) Отопление (качество)
	Число градусосуток, превышающее соответствующее ч.г.с. для теплосопротивления функционирующего здания или температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью $>0,92$	Здания (теплозащита)

Общая классификация поражающих факторов приведена на рис. 3.2.



Рис.3.2 Общая классификация поражающих факторов

В настоящее время наиболее хорошо изучены последствия изменения климата для сельского хозяйства, здоровья людей и водных ресурсов как наиболее уязвимых областей. Гораздо меньше внимания до последнего времени уделялось оценке уязвимости и разработке мер адаптации для технических систем: энергетике, городскому хозяйству и строительному проектированию.

### 3.2. Рекомендации по адаптации энергетики Беларуси и России к возможным изменениям климата и его долгосрочным сценарным оценкам.

#### 3.2.1. Влияние изменения климата на специализированные климатические характеристики для энергетики.

На всех участках многоступенчатого производственного процесса в ТЭК (добыча, транспортировка и переработка топлива, производство энергии, ее передача и потребление) есть свои особенности «погодно-климатической» зависимости. Так, при проектировании сооружений принимаются во внимание такие климатические параметры как экстремальные значения температуры воздуха, осадков, повторяемость числа дней с сильным ветром, сильными осадками, грозой и др.; работы на вышках ограничены показателями силы ветра, осадков, гроз; расчет потребления энергии ведется с учетом температуры наружного воздуха и освещенности и т.д.

При наблюдаемой тенденции изменчивости климатических характеристик увеличивается нагрузка на объекты энергетического комплекса. Моральный и физический износ основного оборудования, исчерпание пропускной способности ЛЭП и недостаточность их резервирования лишь усиливают климатические риски.

С другой стороны, изменение климатических условий создает новые возможности, в частности, увеличение гидро- и ветроэнергетического потенциала, расширяет перспективы для использования солнечной и фотоэлектрической энергии. Это подчеркивает необходимость диверсификации источников энергии, развития возобновляемой энергии, совершенствования управления спросом и предложением и энергосистемы, способной справиться с более выраженной флуктуацией как в спросе на электричество, так и в его производстве.

В последнее время при разработке проектов в энергетике количество учитываемых климатических характеристик возросло, и их форма и содержание значительно усложнились в связи с необходимостью достижения их адекватности современным требованиям пользователей. Энергетическая система с учетом климата может быть представлена в виде функционального дерева состоящего из подсистем и влияющих климатических факторов.

Подсистемы большой энергетики с сопровождающими их процессами (добыча топлива, его транспортировка, передача генерируемой электроэнергии) испытывают на себе влияние, в основном, опасных явлений погоды и аномальных климатических условий (смерчей, сильных туманов, сильных ветров, неблагоприятных сочетаний температуры воздуха и влажности очень редких атмосферных нагрузок).

Возобновляемые источники энергии зависят от средних или суммарных значений образующих метеорологических величин (средняя и номинальная скорость ветра, общее количество приходящей солнечной радиации, сумма осадков). Например, потенциальные ветро-энергоресурсы и параметры ветроустановок напрямую зависят от среднего куба скорости ветра, который связан со средней скоростью ветра на уровне 10 м приближенной зависимостью. Гелиоэнергетические ресурсы рассчитываются по часовым суммам по прямой, рассеянной и суммарной радиации. Исключением является гидроэнергетика, где наряду со средними значениями важно знать максимальный и минимальный сток воды для оценки уровня в верхнем и нижнем бьефе. Сток воды зависит от осадков и интенсивности снеготаяния.

В результате исследований влияния климата на объекты и процессы в энергетической индустрии составлены перечни специализированных характеристик для

оценки последствий изменений климата на эту отрасль. Они представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

**Таблица 3.2 Специализированные климатические параметры для нефтяной и газовой отрасли**

<b>Отрасли, процессы и объекты</b>	<b>Климатические специализированные параметры (индексы)</b>
Проектирование и эксплуатация нефте- и газопроводов (подводящих, магистральных и распределительных подземных, наземных, надземных, подводных)	Средняя минимальная годовая температура почвы на уровне заложения трубопровода, изменение температуры почвы вдоль трубопровода, повторяемость температуры почвы ниже – 30°С и – 40°С, абсолютный минимум температуры воздуха и его продолжительность, максимальная глубина промерзания и протаивания почвы, макс. высота снежного покрова.
Вспомогательные и жилые строения (распределительные и гидрокомпрессорные установки, нефтеперекачивающие станции, установки электрохимической защиты, ЛЭП вдоль трубопроводов, жилые здания, узлы связи)	Повторяемость температуры воздуха ниже - 30°С и -40°С, резкие понижения температуры воздуха; повторяемость гроз, смерчей, туманов; скорость ветра при макс. гололедных отложениях; колебания атм. давления; температура наиб. хол. пятидневки и однодневки обеспеченностью 0,92 и 0,98; максимальная глубина промерзания и протаивания почвы; характеристики СНиП «Строительная климатология»
Доставка грузов и оборудования (автомобильный, ж.д. и воздушный транспорт, танкеры и вспомогательный флот)	Климатические параметры, содержащиеся в монографии «Климат и железнодорожный транспорт»; скользкость дорог; дальность видимости; экстремальная скорость ветра; волнение, ледовая обстановка
Природосберегающие технологии (рекультивация земель)	Экстремальная температура воздуха и поверхности почвы; максимальная скорость ветра, количество осадков

**Таблица 3.3 Специализированные климатические параметры для некоторых составляющих элементов электроэнергетической системы**

<b>Элемент системы</b>	<b>Климатические специализированные параметры</b>
Генераторы энергии (ТЭС)	Средняя суточная температура; температура наиболее холодной пятидневки; температура наиболее жаркой декады; температура наиболее холодного периода; повторяемость опасных явлений.
Линии высоковольтных передач, подстанции и распределяющие устройства ЛЭП	Максимальная гололедно-ветровая и ветровая нагрузки; число дней с опасными явлениями погоды (гроза, град, ливень, снегопад).
Теплосеть	Средняя и минимальная температура почвы; глубина ее промерзания и протаивания.
Потребление энергии	Средняя и минимальная температура воздуха; освещенность, средняя эффективная температура теплопотерь.

В табл. 3.4 указаны некоторые критические значения специализированных показателей и связанная с переходом через эти значения уязвимость некоторых энергетических реципиентов. Уязвимость реципиента в общем случае описывается функцией распределения. Обычно распределение интенсивности повреждений можно считать нормальным.

**Таблица 3.4 Критические значения специализированных климатических показателей**

Значение показателя	Уязвимость сооружений
Температура воздуха ниже - 25 <sup>0</sup> С,	Увеличивается загустение нефти и затрудняется ее перекачивание
Температура воздуха ниже - 30 <sup>0</sup> С	Необходимо утепление трубопровода и использование морозостойких материалов, происходит удорожание работ
Скорость ветра больше 22 м/с	Прекращается монтаж буровых вышек, затрудняется сварка труб, прекращается ремонт скважин и наземных сооружений
Гололедно-ветровая нагрузка (стенка гололеда более 260 мм <sup>2</sup> при скорости ветра более 10 м/с, отложение мокрого снега более 3500 мм <sup>2</sup> и скорости ветра более 6 м/с)	Возможно разрушение ЛЭП
Гроза	Взрывы на буровых установках и поражение ЛЭП, возникает опасность возгорания строений.

### 3.2.2. Адаптационные мероприятия для энергетики

Для разработки оптимальной стратегии реагирования и принятия адаптационных мер предварительно рассчитываются риски использования прогностической информации. Целесообразно для расчета рисков применять теорию нечетких множеств.

Риски определяются на основе исследования влияния климатических условий на объекты инфраструктуры секторов экономики. В прилагаемых таблицах представлены результаты данных исследований. Основная компонента рисков – поражающие факторы – представлены в графе 1.

**Таблица 3.5 Климат и энергетика**

Характеристика	Последствия, угрозы	Адаптационные мероприятия
<i>Добыча, транспортировка топлива, передача электроэнергии и тепла</i>		
Квантили 95, 99% обеспеченности и вероятность непрерывной продолжительности температуры воздуха меньше -30 <sup>0</sup> С и больше +30 <sup>0</sup> С;	Нарушение работы технических систем, создающие аварийные ситуации: - деформация буровых скважин;  - термическое напряжение трубопроводов, свищи и деформация;	Регулировка работы технических систем:  - установка заглушек или заполнение водой;  - перераспределение потоков газа;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- затруднения в работе компрессорных станций (КС);</li> <li>- ослабление стен в открытых разработках торфа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- организация дополнительного нагрева или охлаждения топлива;</li> <li>- укрепление стен разработок</li> </ul>
Ветровые, гололедные, ветровые при гололеде нагрузки на ЛЭП с периодом повторения 50 и 100 лет	<p>Аварии на ЛЭП, прекращение энергоснабжения жилых и промышленных объектов, угроза энергетической безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- занормативная нагрузка на буровые установки и платформы на шельфе;</li> <li>- остановка компрессорных станций и прекращение перекачки топлива;</li> <li>- разрыв проводов ЛЭП</li> </ul>	<p>Планирование технических мероприятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- упрочнение высотных сооружений;</li> <li>- установка автономного энергоснабжения КС;</li> <li>- планирование сколки и плавления льда</li> </ul>
Вероятность выбросов срочных и суточных значений скорости ветра больше 15 и 22 м/с	<p>Прекращение работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- прекращение монтажа буровых вышек и ремонта скважин и наземных сооружений;</li> <li>- затруднение сварки труб</li> </ul>	Ранее предупреждение об усилении ветра
Вероятность опасных явлений погоды (гроза, смерч, шквал, опасный ливень)	<p>Разрушение объектов. Прекращение или осложнение работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- при грозе прекращение добычи, работы компрессорных станций и поражение проводов ЛЭП;</li> <li>- при смерче разрушение объектов;</li> <li>- при ливне затопление буровых скважин</li> </ul>	<p>Ранее предупреждение об ОЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перераспределение нефтегазовых потоков, отбор газа из подземных хранилищ;</li> <li>- планирование защитных мероприятий</li> </ul>
<b>Генерация энергии (ТЭС, АЭС, ГЭС, ВИЭ)</b>		
Опасные ветровые и снеговые нагрузки и температурные воздействия, возможные 1 раз в 10 000 лет	Затруднения в работе АЭС, возникновение занормативных нагрузок	Присвоение площадкам АЭС более высокой степени сложности
Вероятность засух и пыльных бурь	Нарушение работы прудов-охладителей	Перепроектирование прудов-охладителей АЭС, ТЭС и ТЭЦ
Квантиль 95 и 99% обеспеченности суточного и месячного количества осадков	Изменение выработки энергии на ГЭС: <ul style="list-style-type: none"> <li>- холостые сбросы воды;</li> <li>- понижение уровня воды ниже подпорного горизонта, недовыработка энергии на ГЭС</li> </ul>	Изменение режима регулирования работы ГЭС. Пересмотр сроков планового ремонта

