

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

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

Е.Л.Махоткина

Санкт-Петербург 2007

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

### 1. Проект 3.1

Научный руководитель,

зав. отделом, д.ф.-м.н.

Ответственный исполнитель,

зав. сектором, д.ф.-м.н.

Исполнители:

снс, к.ф.-м.н.

снс, к.г.н.

снс, к. ф.-м.н.

н.с.

н.с.

м.н.с.

Г. В. Груза

Э. Я. Ранькова

М. Ю. Бардин

Э. В. Рочева

Р. Н. Хвостова

Т. В. Платова

Ю. Ю. Соколов

О. Ф. Самохина

### 2. Проект 3.2

Ответственный исполнитель,

зав. лабораторией, к.ф.-м.н.

Исполнители:

Директор ГУ «ГГО», д.ф.-м. н.

Руководитель отдела, д.ф.-м. н.

н.с.

В.н.с., к.ф.-м.н.

И.М.Школьник (Введение, разделы 1-3, заключение)

В.М.Катцов (Разделы 1-3)

В.П.Мелешко (Разделы 1-3, заключение)

В.А.Говоркова (Раздел 1)

Б.Е.Шнееров (Введение, раздел 1)

### 3. Проект 3.3

Ответственный исполнитель

гл.н.с., д.г.н., проф.

Исполнители:

В.н.с., д.г.н.

В.н.с. д.г.н.

В.н.с. к.г.н.

В.н.с., к.г.н.

Н.В. Кобышева (Общее руководство, кританализ полученных результатов)

Г. Б. Пигольцина (Сельское хозяйство)

М. М. Борисенко (Ветроэнергетика)

В. В. Стадник (Гелиоэнергетика)

Е.М. Акентьева (Атомная, тепловая, гидроэнергетика)

М.В. Ключева (Температурные нагрузки)

Ю.А. Семенов (Ветровые, снеговые, гололедные нагрузки)

В.н.с., к.г.н.

С.н.с., к.г.н.

### 4. Проект 3.4

Ответственный исполнитель:

Зав. ОПК в.н.с., к.г.н

Исполнители:

в.н.с, д.г.н.,

в.н.с., к. ф.-м.н.

с.н.с., к.г.н.

с.н.с.

н.с.

н.с.

н.с

м.н.с.

м.н.с.

В.В.Стадник

М.М.Борисенко

Е.И.Хлебникова

И.Н.Шанина

Л.М. Псаломщикова

И.А. Салль

Е.О.Гобарова

Е.Л Жильцова

О.В.Трофимова

Л.В.Штабова

## РЕФЕРАТ

Отчет 106 стр, 32 рис., 50 табл., 64 источника

### МОНИТОРИНГ КЛИМАТА, МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА, РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ВЕТРОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ

Настоящий отчет содержит результаты работ, полученные при выполнении в 2007 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 за 2006-2007 гг., в том числе: годовой бюллетень "Изменения климата - 2006" и сезонные бюллетени за зиму 2006-2007 гг., весна 2007 и лето 2007.

По проекту 3.2 сформирован специализированный архив данных о характеристиках глобального климата и его ожидаемых изменениях к концу 21 века. Выполнен анализ особенностей распределения климатических характеристик на территории крупных регионов России и Беларуси. Рассмотрены вопросы моделирования современного климата России и Беларуси с помощью региональных климатических моделей.

В проекте 3.3 получены специализированные климатологические характеристики для оценки последствий изменения климата для сельского хозяйства и энергетического сектора экономики республики Беларусь. Приведены оценки последствий изменения климата для сельского хозяйства и энергетики, а также рассмотрены возможные пути адаптации в указанных отраслях экономики в условиях меняющегося климата.

В проекте 3.4 определен состав климатической информации, необходимый для обоснования схем размещения и проектирования солнечных и ветровых установок, приведены специализированные климатические характеристики для оценки гелиоэнергетического и ветрового потенциала территории. Рассмотрены принципы районирования территории по обеспеченности гелиоресурсами.