Средняя скорость ветра, вероятность штилей, номинальной и буревой скоростей ветра	Определение ресурсного потенциала ветродвигателей	Использование в качестве проектных параметров ВЭУ
<i><b>Тепло- и холодоснабжение</b></i>		
Средняя и максимальная продолжительность и температура отопительного периода и периода охлаждения	Неэкономное расходование топлива	Использование климатических характеристик более тонкой структуры
Вероятность суточной температуры выше 8 <sup>0</sup> С внутри отопительного периода	Затратное отопление	Улучшение регулирования отопительной системы

Таким образом, стратегия адаптации в ТЭК должна строиться с учетом долгосрочных изменений основных гидрометеорологических параметров.

Возможные меры адаптации:

- пересмотр норм потребления энергии в зимнее время и норм расчета необходимого запаса топлива в связи с прогнозируемым сокращением отопительного периода;
- улучшение теплоизоляции жилых и офисных зданий, промышленных объектов;
- замена устаревшего оборудования на новое, более устойчивое к резким изменениям гидрометеорологических характеристик, в то же время более энергоэффективное;
- диверсификация источников энергии, развитие возобновляемой энергетики;
- повышение качества гидрометеорологических прогнозов и их заблаговременности;
- совершенствование системы оперативного доведения погодно-климатической информации до потребителя.

Внедрение новых энергоэффективных технологий, развитие возобновляемых источников энергии может решить обе задачи: адаптации и смягчения климатических изменений через снижение выбросов парниковых газов.

Пересмотр норм потребления энергии в ЖКХ также может рассматриваться как комплексный подход к решению проблемы изменений климата.

### **3.3. Рекомендации по адаптации строительства Беларуси и России к возможным изменениям климата и его долгосрочным сценарным оценкам**

#### ***3.3.1. Влияние изменения климата на специализированные климатические характеристики для строительства.***

Строительная отрасль относится к системообразующим отраслям экономики. На строительство приходится порядка 8.2% ВВП. Строительный комплекс имеет ключевое значение для развития целого ряда смежных отраслей: транспорта, социальной сферы и др. Решение одной из ключевых проблем экономики – высокой энергоемкости – также во многом лежит в сфере строительства, где необходимо обеспечивать сбережение энергии как во время строительных работ, так и в процессе эксплуатации здания. Динамика строительства является одним из индикаторов, по которым можно судить об общем прогрессе страны.

Строительство невозможно без учета влияния климатических условий. Поэтому ориентация на климат в строительном проектировании и при производстве строительных работ является традиционной и регламентируется нормативами (СНиП, СН, ТСН). Учет климатической информации особенно важен для обеспечения теплового режима зданий и безопасности зданий и сооружений под действием атмосферных нагрузок (ветровой, снеговой, гололедной и их комплексов) и ледовой нагрузки на гидротехнические сооружения.

Решение одной из ключевых проблем экономики – высокой энергоемкости – также во многом лежит в сфере строительства, где необходимо обеспечивать сбережение энергии как во время строительных работ, так и в процессе эксплуатации здания. Динамика строительства является одним из индикаторов, по которым можно судить об общем прогрессе страны.

В известной литературе по влиянию изменения климата строительству уделяется мало внимания. Авторы, затрагивающие данный вопрос, лишь отмечают, что потепление приведет к снижению затрат в указанном секторе. Однако, не все так однозначно. Из-за усиления нестабильности и изменчивости погодных условий будут чаще случаться неблагоприятные краткосрочные явления – внеурочные периоды аномально теплой и холодной погоды и заморозков, сильных ветров и снегопадов (как во время отопительного сезона, так и после его окончания). Морозостойкость зданий (условная характеристика, которая измеряется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания насыщенного водой материала без существенной потери технических свойств) в связи с увеличением повторяемости оттепелей и заморозков существенно сокращается. В осенне-

зимний и зимне-весенний периоды уже сейчас наблюдается ухудшение условий эксплуатации зданий и уменьшение их долговечности. Эта тенденция к 2015 г. может привести к сокращению периода до ремонтной эксплуатации зданий до 2 раз.

В последние годы наблюдается рост числа случаев разрушения зданий, что связано как с изменением климата, так и с недостаточным учетом климатических факторов при проектировании и эксплуатации. Большие снеговые нагрузки привели к обрушению ряда спортивных и торговых помещений и к гибели людей. Хорошо известно разрушение зданий в зоне многолетней мерзлоты.

На северо-западе европейской части страны вероятно повышение уровней грунтовых вод и подтопление равнинных территорий, что ускорит деформацию фундаментов и технических сооружений. На юге России, в Поволжье и на Дальнем Востоке вероятно увеличение гололедной нагрузки на здания и сооружения.

### **3.3.2. Адаптационные мероприятия для строительства**

Уже указывалось, что для разработки оптимальной стратегии реагирования и принятия адаптационных мер предварительно рассчитываются риски использования прогностической информации. Основная компонента рисков – поражающие факторы для строительства – представлены в графе 2 (табл. 3.6).

**Таблица 3.6 Климат и строительная индустрия**

<b>Характеристика</b>	<b>Последствия, угрозы</b>	<b>Адаптационные мероприятия</b>
<b><i>Посадка здания на местности, принятие архитектурно-планировочного решения, производство строительных работ</i></b>		
Средняя и максимальная продолжительность «косога дождя», скорость ветра при дожде	Промачивание стен зданий	Выбор открытых или закрытых стыков, мероприятия по дождезащите зданий.
Среднее число дней со скоростью ветра более 10 м/с при отрицательной температуре воздуха	Затруднение работ на открытом воздухе	Повышение расценок работ на открытом воздухе
<b><i>Конкретное проектирование</i></b>		
Снеговая нагрузка, возможная 1 раз в 25 лет на кровли зданий с учетом сноса снега	Перегрузка легких покрытий, вес которых меньше веса снега, разрушение покрытий	Увеличение расчетных нагрузок на коэффициент 1,2.
Квантиль 92 и 98% обеспеченности наиболее холодных периодов более 5, 8, 10 дней	Перерасход топлива	Увеличение теплозащиты легких сооружений на коэффициент 1,2.

Для реализации адаптационных мер необходимы некоторые организационные и административные действия. В частности, в области научных исследований:

- по продленным до 2009 года рядам метеорологических величин пересчитать основные нормативные характеристики, содержащиеся в главах СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия», 2.04.03-85 «Канализация, наружные сети и сооружения», 2.05.06-85 «Магистральные трубопроводы», 2.10.02-84 «Нагрузки на гидротехнические сооружения»;
- совместно со специалистами АВОК (ассоциация инженеров по отоплению, вентиляции и кондиционированию) разработать новую методику расчета и использования специализированных климатических показателей для проектирования экономных систем вентиляции, отопления и кондиционирования;
- продолжить исследования по климатической агрессивности по отношению к зданиям в России и Беларуси с целью получения количественных оценок долговечности зданий и обеспечения качества теплоснабжения;
- в целях обеспечения устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного и неустойчивого централизованного энергоснабжения, а также для снижения вредных выбросов в этих районах рекомендуется создавать независимые энергопроизводители на базе возобновляемых источников энергии;
- возобновить качественные измерения гололедно-изморозевых образований и проанализировать материалы этих наблюдений за последние 30 лет.
- на основе выполненных в ГГО модельных расчетов глубины протаивания вечной мерзлоты целесообразно организовать наблюдения за динамикой криогенной зоны для уточнения результатов моделирования и составление нормативных характеристик в СНиП. В связи с возросшей повторяемостью стихийных явлений и природных катастроф для предотвращения и смягчения последствий данных явлений, необходимо разработать методику расчета занормативных значений специализированных климатических показателей для строительства. Расчет вероятности таких показателей позволит оценить риски разрушения старых зданий, усовершенствовать систему раннего оповещения о стихийных явлениях и тем самым предотвратить возможный ущерб от них. В некоторых случаях в строительные конструкции может быть заложена дополнительная прочность. Для южных районов РФ необходимо провести специальные разработки по корректированию генплана города в направлении

увеличения площади зеленых насаждений и водных объектов, уменьшению плотности застройки, увеличению открытости и вентилируемости территории.