## 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.....	.....
1.1. Базовая сеть станций регулярного мониторинга климата на территории России и Республики Беларусь.....	.....
1.2. Обзор климатических аномалий на территории Республики Беларусь в 2006 г. ....	.....
1.3. Климатические аномалии 2007 года (материалы сезонных бюллетеней мониторинга климата Беларуси).....	.....
Заключение.....	.....

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

Введение.....	.....
2.1. Подготовка архива данных о характеристиках текущего климата .....	.....
2.2. Оценка качества расчетов современного климата, выполненных с помощью супер ансамбля современных климатических моделей .....	.....
2.3. Анализ современного климата России и Беларуси по данным расчетов помощью современных климатических моделей.....	.....
2.3.1. Радиация и облачность.....	.....
2.3.2. Температурный режим.....	.....
2.3.3. Циркуляционный режим атмосферы.....	.....
2.3.4. Осадки.....	.....
2.3.5 Речной сток.....	.....
2.3.6 Снежный покров .....	.....
2.4. Региональные климатические модели.....	.....
Заключение.....	.....
Список использованных источников .....	.....

### **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.....	.....
3.1. Специализированные характеристики для оценки последствий изменения климата для энергетики и сельского хозяйства.....	.....
3.1.1 Специализированные характеристики для оценки последствий изменения климата для энергетики.....	.....
1.1.1. Атомная и тепловая энергетика.....	.....
1.1.2. Передача энергии на ЛЭП.....	.....
1.1.3. Возобновляемые источники энергии.....	.....
3.1.2. Специализированные характеристики для оценки последствий изменения климата для сельского хозяйства.....	.....
3.2. Оценка последствий изменения климата для энергетики.....	.....
3.2.1. Влияние изменения климата на безопасность работы АЭС и ТЭС.....	.....
3.2.2. Влияние изменения климата на состояние ЛЭП.....	.....
3.2.3. Влияние изменения климата на эффективность возобновляемых источников энергии.....	.....
3.3 Оценка последствий изменения климата для сельского хозяйства.....	.....
Заключение.....	.....
Список использованных источников.....	.....
<b>4. Проект 3.4. Совершенствование и развитие единых (унифицированных) форм и технологий представления климатических режимно-справочных пособий и иной продукции в интересах различных отраслей экономики (сельское, водное, жилищно- коммунальное хозяйство, строительство, транспорт, энергетика и т.д.)</b>	
Введение.....	.....
<b>4.1. Разработка унифицированных форм представления специализированной климатической информации в научно-справочных пособиях (НСП) по гелиоэнергетике .....</b>	.....
4.1.1. Солнце как источник энергии .....	.....
4.1.2. Термины, определения и сокращения .....	.....
4.1.3. Состав климатической информации для обоснования схем размещения и проектирования СЭУ.....	.....
4.1.4. Исходный материал и источники исходных данных.....	.....
4.1.5. Методические основы определения солнечных энергетических ресурсов.....	.....
4.1.6. Общая характеристика солнечного энергетического потенциала территории (природные гелиоресурсы).....	.....
4.1.7. Оценка гелиоресурсов, принципиально доступных для технического использования	

(суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности).....	
4.1.8. Технически реализуемые гелиоресурсы.....	
4.1.9. Районирование территории по обеспеченности солнечными энергетическими ресурсами.....	
Список использованных источников.....	
<b>4.2. Разработка унифицированных форм представления специализированной климатической информации в научно-справочных пособиях (НСП) по ветроэнергетике .....</b>	
4.2.1. Современное состояние ветроэнергетики в различных странах. ....	
4.2.2. Состав климатической информации для обоснования схем размещения и использования ВЭУ и ВЭС. ....	
4.2.3. Оценки природно-климатического и технического потенциалов энергии ветра.....	
Список использованных источников.....	

## **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**

Настоящий отчет включает результаты работ, выполненных в 2007 году в ИГКЭ по проекту 3.1. «Оценка наблюдаемых тенденций изменения климата на региональном уровне и выпуск информационных бюллетеней о его состоянии и изменениях на территории Союзного государства» Программы Союзного государства "Совершенствование и развитие единой технологии получения, сбора, анализа и прогноза, хранения и распространения гидрометеорологической информации и данных о загрязнении природной среды".

Основные задачи этапа – уточнить базовую сеть регулярного мониторинга климата на территории Союзного государства; продлить информационные массивы данными станционных наблюдений за 2006-2007 годы; на их основе подготовить бюллетени о состоянии климата в 2006-2007 гг. на территории России и Республики Беларусь (годовой бюллетень за 2006 год, сезонные бюллетени за зиму – весну - лето 2007 г.) и получить обновленные региональные оценки текущих тенденций изменения климата.

Результаты работы (бюллетени климатического мониторинга) размещены на сайте ИГКЭ «Изменения климата России». В отчете представлены основные материалы мониторинга климата на территории Республики Беларусь (2006-2007 гг.).

## **1.1. Базовая сеть станций регулярного мониторинга климата на территории России и Республики Беларусь**

Технология осуществления регионального мониторинга климата на территории Союзного государства ориентирована на использование базы климатических данных (БДК), используемой в ИГКЭ для климатических исследований, в том числе - для мониторинга климата земного шара и территории России. В частности, в мониторинге климата используются из БДК массивы ежемесячных данных о температуре приземного воздуха и атмосферных осадках на 1383 станциях земного шара (455 из них расположены на территории бывшего СССР).

Следует отметить, что основная сеть наблюдений на территории России и стран СНГ и Балтии сложилась к 1936 году. Позже полнота данных существенно снизилась на Европейской территории страны в 1941-1944 гг. (на территории военных действий) и затем после 1992 года, когда в России, по ряду причин политического и экономического характера, существенно сократилось число станций, передающих телеграммы "КЛИМАТ". На сегодняшний день некоторые станции возобновили свою работу, но образовавшиеся в БДК за прошлое 10-летие пропуски наблюдений полностью восстановить пока не удалось.

В связи с этими обстоятельствами возникла необходимость уточнить реально доступную базовую сеть наблюдений для регулярного мониторинга климата на территории России и Республики Беларусь (и в смежных регионах). Каталог станций, используемых в мониторинге климата России приведен на сайте ИГКЭ (<http://climatechange.su>). Он содержит перечень 309 станций (из числа 455), расположенных на территории России и продолжающих функционировать в настоящее время.

На рисунке 1.1 представлен фрагмент карты, иллюстрирующий физико-географическое положение региона Республики Беларусь, ее сопредельные территории и сеть метеорологических станций, ежемесячно передающих сводки телеграмм «КЛИМАТ» и входящих в глобальную базовую сеть станций климатического мониторинга выполняемого в ИГКЭ. Данные об этих станциях приведены в таблице 1 (число станций равно 7). Можно видеть, что среди доступных (на сегодня) станций не представлена Гродненская область. Дополнительно, по-видимому, целесообразно использовать доступные станции соседних территорий, также представленные на рисунке 1.1.





Рисунок 1.1. Географическое положение Республики Беларусь.

Таблица 1.1.

**Список станций на территории 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 2006 году

*Температура воздуха.* Числовые значения аномалий температуры на станциях Беларуси, вычисленные за каждый месяц 2006 года, а также в среднем за сезоны и год (относительно базового периода 1961-1990 гг.) приведены в таблице 1.2.

Среднегодовая аномалия температуры воздуха, осредненная по территории Беларуси, в 2006 году (декабрь 2005-ноябрь 2006) оказалась равной  $+0.68^{\circ}\text{C}$ , то есть температура превысила годовую «норму», или среднюю за 1961-1990 гг., на  $0.68^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент линейного тренда изменений температуры за период 1976 – 2006 гг. составил  $+0.57^{\circ}\text{C}$  за 10 лет (или  $0.057^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). Доля объясненной трендом дисперсии ряда 25.0%, так что в последнем 30-летию потепление ответственно за весьма существенную долю общей изменчивости пространственно-осредненной температуры региона.