Организационные действия в результате выполненных исследований должны состоять в:

- пересмотре в ближайшее время по соглашению с Минстроем Беларуси и РФ перечисленных выше глав СНиП, включение в них наряду с уточненными нормативами ряда усовершенствованных параметров и проекций этих параметров до 2015 и 2030 годов;
- ходатайстве перед административными органами России и Беларуси о заказах Гидрометеослужбе на разработку территориальных строительных норм, ТСН, включающих более подробную и современную климатическую информацию.

#### **3.4. Рекомендации по адаптации жилищного коммунального хозяйства Беларуси и России к возможным изменениям климата и его долгосрочным сценарным оценкам**

Необходимые климатические параметры для обслуживания жилищного коммунального хозяйства (ЖКХ) выбираются для обеспечения эффективной работы предприятия, выполняющих обслуживание населения. Коммунальное хозяйство включает системы водоснабжения и канализации с очистными сооружениями и сетями; общественный пассажирский транспорт; электрические, газовые и теплофикационные распределительные сети, отопительные котельные и ТЭЦ, обслуживающие население.

В результате исследований влияния климата на объекты и процессы в ЖКХ составлены перечни специализированных характеристик для оценки последствий изменений климата на эту отрасль.

В последнее время при разработке проектов количество учитываемых климатических характеристик возросло, и их форма и содержание значительно усложнились в связи с необходимостью достижения их адекватности современным требованиям пользователей. Система ЖКХ с учетом климата может быть представлена в виде функционального дерева состоящего из подсистем и влияющих климатических факторов.

Для каждой ветви дерева характерны свои специализированные параметры климата. Климатические параметры для ЖКХ складываются из параметров, учитываемых при проектировании канализационных, автотранспортных и топливно-климатических систем.

В качестве основного климатического показателя для **планирования запасов топлива и регулирования отпуска** тепла используется продолжительность

отопительного периода - характеристика, которая является одним из основных показателей в экономических расчетах, а также среднее число градусодней отопительного периода.

Для **автомобильного транспорта** основными специализированными климатическими показателями являются: максимальное число дней с сильным снегопадом, метелью, интенсивными осадками и высокой скоростью ветра (опасными природными явлениями); максимальное годовое число дней с туманами; среднее число дней с минимальной температурой воздуха за сутки  $\leq -25$  °С; объем переносимого снега за зиму с максимальной продолжительностью метелей; повторяемость гололедицы за сезон.

Особенно опасными являются снегопады, когда количество выпавших осадков составляет 20 мм и более за промежуток времени 12 ч и менее, метели (включая низовые) продолжительностью 12 ч и более при скорости ветра 15 м/с и более. Интенсивными считаются осадки в количестве 50 мм и более за 12 ч и менее. Ливни относятся к опасным природным явлениям, когда количество выпавших осадков составляет 30 мм и более за 1 ч и менее. Опасным считается ветер средней скоростью 30 м/с и более или порывы 40 м/с и более.

Гололедица на дорогах образуется в результате замерзания осадков на поверхности трасс, а также талой воды в слое снега и сублимации водяного пара на переохлажденной поверхности. Иногда вместо характеристик гололедицы рассматривают характеристики гололеда. Это неправомерно (данные об обледенении дорог будут завышены), так как гололед измеряется на высоте 2 м над уровнем подстилающей поверхности и условия его образования отличаются от условий образования гололедицы на дорогах. Наиболее вероятная температура воздуха, при которой происходит образование гололедицы, в 80 % случаев составляет 0...-10 °С, в 95 % случаев обледенение дорог наблюдают при температуре 4...-10 °С, т. е. переход температуры воздуха через 0°С для образования гололедицы не обязателен, хотя отмечается довольно часто. В ГУ «ГТО» создана методика получения данных по гололедице, рассчитанных косвенным способом, исходя из условий ее образования (повторяемость комплекса величин „температура воздуха-относительная влажность“ из „Научно-прикладного справочника по климату СССР“).

Объем переносимого снега за зиму с максимальной продолжительностью метелей рассчитан по двум характеристикам: интенсивности переноса снега при метелях и максимальной продолжительности переноса снега при метелях.

Все перечисленные показатели ухудшают работу автомобильного транспорта.

Опасные природные явления (туман, гололедица) и объем переносимого снега влияют непосредственно на состояние дорожного покрытия и видимость на дорогах. К

явлениям, ухудшающим видимость до опасных пределов и создающих условия для возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), относятся: туман, дождь, снег, мгла и метель определенной интенсивности и длительности. При ограниченной видимости происходит снижение скорости движения автотранспорта и пропускной способности дорог. Даже на высококачественных дорогах при сильном тумане движение практически прекращается. В среднем для дорог более низкого качества скорость движения снижается на 30-35 % при дымке и умеренном тумане.

Перечисленные выше метеорологические явления оказывают влияние и на такую транспортно-эксплуатационную характеристику трасс, как коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги.

Особенно опасно на большей части территории России обледенелое покрытие, гололедица. При гололедице скорость движения снижается в 2-2,5 раза, производительность автомобиля - на 30-40 %, а себестоимость перевозок возрастает 25-30%.

Существенное влияние на режим работы автотранспорта оказывает ветер, создавая ветровую нагрузку на автомобиль. Во-первых, сильный ветер может сдвинуть автомобиль, перевернуть его, изменить траекторию движения. Во-вторых, он способствует перерасходу топлива и износу шин в результате тормозных усилий.

Включение в качестве показателя ресурсов объема переносимого снега также характеризует степень необходимости защиты от снеготаносов автомобильных дорог. При выпадении снега высотой более 20 см и несвоевременной уборке трасс движение становится аварийно опасным, а при высоте более 30 см - невозможным. Низкая температура воздуха ( $\leq -25$  °С) затрудняет непосредственно эксплуатацию самой техники, необходимы дополнительные меры, чтобы вода и масло не замерзли в системе автомобиля. Кроме того, ухудшается психофизическое состояние водителя (комфортные условия в кабине - около 20 °С). Низкие значения температуры сказываются также на качестве дорожного полотна, вызывают пучения и размывы дорожного покрытия.

Основными специализированными климатическими показателями для проектирования и эксплуатации **систем канализации** являются суточный максимум осадков 1 %-ой обеспеченности; средняя интенсивность дождя продолжительностью 20 мин и глубина промерзания грунта

При проектировании систем канализации климатические параметры учитываются при расчете расходов сточных и дождевых вод, а также при определении глубины заложения канализационных трубопроводов и коллекторов. Чем выше значения указанных характеристик, тем больше материальных затрат требует проведение

канализационных сетей и, следовательно, тем меньше канализационные климатические ресурсы.

Расчетные максимальные расходы сточных вод определяются с учетом дополнительного притока поверхностных и грунтовых вод в периоды наиболее сильных дождей, поступающего в сети канализации через неплотности люков колодцев и за счет инфильтрации грунтовых вод.

При расчете расходов дождевых вод основным климатическим показателем является средняя интенсивность дождя 20-минутной продолжительности. Двадцать минут в качестве интервала, для которого рассчитывается интенсивность осадков, выбраны потому, что за этот период выпавшие осадки должны стечь в систему канализации (исходя из параметров канализационных сетей, принятых в нашей стране).

При проектировании канализационных сетей необходимо учитывать глубину промерзания грунта, так как должна быть исключена возможность замерзания транспортируемого по трубам продукта. Поэтому глубина заложения труб, считая от низа трубы, превышает на 0,5 м глубину промерзания. При прокладке трубопроводов в зоне вечной мерзлоты материал труб и элементов стыковых соединений должен удовлетворять требованиям морозоустойчивости. Для предохранения от замерзания предусматривается дополнительный сброс теплой воды (отработанной или специально подогретой), а также сопровождение участков трубопроводов, в наибольшей степени подверженных опасности замерзания, греющим кабелем или теплопроводом. Все эти мероприятия требуют очень больших материальных затрат. Поэтому данные о глубине промерзания грунта входят в расчеты при проектировании канализационных сетей.

**Оценка последствий изменения климата** проводилась в соответствии с инфраструктурой ЖКХ.

Разработана методология и выполнены оценки последствий изменения климата на территории Беларуси и России. Основой методологии является ансамблевый прогноз климатических изменений и последствий с применением даунскейлинга результатов модельных расчетов для однородных в климатическом плане районов.

Последствия региональных изменений климата оцениваются по специализированным характеристикам, полученным вследствие трансформации прогнозируемой базовой информации с учетом стратегии развития ЖКХ в 21 веке.

Для выполнения даунскейлинга и прикладных расчетов использована теория распределений многомерных случайных величин и физико-статистические зависимости функционирования объектов ЖКХ от меняющегося климата.

Применение инновационных технологий к результатам ансамблевого прогноза будущего климата (данным месячного, суточного разрешения и суточным экстремумам температуры воздуха, осадков и ветра) позволило рассчитать климатические ресурсы и риски на середину текущего столетия для ЖКХ.

Климат Беларуси является сравнительно благоприятным для функционирования и развития ЖКХ. Изменения и изменчивость климата не приводит на данной территории к очень серьезным негативным последствиям в этой области. Тем не менее, ряд опасностей вследствие изменения климата все же возникают и, поэтому, их последствия следует оценить.

Отопление, вентиляция и кондиционирование. Увеличение средней годовой температуры на 2.4-2.6°C приведет к уменьшению расходов на отопление и горячее водоснабжение на 10-14% и 18-23% соответственно и к увеличению расходов на 20-30% на кондиционирование воздуха. Экономия средств, расходуемых на отопление, составит к середине столетия от 20 до 30 млн. руб. в северных районах республики. В южных районах – более 30.