Таблица 1.2

Аномалии средней месячной /сезонной / годовой температуры приземного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на станциях Беларуси в 2006 г.

<i>Период (сезон/месяц)</i>	<i>Станции</i>						
	<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 2005-2006</i></b>	<b>-1,11</b>	<b>-1,12</b>	<b>-1,25</b>	<b>-1,62</b>	<b>-1,15</b>	<b>-0,79</b>	<b>-0,76</b>
декабрь 05	1,07	0,69	0,42	0,60	0,95	1,16	1,24
январь 06	-0,53	-1,48	-0,62	-3,65	-2,47	-1,05	-0,58
февраль 06	-3,86	-2,57	-3,56	-1,81	-1,92	-2,48	-2,94
<b><i>Весна 2006</i></b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,79</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,36</b>
март 06	-1,34	-1,72	-2,09	-2,22	-1,96	-1,84	-1,41
апрель 06	0,95	1,01	0,69	1,52	1,74	0,85	1,01
май 06	-0,37	-0,43	-0,96	0,21	0,04	-1,18	-0,69
<b><i>Лето 2006</i></b>	<b>1,74</b>	<b>1,71</b>	<b>1,13</b>	<b>2,17</b>	<b>1,89</b>	<b>0,92</b>	<b>1,44</b>
июнь 06	1,05	0,84	0,50	0,98	0,67	-0,14	0,86
июль 06	2,55	3,09	1,68	4,48	3,59	1,74	1,97
август 06	1,62	1,20	1,20	1,04	1,41	1,15	1,48
<b><i>Осень 2006</i></b>	<b>2,33</b>	<b>2,01</b>	<b>1,69</b>	<b>2,43</b>	<b>2,26</b>	<b>1,49</b>	<b>1,77</b>
сентябрь 06	2,63	1,97	1,65	2,62	2,24	1,44	2,14
октябрь 06	2,49	2,12	1,90	2,36	2,15	1,56	1,83
ноябрь 06	1,86	1,94	1,52	2,30	2,37	1,48	1,35
<b><i>Год: декабрь 2005 - ноябрь 2006</i></b>	<b>0,68</b>	<b>0,56</b>	<b>0,19</b>	<b>0,70</b>	<b>0,73</b>	<b>0,23</b>	<b>0,52</b>

На рисунке 1.2 показаны временные ряды регионально осредненных среднегодовых и средних сезонных аномалий температуры воздуха и осадков с 1936 года по настоящее время. Для всех рядов приведен линейный тренд за 1976-2006 гг., оцененный методом наименьших квадратов и характеризующий среднюю скорость изменения температуры в последнем 30-лети.