Сравнительно медленное потепление в летний сезон, проявляющееся уже в настоящее время практически на всей территории Беларуси, приведет к росту числа дней с высокими значениями температуры воздуха и значительному увеличению вероятности экстремально продолжительных периодов с критическими значениями температуры воздуха (годовые максимумы продолжительности таких периодов возрастут в 1,1-1,5 раза). Это увеличит затраты на кондиционирование зданий. Следует отметить, что небольшая часть средств, полученных за счет удешевления систем отопления, может быть направлена на использование в системах вентиляции и кондиционирования.

**Автотранспорт.** Транспортные системы понесут дополнительные убытки за счет ухудшения зимнего состояния дорог. В умеренных широтах при увеличении повторяемости температур воздуха в интервале от +1 до -10°C возрастает повторяемость опасной скользкости дорог, что влечет за собой, уменьшение грузопассажирских перевозок и, соответственно, увеличение ущерба.

**Эксплуатация объектов ЖКХ.** В связи с увеличением повторяемости оттепелей и заморозков в осенне-зимний и зимне-весенний периоды наблюдается ухудшение условий эксплуатации зданий и уменьшение их долговечности. Эта тенденция к 2015-30 гг. может привести к сокращению периода до ремонтной эксплуатации зданий до 2 раз.

## Заключение

Изменения климата, наблюдаемые в последнее время, учащение их аномалий стали очевидны. Встает вопрос о необходимости разработки системы мер по адаптации его отдельных отраслей к последствиям климатических изменений и интеграции таких мер в средне- и долгосрочные планы социально-экономического развития. Ниже представлена схема принятия решений об адаптации (рис. 3)

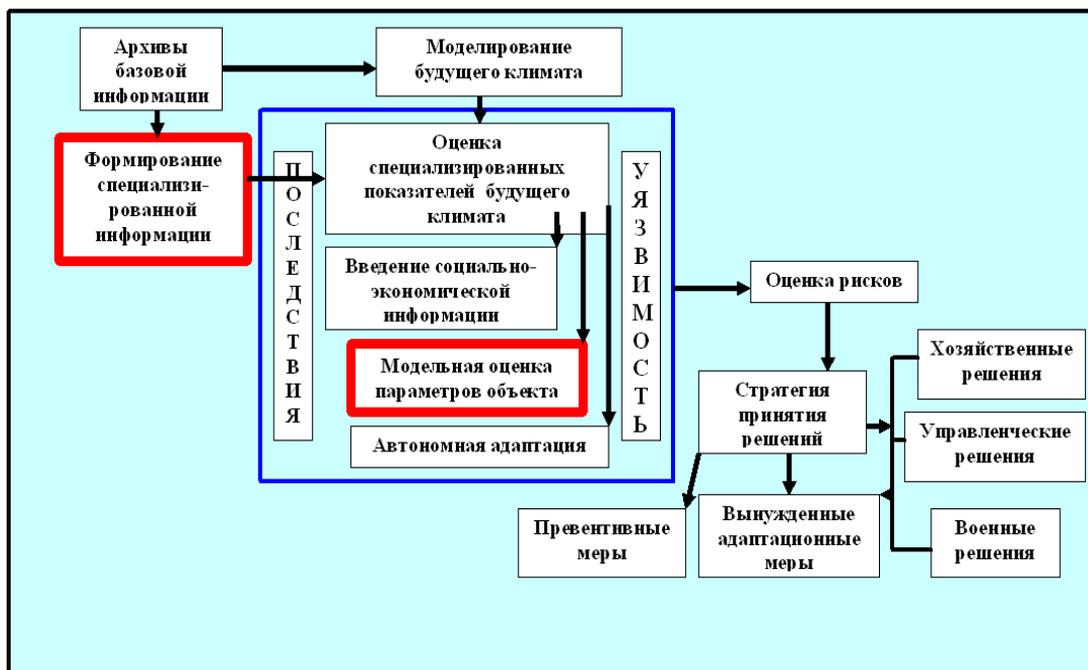


Рис.3.3. Схема принятия решений об адаптации в условиях меняющегося климата

Наибольший практический интерес представляет оценка климатических рисков и разработка соответствующих мер адаптации в энергетике, строительстве и ЖКХ, имеют принципиальное значение для дальнейшего развития.

Для их эффективного осуществления большое значение также имеет:

- развитие региональных и локальных систем гидрометеорологических наблюдений и системы сбора, передачи, обработки и распространения данных;
- поддержка научной деятельности в изучении регионального климата и процессов адаптации к последствиям его изменений (поддержка исследований, развитие прогнозирования, оценки климатических рисков, улучшение технической базы);
- развитие экономических исследований, в том числе оценок затрат и выгод предлагаемых адаптационных мер для обеспечения их максимального эффекта на единицу вложенных средств и разработки оптимальной стратегии по адаптации к изменению климата для принятия хозяйственных решений;

- обязательный учет вероятных последствий глобальных изменений климата и мер адаптации в долгосрочных общегосударственных и региональных концептуальных, стратегических и программных решениях;
- распространение информации о проблеме изменения климата, ее возможных последствиях, а также о возможных мерах адаптации среди населения;
- улучшение сотрудничества между ведомствами и различными заинтересованными сторонами (лица, принимающие решение, бизнес, наука, гражданское общество, широкая общественность) на всех уровнях;
- укрепление международного сотрудничества в области исследований процессов глобального изменения климата и его последствий, привлечение лучшего зарубежного опыта по разработке мер адаптации.

#### **Список использованных источников**

Зеленый документ Европейской комиссии «Адаптация к изменению климата в Европе – возможные направления действия со стороны ЕС». – Брюссель, Европейская Комиссия, 2007 (документ представлен на сайте Европейской комиссии [http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/index_en.htm)).

Климатическая доктрина Российской Федерации (проект) – Росгидромет Минприроды России, 2009 (опубликован на сайте Минприроды России опубликован на сайте Минприроды России <http://www.mnr.gov.ru/files/part>).

МЭГИК, 2007 г., Изменения климата – 2007: Воздействия изменения климата, адаптация и уязвимость. Вклад рабочей группы II в IV аналитический отчет МЭГИК

Обзор доклада Николаса Стерна «Экономика изменения климата». Издание 2-ое, дополненное и переработанное /Кокорин А. О., Кураев С. Н. , Юлкин М. А. WWF, Strategic Programmer Fund (SPF). – М.: WWF России, 2009.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Росгидромет. 2008 г.

Россия и сопредельные страны: экологические, экономические и социальные последствия изменения климата. WWF России, Oxfam. – М., 2008.

#### **4. Проект 3.4. Разработка унифицированных форм представления специализированной климатической информации в научно-справочных пособиях для автомобильного транспорта**

##### **Введение**

Учету погодно-климатических факторов на стадии проектирования автомобильных дорог уделяется большое внимание, что нашло свое отражение во многих нормативных документах. Однако в проектно-сметной документации практически отсутствует раздел по их содержанию. Обоснованное решение задач по повышению эффективности организации работ, связанных с содержанием автомобильных дорог невозможно без использования различной метеорологической информации – текущей, прогностической и климатологической (режимно-справочной и специализированной).

Наибольшее влияние на работу дорожных служб оказывают погодные условия в зимний период, когда из-за снежных заносов и образования скользкости на поверхности автомобильных дорог резко затрудняется их эксплуатация.

Климатические особенности, которые определяют объем затрат на содержание дороги, зависят от местоположения района, по которому она пролегает. Так, например, в районах с частыми переходами температуры воздуха через 0° наблюдается повышенная вероятность образования гололедных явлений, а в районах с устойчивыми морозами – снежных заносов (снег здесь более сухой, подвижный и легко переносится ветром).

Кроме метеорологических факторов, состояние дороги зависит от свойств «дорожной одежды», рельефа местности, близости водоемов, расположения трассы по отношению к преобладающему направлению ветра и т. п. Вследствие этого разные участки дороги подвержены обледенению и снежным заносам в разной степени и водитель не всегда может быстро перестроиться на новый режим движения.

Существующие в настоящее время нормативы предусматривают, в основном, ликвидацию последствий влияния неблагоприятных метеорологических условий, а не их профилактику.

Для оперативной организации работ по зимнему содержанию автомобильных дорог используются специализированные прогнозы погоды, штормовые предупреждения, текущая метеорологическая информация, а для долгосрочного планирования и расчета затрат на содержание дорог – режимная и специализированная климатологическая информация [8].

При составлении режимно-справочных пособий (НСП), предназначенных для выполнения задач по специализированному климатологическому обеспечению автомобильного транспорта и содержания автомобильных дорог необходимо, чтобы

методики определения специализированных характеристик и формы представления данных в климатических режимно-справочных пособиях должны были едиными (унифицированными) для всей территории республики. Должны быть учтены особенности республиканских магистралей, которые пересекают несколько административных субъектов и местные дороги, принадлежащие какому-либо одному субъекту.

#### **4.1. Термины и определения.**

Ниже приводятся основные термины и их определения, которые употребляются при составлении пособия.

**Холодный период** – период со средней суточной температурой воздуха ниже 0°.

**Твердые осадки** – осадки, выпадающие в виде снега или мокрого снега.

**Случай выпадения твердых осадков** – наличие осадков в срок (или между сроками) наблюдения.

**Число дней с осадками** – включаются дни с суточным количеством осадков  $\geq 0,1$  мм.

**Число дней со следами осадков** - включаются дни с суточным количеством осадков менее 0,1 мм.

**Продолжительность случая выпадения снега** – интервал, в течение которого снег выпадал непрерывно или с перерывом не более 2 часов.

За случай снегопада принимается период выпадения снега с перерывами не более двух часов (при расчете продолжительности эти перерывы не учитывались). Отдельно рассматриваются дни без снега, но с метеоусловиями, способствующими образованию других видов скользкости.

**Количество осадков** – на метеостанциях определяется 4 или 2 раза в сутки. Интервал времени, к которому относится измеренное количество снега, не всегда совпадает с промежутком времени, в течение которого выпадал снег, поэтому иногда, приходилось делить количество снега между двумя или тремя случаями пропорционально их продолжительности. Также поступали и в случаях, когда выпадение снега чередовалось с выпадением дождя или мороси.

**Количество твердых осадков** измеряется в мм слоя воды, который образуется при таянии соответствующего количества снега. Высота слоя свежевыпавшего снега определяется его плотностью, зависящей, в свою очередь, от формы снежинок, температуры и влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности снегопада.

**Температура воздуха в период выпадения осадков** – рассчитывалась средняя за случай выпадения снега.

**Случай скользкости** – явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдались метеоусловия, способствующие возможному образованию соответствующего ему вида обледенения.

## 4.2. Виды скользкости на поверхности автомобильных дорог и метеорологические условия ее образования

Выборка дней с различными видами скользкости целесообразно производить в соответствии со специально разработанной таблицей 1, в которой приведены метеорологические условия, способствующие образованию тех или иных видов отложений на автодорогах. При этом принимается условие, что если при каком-либо сочетании метеоусловий могли образоваться два или более вида отложений и их нельзя разделить, то предпочтение отдается более опасному виду, или тому, которое при данных условиях наблюдается чаще.

**Снежный накат.** Образование снежного наката происходит при положительной температуре воздуха (от  $0.3^{\circ}$  до  $2.0^{\circ}$ ). На дорогах мокрый снег спрессовывается под колесами машин и, если вслед за этим наступает даже небольшое понижение температуры (от  $0^{\circ}$  до  $-1^{\circ}$ ), снег замерзает, образуя сплошную ледяную корку. При дальнейшем понижении температуры ледяное образование может удерживаться в течение длительного времени.

Уплотнение снежных отложений может происходить и при более низких температурах от ( $-6^{\circ}$  до  $-10^{\circ}$ ), но только при высокой влажности воздуха (более 90%) и (или) при сильном ветре под воздействием давления ветрового потока.

**Оледенелый снег.** Образуется в результате замерзания талой воды в слое снега во время резких похолоданий после оттепелей. По величине отложения оледенелый мокрый снег часто превосходит гололед, поэтому является очень опасным видом обледенения.

**Рыхлый снег.** Отложение рыхлого снега обычно наблюдается при температурах ниже  $-10^{\circ}$  и в интервале температур от  $-6^{\circ}$  до  $-10^{\circ}$ , но при влажности менее 90%.

**Гололедица:** явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдалось понижение температуры воздуха от положительных значений до  $-2^{\circ}$  и ниже за интервал времени не более 6 часов.

**Гололед:** явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдалось выпадение жидких осадков при температуре воздуха от  $0^{\circ}$  до  $-10^{\circ}$ .

**«Черный лед»:** явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдалось повышение температуры воздуха не менее, чем на  $6^{\circ}$  до  $-6^{\circ}$  и выше за 3-6 часов при влажности воздуха 95-100% и отсутствии жидких осадков и тумана.

**Зернистая изморозь:** явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдался туман при температуре от  $-1$  до  $-10^{\circ}$ .

Как было сказано выше, при температурах до  $-15^{\circ}$  могут наблюдаться оба вида изморози, иногда одновременно, вследствие чего невозможно однозначно определить условия, при которых наблюдался бы только один из видов. Поэтому в данной работе было принято, что при тумане,

наблюдающемся при температурах от  $-1^{\circ}$  до  $-10^{\circ}$ , образуется только зернистая изморозь (как более часто встречающаяся), а при температуре  $-10^{\circ} \dots -18^{\circ}$  - только кристаллическая (по тому же признаку).

**Иней** (твердая роса): весной и осенью - явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдались метеоусловия с понижением температуры от положительных значений до  $-2^{\circ}$  и ниже при влажности воздуха 97-100%. В зимние месяцы - когда наблюдалось резкое понижение температуры воздуха не менее, чем на  $6^{\circ}$  до  $-6^{\circ}$  и выше за 3-6 часов при влажности воздуха 95-100% и отсутствии жидких осадков и тумана.

**Кристаллическая изморозь:** явление, отмеченное один и более раз в течение суток, когда наблюдались метеоусловия с температурой воздуха ниже  $-18^{\circ}$  и влажностью, соответствующей началу процесса сублимации водяного пара.

**Таблица 4.1 Виды скользкости на автомобильных дорогах и метеорологические условия, способствующие их образованию**

Температура воздуха, град. С	Снег с дождем, ледяной дождь, изморось	Понижение т-ры воздуха ниже $0^{\circ}$ во время или после выпадения осадков	Мокрый снег, смешанные осадки	Влажность воздуха более 97%	Туман	Туман, дымка, высокая влажность	Влажность воздуха более 97% весной и осенью	Рыхлый снег
	Стекловидный лед			Ледяной и зернистый налеты.		Кристаллический налет (рыхлый снеговидный осадок)		Снег
Резкое повышение т-ры воздуха до оттепели (не менее, чем на $6^{\circ}$ за 3-6 часов)				«Черный лед»				
Резкое понижение т-ры воздуха до $0^{\circ}$ и ниже (не менее, чем на $6^{\circ}$ за 3-6 часов)							Иней	
0...+2			Снежный накат					
0...-5	Гололед	Гололедица	Снежный накат, оледенелый снег		Зернистая изморозь			
-6...-10	Гололед		Снежный накат (при влажности $\geq 90\%$ )		зернистая изморозь			Рыхлый снег (при влажности $\leq 90\%$ )
-11...-17						Кристаллическая изморозь, (при тумане или дымке)		Рыхлый снег
-18...-25						Кристаллическая изморозь (при влажности 91-80%)		Рыхлый снег
-26...-35						Кристаллическая изморозь (при влажности 88-75%)		Рыхлый снег

### 4.3. Режимные характеристики снегопадов

В зимний период проезжаемость и безопасность эксплуатации автомобильных дорог резко ухудшаются во время снегопадов и при наличии гололедно-изморозевых отложений на их поверхности.

Атмосферные осадки в метеорологии характеризуются количеством, фазовым состоянием, продолжительностью и числом дней.

Вид осадков. По фазовому состоянию осадки делятся на твердые (когда выпадает только снег), жидкие (выпадает только дождь) и смешанные (выпадает и дождь и снег).

Количество осадков. При измерении количества осадков, они не разделяются по видам, а определяется их общая сумма.

В настоящее время на метеостанциях вводятся поправки к измеренным осадкам, учитывающие поправки на смачивание и испарение. Поправки на ветер пока не учитываются, поскольку методика учета ветра еще не внедрена в оперативную деятельность. Трудность учета влияния ветра заключается в том, что он не только уменьшает количество твердых осадков за счет их частичного выдувания, но и в некоторой степени увеличивает его за счет попадания в измерительный прибор снега, поднятого с поверхности во время метели.

Распределение осадков по территории зависит в основном от общециркуляционных факторов. Влияние подстилающей поверхности (высоты места, формы рельефа, наличия лесных массивов, водоемов, речных долин) сказывается в перераспределении осадков по территории. При одних и тех же циркуляционных условиях на возвышенных участках количество осадков обычно увеличивается, а в пониженных – уменьшается.

Максимум осадков приходится на наветренный склон или вершину возвышенности. При этом увеличение осадков начинается еще до подъема местности. С подветренной стороны возвышенностей и гор, наоборот, наблюдается уменьшение осадков. В районах крупных водоемов, речных долин, на плоских морских побережьях осадки также уменьшаются.

Число дней с осадками. За день с осадками принимается такой, когда за сутки выпало 0,1 мм и более осадков. Кроме числа дней с осадками определяется также число дней со следами осадков (менее 0,1 мм). К ним относятся дни, когда осадкомерное ведро было смочено выпавшими осадками, но количество их было невозможно измерить.

Продолжительность осадков. На метеостанциях определяется для каждого вида осадков.

#### **4.4. Состав специализированной климатической информации для оптимального функционирования автомобильного транспорта и содержания автомобильных дорог в зимнее время. Методические основы определения специализированных характеристик**

В программу обязательных наблюдений на метеостанциях [7] входит определение состояния естественной подстилающей поверхности на метеоплощадке, которая не подвергается никакой обработке, кроме скашивания травы и по которой даже не ходят.

Поверхность автомобильных дорог по своим свойствам значительно отличается от поверхности почвы на метеорологических площадках, поэтому по данным метеостанций состояние дорожного покрытия (степень заснеженности, вид обледенения) можно оценить только косвенно, используя комплекс параметров, наблюдаемых на ближайших к дороге метеорологических площадках.

Первые разработки специализированных климатических характеристик скользкости, образующейся на автомобильных дорогах, и карты их распределения по территории были выполнены специалистами Ленинградского областного центра по гидрометеорологии для Дорожного Комитета Ленинградской области [3,4]. Опыт специализированного гидрометобеспечения дорожных служб этого центра использован Самодуровой Т.В. при подготовке монографии «Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог» [5].

Определения и критерии специализированных метеорологических параметров, характеризующих состояние поверхности автомобильных дорог, для целей данного проекта сформулированы климатологами Главной геофизической обсерватории совместно со специалистами ЗАО «НИПИ ТРТИ». В методике расчета, исходя из возможностей метеорологического банка данных, максимально учитывались требования, обусловленные спецификой организации и выполнения работ по зимнему содержанию дорог.