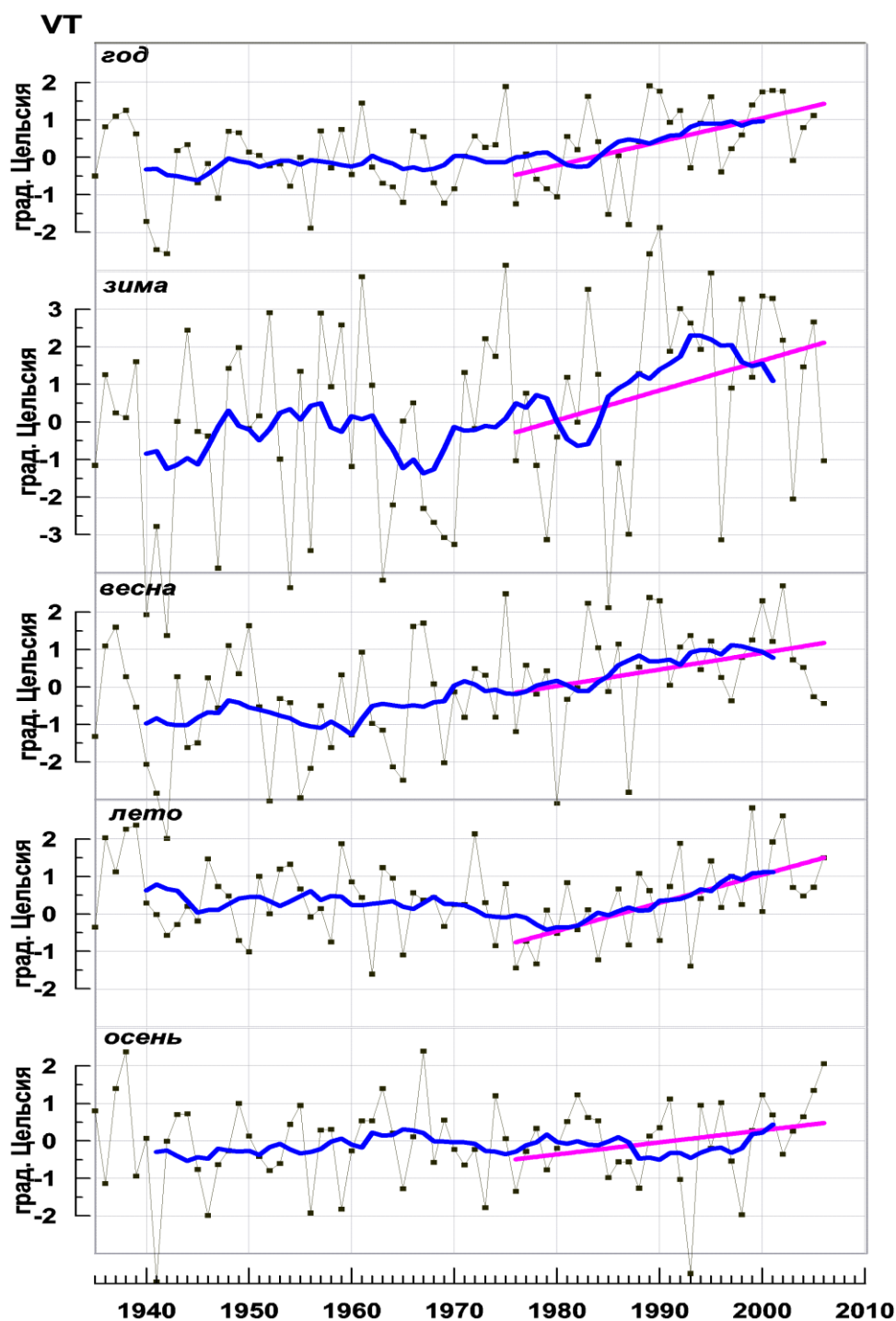


Рисунок 1.2. Средние годовые (декабрь – ноябрь) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха (С), осредненные по региону Республики Беларусь, 1936 – 2006 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от средней многолетней за 1961–1990 гг. Жирная кривая соответствует 11-летнему сглаживанию. Линейный тренд построен по данным за период 1976 – 2006 гг. методом наименьших квадратов.

Средняя скорость потепления (наклон линии тренда) в зимний и летний периоды – составляют, соответственно,  $+0.8\text{ }^{\circ}\text{C} / 10$  лет при вкладе в дисперсию 8.3% и  $+0.7\text{ }^{\circ}\text{C} / 10$  лет при вкладе в дисперсию 37.0%. Скорость потепления весной и осенью меньше: весной  $+0.4\text{ }^{\circ}\text{C} / 10$  лет при вкладе в дисперсию ~9%, осенью  $+0.32\text{ }^{\circ}\text{C} / 10$  лет при вкладе в дисперсию ~7%.

Как следует из таблицы, 2006 год на территории Беларуси, в целом, был теплым: среднегодовые температуры на станциях были выше нормы на  $0.2 - 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но зима и весна были холодными. Из сезонов самый теплый – осень (сентябрьские аномалии на отдельных станциях достигли « $+2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ »), а самый холодный – зима, (февральские аномалии на станциях достигали « $-3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ »).

На рисунке 1.3 показан ход температуры в течение года на станции Минск – как «типичной станции». Рисунок наглядно демонстрирует отрицательные аномалии температуры зимой и существенные положительные аномалии во второй половине года. Температура весенних месяцев была близка к норме.

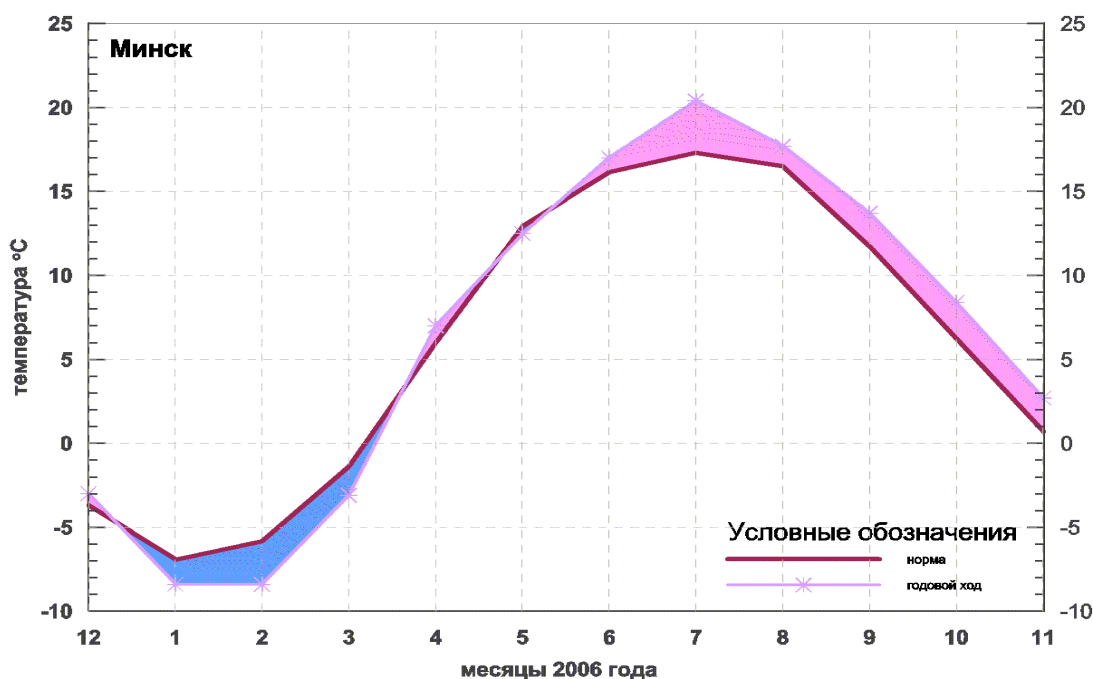


Рисунок 1.3. Температура воздуха на станции Минск в отдельные месяцы 2006 года.

Отмеченные особенности годового хода аномалий температуры на территории Беларуси четко прослеживаются также на рисунке 1.4, где представлено пространственное распределение аномалий температуры в годовом и сезонном осреднении. Как видно, средние годовые значения температуры на станциях Беларуси были значительно выше нормы, как и температура летом и осенью.