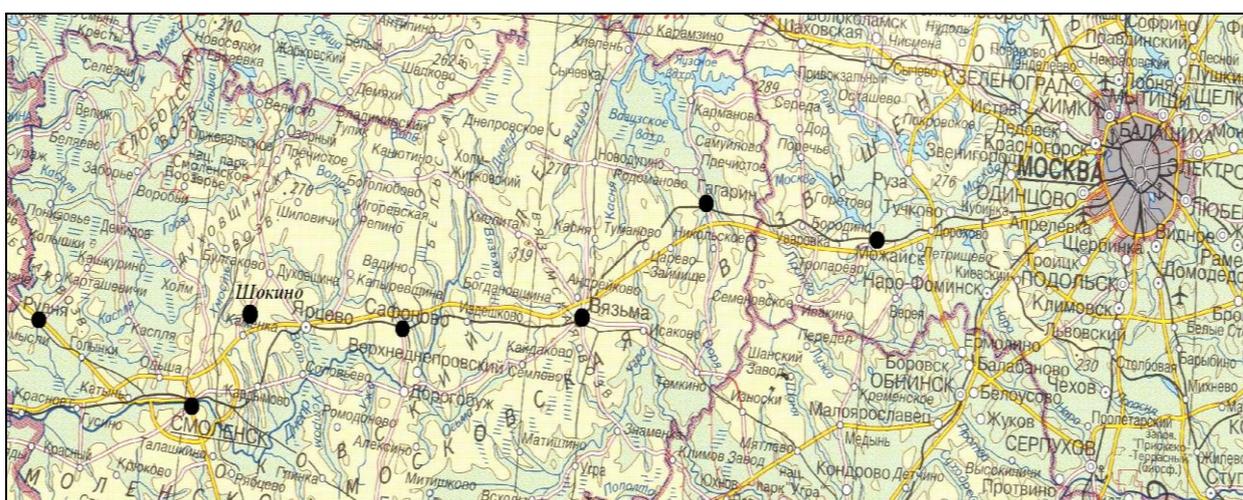
Специализированные характеристики снегопадов включают:

- Среднее число случаев выпадения твердых осадков;
- Среднемесячное и сезонное число дней с твердыми осадками (более 0,0 мм и более 0,1 мм);
- Среднемесячное и сезонное число дней с общими осадками (более 0,0 мм и более 0,1 мм);
- Среднее число случаев выпадения твердых осадков (снега и мокрого снега) при различной температуре воздуха;
- Среднюю продолжительность случаев выпадения твердых осадков;

- Среднюю продолжительность (час) выпадения твердых осадков (снега и мокрого снега) при различной температуре воздуха;
- Повторяемость числа случаев выпадения твердых осадков;
- Повторяемость различной продолжительности выпадения твердых осадков;
- Среднемесячные и сезонные суммы твердых осадков;
- Среднемесячные и сезонные суммы общих осадков;
- Среднемесячные и сезонные суммы твердых осадков в % от сумм общих осадков
- Интенсивность осадков;
- Распределение снегопадов по градациям в зависимости от количества осадков и температуры воздуха;
- Число дней со скользкостью.

#### **Специализированные характеристики сильных снегопадов на автомобильной магистрали М-1 «Беларусь».**

В данном отчете разработка специализированных характеристик, которые целесообразно включать в научно-справочные пособия, выполнена на примере магистрали М-1 «Беларусь» - от Москвы до границы с Республикой Беларусь; Московского большого кольца через Дмитров, Сергиев Посад, Орехово-Зуево, Воскресенск, Михнево, Балабаново, Рузу, Клин (Минско-Волоколамское шоссе), (Брестско-Минское шоссе).



**Рис.4.1** Карта рельефа местности, по которой проходит автомобильная трасса Москва-Минск. Черными кружками выделены метеостанции, данные которых использованы для определения специализированных метеорологических характеристик.

Рассмотренный участок трассы проходит по слабо холмистой местности, прорезанной долинами рек и оврагами (рис.4.1). Гряды холмов высотой 200-300 м

перемежаются с плоскими равнинами, высота которых не превышает 100 -150 м над уровнем моря (табл.4.2).

**Таблица 4.2 Высота метеорологических станций над уровнем моря, м.**

Рудня	Смоленск	Шокино	Сафоново	Вязьма	Гагарин	Можайск	Москва
188	233	229	214	251	194	184	192

**Таблица 4.3 Ряд наблюдений, использованный при расчетах.**

Метеостанция	Число лет	Начало ряда	Конец ряда
Москва, МГУ	10	Ноябрь 1995	Март 2005
Можайск	10	Ноябрь 1997	Март 2007
Вязьма	10	Ноябрь 1997	Март 2007
Сафоново	10	Ноябрь 1997	Март 2007
Смоленск	10	Ноябрь 1997	Март 2007
Гагарин (Гжатск) Шокино Рудня	Срочные данные отсутствуют. При расчетах использованы средние многолетние данные по этим пунктам из справочника по климату СССР [1] и данные, полученные за период 1997-2007 гг. по близлежащим станциям.		

Для расчета специализированных характеристик, вызывающих те или иные виды скользкости, необходимы 8-срочные наблюдения за период не менее 10 лет.

В связи с наблюдаемыми изменениями климата необходимо уточнить границы холодного периода, которые определяются по средним многолетним датам перехода температуры воздуха через 0° весной и осенью.

Даты начала и окончания холодного периода, приведенные в «Руководстве по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах» [7], для большинства пунктов совпадают с датами перехода средней суточной температуры воздуха через 0° из Справочника по Климату СССР 1968 г.[6]. Продолжительность холодного периода, рассчитанная за рассматриваемый ряд наблюдений, стала короче, чем приведенная в Научно-прикладном справочнике по климату СССР [1]. При этом даты начала периода существенно не изменились, а даты его окончания передвинулись на 5-10 дней в сторону более ранних сроков.

**Таблица 4.4. Средние многолетние даты начала и окончания холодного периода.**

Метеостанция	Начало холодного периода	Окончание холодного периода
Москва, МГУ	9 ноября	22 марта
Можайск	9 ноября	27 марта
Вязьма	7 ноября	27 марта
Сафоново	9 ноября	23 марта
Смоленск	9 ноября	23 марта

Число сильных снегопадов по рассматриваемой трассе распределяется неравномерно (таблица 4.5). Это связано с влиянием рельефа и значительной протяженностью дороги с запада на восток, в связи с чем разные участки дороги нередко оказываются в неодинаковых циркуляционных условиях.

На протяжении большей части дороги наблюдается 43-47 случаев сильных снегопадов. На этом фоне происходит резкое увеличение их числа в Москве (66 случаев), и уменьшение в Вязьме (35 случаев), что связано с местоположением метеостанций.

Ст. Москва (МГУ) расположена в мегаполисе, выбрасывающим в атмосферу огромное твердых частиц, являющихся ядрами конденсации, да и расположена на самом высоком месте в городе. И тот и другой фактор способствуют увеличению числа случаев и количества осадков.

**Таблица 4.5 Число сильных снегопадов и максимальное количество осадков, выпавших за один сильный снегопад**

Метеостанция	Общее число сильных снегопадов за рассматриваемый период*	Относительная доля числа случаев сильных снегопадов (в % от общего числа случаев сильных снегопадов за рассматриваемый период*) величиной			Максимальное количество осадков выпавших за 1 снегопад, мм**
		5 - 6,9 мм**	7 – 9,9 мм**	10 мм** и более	
Вязьма	35	77,1	14,3	8,6	14,2
Можайск	43	60,5	32,6	7,0	19,3
Москва	66	56,1	33,3	10,6	13,1
Сафоново	42	64,3	26,2	9,5	15,4
Смоленск	47	59,6	27,7	12,8	16,4

**Примечание:**

\* Данные, представленные в таблице, охватывают период, указанный в табл.4.3.

\*\* Величина выпавших осадков указана в пересчете на воду.

Ст. Вязьма расположена на возвышенности, имеющей самую большую высоту над уровнем моря, поэтому уменьшение числа сильных снегопадов может быть связано с тем, что метеоплощадка находится на подветренной стороне возвышенности.

На протяжении всей трассы во время сильных снегопадов чаще всего (в 56-77% случаев) выпадает от 5 до 6,9 мм осадков. Наиболее сильные снегопады (10 мм и более) наблюдается на всей трассе не каждый год (в 7-13% случаев). Максимальное количество осадков, выпадающее за промежуток времени 12 часов и менее составляет 13-19 мм.

**Таблица 4.6 Число сильных снегопадов с различной интенсивностью осадков. Максимальная интенсивность снегопада**

Метеостанция	Общее число сильных снегопадов за Рассматриваемый период*	Относительная доля числа случаев сильных снегопадов (в % от общего числа случаев сильных снегопадов за рассматриваемый период*) интенсивностью			Максимальная интенсивность снегопада, мм**/ч
		0,4 – 0,6 мм**/ч	0,7 – 0,9 мм**/ч	≥1,0 мм**/ч	
Вязьма	35	51,4	42,9	5,7	1,3
Можайск	43	51,2	32,6	16,3	1,7
Москва	66	40,9	33,3	25,8	2,4
Сафоново	42	54,8	28,6	16,7	1,8
Смоленск	47	55,3	29,8	14,9	1,6

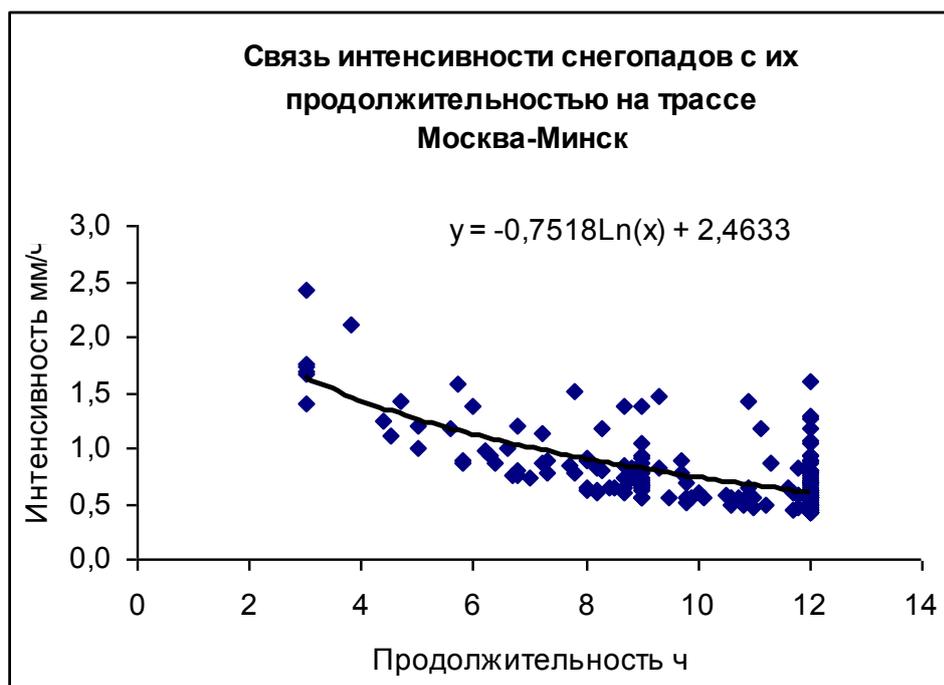
**Примечание:**

\* Данные, представленные в таблице, охватывают период, указанный в табл. 4.3.

\*\* Величина выпавших осадков указана в пересчете на воду.

Интенсивность сильных снегопадов в большинстве случаев (41-55% случаев) составляет 0,4-0,9 мм/ч (табл.4.6). Снегопады с интенсивностью более 1 мм/ч составляют от 6 до 18% от их общего числа. Максимальная интенсивность снегопадов на трассе изменяется от 1,3 до 2,4 мм/ч.

По данным метеостанций, расположенных на трассе, построен график связи интенсивности сильных снегопадов с их продолжительностью (рис.4.2). Из графика следует, что наиболее сильные снегопады имеют небольшую продолжительность



**Рис.4.2**

#### **4.5 Специализированные климатические характеристики скользкости на автомобильных дорогах.**

##### ***4.5.1 При наличии снегоотложений.***

**Снежный накат, оледенелый снег.** Формирование этих видов скользкости происходит при уплотнении и укатывании свежесвыпавшего мокрого снега.

По мнению специалистов дорожной службы (1, 7), образование снежного наката наиболее вероятно при температурах от 0 до  $-6^{\circ}$ . При более низких температурах (до  $-10^{\circ}$ ) это возможно только при высокой влажности воздуха, а при положительной (до  $+2^{\circ}$ ) – при интенсивности снегопада более 0,6 мм/ч.

По данным метеорологов наиболее опасен снежный накат, образование которого происходит при положительной температуре воздуха (от 0,3 до  $2,0^{\circ}$ ). При температуре воздуха ниже  $0,3^{\circ}$ , снег не обладает нужной липкостью, а при температуре выше  $2^{\circ}$  – быстро тает. Наиболее благоприятной для слипания снега является температура воздуха  $0,5 - 0,7^{\circ}$ . На дорогах он спрессовывается под колесами машин и, если вслед за этим наступает похолодание, замерзает, образуя сплошную ледяную корку. Замерзание мокрого снега происходит уже при небольших отрицательных температурах (от 0 до  $-1^{\circ}$ ). Если вслед за этим идет дальнейшее понижение температуры, ледяное образование может удерживаться в течение длительного времени.

**Оледенелый снег** образуется в результате замерзания талой воды в слое снега во время резких похолоданий после оттепелей. По величине отложения оледенелый мокрый снег обычно превосходит гололед, поэтому является очень опасным видом обледенения.

**Рыхлый снег.**

Отложение рыхлого снега обычно наблюдается при температурах ниже  $-10^{\circ}$ . В интервале температур от  $-6^{\circ}$  до  $-10^{\circ}$  уплотнение снега не происходит при влажности менее 90%. При сильном ветре уплотнение снежных отложений происходит и под воздействием давления ветрового потока.

##### ***4.5.2. При отсутствии снеговых отложений.***

В метеорологии под наземным обледенением предметов понимается покрытие их льдом любого вида (от прозрачного стекловидного до белого кристаллического, снеговидного). В зависимости от структуры отложения различают следующие виды обледенения: гололед, изморозь (зернистая и кристаллическая), замерзшая вода, замерзшая роса, твердый налет, иней.

Основными физическими процессами, способствующими обледенению поверхностей, является кристаллизация капель воды при их замерзании и сублимация водяного пара (переход пара в твердое состояние, минуя жидкое). При этом для каждого вида обледенения один из этих процессов является преобладающим.

Условия погоды, при которых наблюдается наземное обледенение, легко сформулировать, но очень трудно описать математическим языком. К ним относятся:

- резкие потепления после устойчивых морозов, сопровождающиеся выпадением жидких переохлажденных осадков и туманами;
- распространение теплого воздуха, имеющего влажность близкую к 100% над поверхностью, имеющей отрицательную температуру после устойчивых морозов;
- резкие похолодания после оттепелей при наличии на поверхности покрытия влаги.
- ясные, тихие ночи при большой влажности воздуха.

Перечисленные виды скользкости, в зависимости от физических процессов и условий погоды, способствующих их образованию, можно разделить на 3 группы.

**1 группа.** Гололед, зернистая изморозь. Образование этих видов обледенения связано с выпадением на земную поверхность, имеющую отрицательную температуру, капель переохлажденных дождя, мороси или тумана. Явления наблюдаются в пасмурную, ветреную и сырую погоду при смене воздушных масс, когда холодный воздух вытесняется более теплым, или в теплых однородных воздушных массах при их радиационном выхолаживании в ночные часы.

Гололед. В зависимости от плотности гололедные отложения представляют собой прозрачное или матовое отложение льда, образующееся при намерзании на поверхности капель переохлажденного дождя или мороси. Гололедообразование начинается чаще всего при температуре воздуха от 0 до  $-6^{\circ}$ , реже при более сильных морозах (до  $-10...-12^{\circ}$ ). При резких потеплениях, происходящих после устойчивых морозов (не ниже  $-5^{\circ}$ ), гололед может наблюдаться и при небольших положительных температурах (от 0 до  $+0,5^{\circ}$ ). В этом случае жидкие, не переохлажденные осадки выпадают на поверхность, еще сохраняющую отрицательную температуру.

При выпадении мелких капель воды, которые до замерзания не успевают равномерно растекаться по поверхности, образуется матовый гололед с плотностью  $0,5 - 0,7 \text{ г/см}^3$ . При выпадении крупных капель вода до замерзания успевает более равномерно распределяться по поверхности и образующийся при этом лед становится прозрачным и плотным ( $0,8 - 0,9 \text{ г/см}^3$ ).

Раньше всего гололед появляется и бывает наиболее опасным на наветренных сторонах возвышенностей, вершинах холмов, высота которых над уровнем моря превышает 50 м, вблизи водоемов. Вблизи водоемов при штормовом ветре, дующем с воды на сушу, наблюдается, кроме того, так называемый, «брызговый лед».

Зернистая изморозь отличается от гололеда снежно-белым цветом и меньшей плотностью (0,1-0,4 г/см<sup>3</sup>). Наблюдается при более низких температурах, чем гололед (от -1...-5° до -12...-16°). Образование ее связано с замерзанием на сухой поверхности осаждающихся мелких капель переохлажденного адвективного тумана без их предварительного растекания. За счет того, что замерзающие капли имеют вид бисеринок или мелких зерен, отложение льда имеет шероховатую поверхность. По структуре зернистая изморозь занимает промежуточное положение между гололедом и кристаллической изморозью. Если капли тумана крупные, зернистая изморозь похожа на гололед: ее плотность около 0,4 г/см<sup>3</sup>, осадок имеет матовый цвет и стекловидную форму, а отличается тем, что при изломе крошится. При меньшей плотности отложения напоминают кристаллическую изморозь.

Синоптические условия, благоприятные для образования только зернистой изморози, встречаются очень редко: при аналогичных условиях могут наблюдаться также гололед, твердый налет, кристаллическая изморозь. Эта неоднозначность представляет основную трудность при определении случаев образования данных явлений по косвенным признакам.

**2 группа.** Гололедица (Замерзшая вода, замерзшая роса). Данные виды обледенения называются гололедицей и образуются в результате замерзания воды или растворов, имеющих на покрытии дороги при понижении температуры воздуха ниже 0°. На покрытии автодорог, гололедица чаще всего образуется при температуре воздуха -2...-6°.

Замерзшая вода. Образуется в результате замерзания дождевой или талой воды, покрывающей поверхность. Наблюдается при резких похолоданиях после оттепелей.

Замерзшая роса - прозрачный ледяной налет. Этот вид обледенения подходит под определение, существующее у специалистов дорожной службы «черный лед». Наблюдается осенью и весной. Его образованию предшествует выпадение капель росы на поверхности дороги, имеющей положительную температуру (подробнее ниже в 4 группе). Капли росы, сливаясь, образуют тонкую пленку воды, замерзание которой происходит позже, обычно под утро, когда за счет радиационного охлаждения температура дорожного покрытия понижается ниже 0°. Этот вид обледенения похож на «черный лед» (тонкий,

ледяной налет), имеющий похожую структуру, но образующийся при других условиях (3 группа).