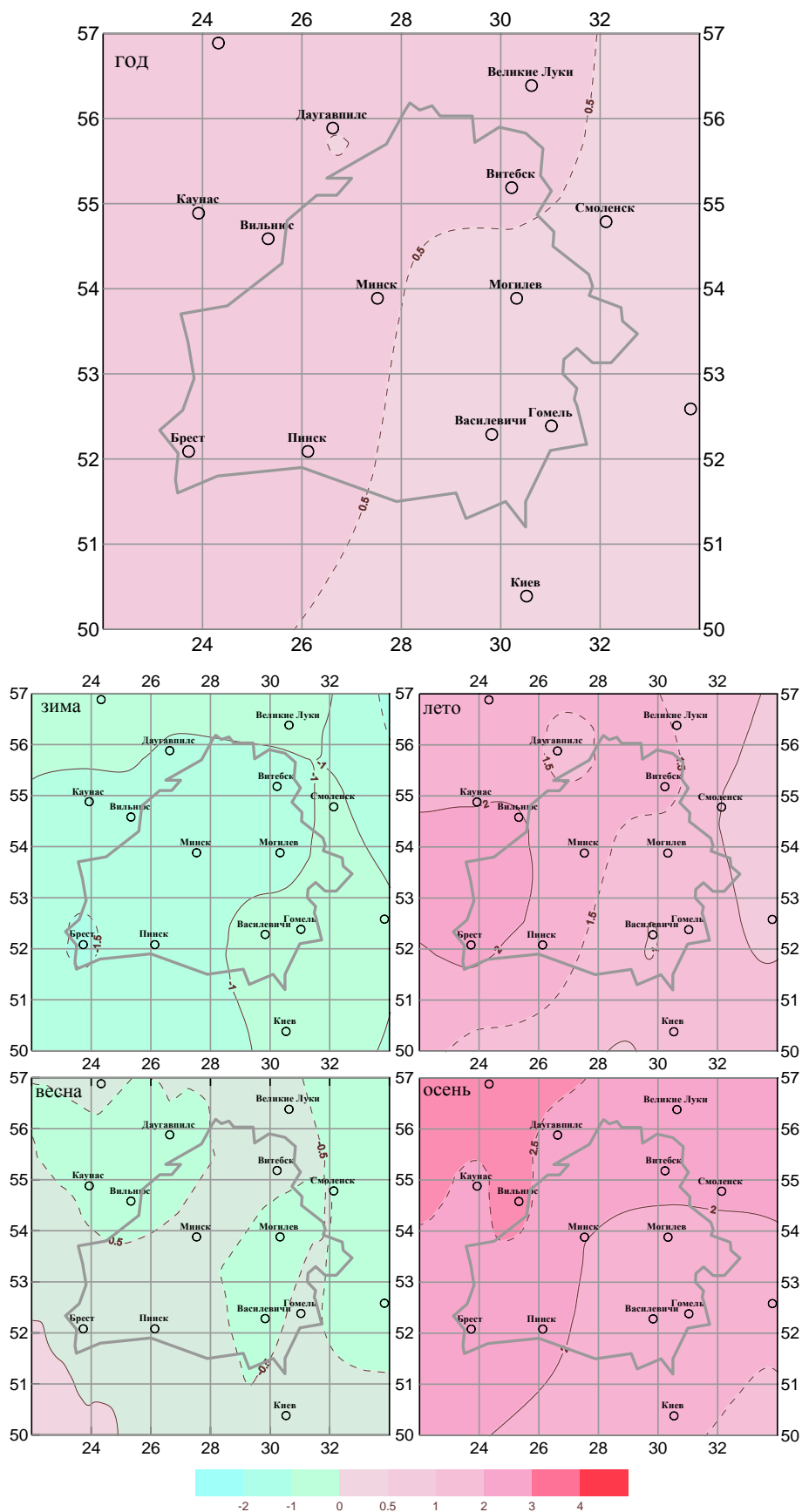


Рисунок 1.4. Средняя годовая (декабрь – ноябрь) и средние сезонные аномалии температуры приземного воздуха (отклонения от средней за 1961-1990 гг.) на территории Республики Беларусь.