**3 группа.** Иней, кристаллическая изморозь, твердый налет.

Эти виды скользкости, возникают на сухой поверхности дороги за счет сублимации водяного пара на поверхностях, имеющих отрицательную температуру. Необходимым условием для начала сублимации является значительная разность между температурой поверхности и температурой воздуха, которая может возникнуть при резком потеплении, резком похолодании или при значительном радиационном выхолаживании приземного слоя воздуха.

Иней (твердая роса). Представляет собой белый кристаллический налет, как бы «прилипший» к поверхности. Наблюдается при устойчивой погоде и высокой абсолютной влажности воздуха в ясные и тихие ночи. Для дорожных служб иней наиболее опасен весной и осенью, когда с вечера наблюдаются положительные температуры, а к утру – заморозки. Зимой иней образуется при тех же условиях, что и кристаллическая изморозь.

Ночью, по мере остывания подстилающей поверхности, температура приземного слоя воздуха постепенно понижается, а влажность увеличивается. Когда наступает состояние насыщения, начинается процесс конденсации водяного пара. При этом он может происходить как в воздухе (образование тумана), так и на земной поверхности. Если температура поверхности положительная, на ней образуется роса, если отрицательная – иней. При этом для выпадения инея условия более благоприятны, чем для выпадения росы, т.к. сублимация водяного пара может начаться, когда относительная влажность вблизи земной еще существенно меньше 100%.

Кристаллическая изморозь. Представляет собой пушистый, белый, снегообразный осадок, состоящий из кристаллов льда нежной тонкой структуры. Наблюдается зимой в тихую, малооблачную и морозную погоду при высокой влажности воздуха. Чаще она появляется при температурах от  $-10^{\circ}$  до  $-30^{\circ}$ , но может наблюдаться как при более слабых ( $-2^{\circ}$ ... $-10^{\circ}$ ), так и при более сильных ( $-30^{\circ}$ ... $-40^{\circ}$ ) морозах. При умеренных морозах (до  $-15^{\circ}$ ) кристаллическая изморозь образуется, в основном, при процессах кристаллизации мелких капель радиационного тумана или дымки на поверхностях, имеющих значительно более низкую, чем воздух, температуру. При более сильных морозах она образуется за счет сублимации водяного пара и потому предшествует появлению тумана или дымки, которые образуются при более высокой влажности воздуха.

Замерзшие частички водяного пара в виде разнообразной формы игл и кристалликов льда осаждаются на поверхности дороги легким пушистым слоем, который при низких температурах легко сдувается ветром.

Твердый налет: ледяной налет («черный» лед), зернистый налет. Это разновидность изморози. Представляет собой прозрачный или белый ледяной налет, образующийся при смене погоды, когда наступает резкое ослабление мороза или оттепель. Теплый воздух, соприкасаясь с дорожным покрытием, имеющим отрицательную, значительно более низкую температуру, охлаждается, а его относительная влажность увеличивается. Когда влажность воздуха достигает определенных значений, на поверхности начинается процесс сублимации: водяной пар при соприкосновении с холодной поверхностью превращается в тонкий слой льда. Если адвекция (перенос) теплого воздуха сопровождается туманом или густой дымкой, наблюдается усиление твердого налета за счет образующейся на его поверхности зернистой изморози. Получающееся в результате отложение является сложным, имеет белый цвет и называется зернистым налетом. В таблицах 4.7, 4.8 и 4.9 для примера приведены данные о числе дней с различными видами скользкости на станции Рудня при различной температуре воздуха.

**Таблица 4.7**

Месяц	Температура в-ха град.С	Среднее число дней с возможным образованием скользкости на покрытии автодороги							
		Стекловидный лед					Снеговидный осадок		Все виды скользкости
		Гололедица	Твердый налет гололед	Изморозь зернистая	"Черный" лед	Всего	Изморозь кристалля	Всего	
Ноябрь	от 0 до -6	0,6	1,4			2			2
	от -6 до -10			0,3		0,3			0,3
	от -10 до -18								
	ниже -18								
Декабрь	от 0 до -6	0,1				0,1			0,1
	от -6 до -10		0,2	0,1		0,3			0,3
	от -10 до -18						0,1	0,1	0,1
	ниже -18								
Январь	от 0 до -6	0,8	1,2	0,4		2,4			2,4
	от -6 до -10		0,4	0,1		0,5			0,5
	от -10 до -18						0,3	0,3	0,3
	ниже -18								
Февраль	от 0 до -6	0,7	0,9	0,6		2,2			2,2
	от -6 до -10		0,4	0,5		0,9			0,9
	от -10 до -18						0,3	0,3	0,3
	ниже -18						0,1	0,1	0,1
Март	от 0 до -6	0,6	0,5	0,6		1,7			1,7
	от -6 до -10		0,3	0,6		0,9			0,9
	от -10 до -18						0,2	0,2	0,2
	ниже -18								
Σ за сезон		2,8	5,3	3,2		11,3	1,2	1,2	12,5

**Таблица 4.8**

Станция	Среднее за сезон число дней с образованием скользкости на покрытии автодороги при отсутствии снегоотложений						
	Стекловидный лед				Снеговидный осадок		Все виды скользкости
	Гололедица	Твердый налет гололед	Изморозь зернистая	Всего	Изморозь кристалля	Всего	
Москва	3,6	8,3	0,8	12,7	0,1	0,1	12,8
Можайск	3,4	5,6	0,6	9,6	0,8	0,8	10,4
Вязьма	3	14,1	11,7	28,8	4,3	4,3	33,1
Сафоново	3	2,7	4,6	10,3	0,7	0,7	11
Смоленск	2,7	7	2,7	12,4	1,3	1,3	13,7
Гагарин	3,8	7,4	2,3	13,5	0,9	0,9	14,4
Шокино	2,9	4	4,2	11,1	0,9	0,9	12
Рудня	2,8	5,3	3,2	11,3	1,2	1,2	12,5

**Таблица 4.9**

Станция	Среднемесячное и среднесезонное число дней с твердыми осадками (снегом и мокрым снегом)						
		Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Холодный сезон
Можайск	Менее 0,1мм	3	4	5	3	3	18
	≥ 0,1 мм	7	14	16	14	10	61
Вязьма	Менее 0,1мм	2	3	4	3	3	14
	≥ 0,1 мм	7	14	15	12	9	58
Сафоново	Менее 0,1мм	2	3	3	2	2	11
	≥ 0,1 мм	7	14	17	13	9	60
Смоленск	Менее 0,1мм	1	3	4	2	3	13
	≥ 0,1 мм	7	14	16	15	10	61
Гагарин	Менее 0,1мм	3	4	5	3	3	18
	≥ 0,1 мм	7	14	16	14	10	61
Шокино	Менее 0,1мм	2	3	3	2	3	12
	≥ 0,1 мм	7	14	17	13	9	60
Рудня	Менее 0,1мм	1	3	4	1	2	12

### Заключение

Приведенные в работе характеристики различных видов скользкости рассчитаны впервые. Перечень их следует рассматривать как необходимый для разработки общей стратегии зимнего содержания автомобильных дорог в различных климатических условиях и определения порядка действий и норм внесения противогололедных материалов в конкретных ситуациях.

Кроме метеорологических факторов, состояние дороги зависит от свойств «дорожной одежды», рельефа местности, близости водоемов, расположения трассы по отношению к преобладающему направлению ветра и т. п. Вследствие этого разные участки дороги подвержены обледенению и снежным заносам в разной степени и водитель не всегда может быстро перестроиться на новый режим движения.

В странах с развитой автомобилизацией благодаря переходу на современную систему метеорологического обеспечения появилась возможность предотвращения образования скользкости. Этому способствует развитие автоматических дорожных метеостанций (АДМС), которые обеспечивают дорожные службы текущей информацией не только о погодных условиях (температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении, направлении и скорости ветра), но и о состоянии дорожного покрытия. При наличии на АДМС соответствующего программного обеспечения, дополнительно рассчитывается тенденция изменения этих характеристик на ближайшие часы. Однако в настоящее время таких станций в наших странах мало, периоды наблюдений недостаточны для корректных обобщений и расчета средних многолетних характеристик, поэтому службы по содержанию автомобильных дорог должны пользоваться информацией, получаемой с метеорологических станций.

#### **Список использованных источников.**

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР (НПС). Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып.3, ч.1. Л.: Гидрометеиздат. 1985. – 299 с.
3. *Псаломщикова Л.М.* Дорожная служба погоды при Ленинградском областном центре по гидрометеорологии. Метеоспектр.–2003. N1. М.: Метеоагентство Росгидромета.
4. *Псаломщикова Л.М.* Специализированное гидрометеобеспечение Дорожных служб Санкт-Петербурга и Ленинградской области в ЛЦГМС. Материалы секции "Совершенствование стратегии зимнего содержания автомобильных дорог на основе использования специализированной метеорологической информации". VI Московская международная выставка "Доркомэкспо. Дорожно-мостовое хозяйство-2004". Ассоциация «Радор». М: ТИМР. 2004. 175 с.
5. *Самодурова Т.В.* Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. Ассоциация «Радор». М: ТИМР. 2003. -181 с.
6. Справочник по климату СССР. Выпуск 3. Л.: Гидрометеиздат.1968.
7. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Отраслевой дорожный методический документ. М.: ГП «Информавтодор». 2003.
8. *Псаломщикова Л.М., Стадник В.В., Салль И.А., Трофимова О.В.* Использование метеорологической информации в целях содержания автомобильных дорог в зимний период. Труды ГГО им. А.И. Воейкова, вып.557. СПб: 2008. 85-101.