*Атмосферные осадки.* В данном разделе приведены данные о количестве выпавших в 2006 году осадков и характере их распределения по территории Беларуси. Следует отметить, что осадки традиционно рассматриваются в терминах суммарного количества выпавших осадков за рассматриваемый календарный период (месяц-сезон-год). В данном случае за единицу измерения принята месячная сумма осадков (мм/месяц). В сезонном (годовом) осреднении – это средняя за сезон (год) месячная сумма осадков, выраженная также в мм/месяц.

Аномалии осадков рассматриваются ниже в абсолютной (отклонения от соответствующих норм, мм/месяц) и в относительной (в процентах от нормы, %) шкалах. Под нормой здесь понимается, как и в случае температуры, среднее многолетнее значение рассматриваемой величины (средняя за месяц – сезон – год месячная сумма осадков) за период 1961-1990 гг.

На рисунке 1.5 изображен ход осредненных по территории Беларуси среднегодовых аномалий месячных сумм осадков за период с 1936 года. На рисунке 1.6 приведены аналогичные временные ряды для средних сезонных аномалий.

В целом по Беларуси (в среднем по территории) количество выпавших осадков за 2006 год в целом оказалось на 3.2 мм/месяц выше нормы. Больше всего осадков выпало весной и летом, зимой и осенью наблюдался дефицит осадков.

Коэффициент линейного тренда осадков за период 1976 - 2006 гг. составил 1.0 мм/месяц/10 лет, а вклад тренда в суммарную дисперсию ряда составил всего 4%. Таким образом, обнаруженную тенденцию к росту осадков в Беларуси в последнем 30-летии следует считать несущественной.

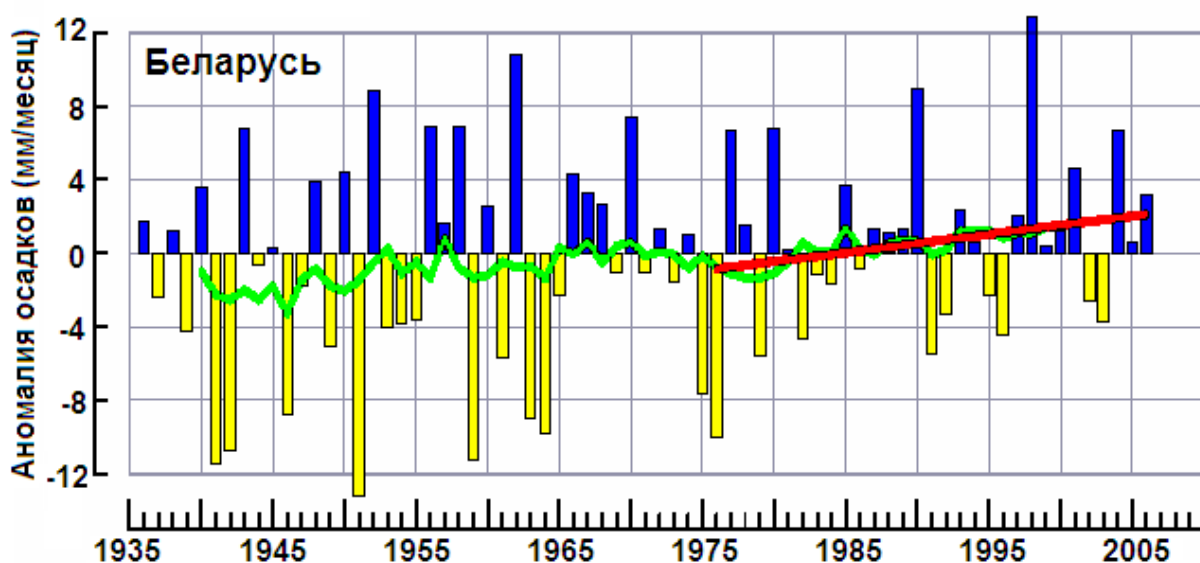


Рисунок 1.5. Среднегодовые аномалии (декабрь – ноябрь) месячных сумм осадков (мм) для республики Беларусь, 1936 – 2006 гг.

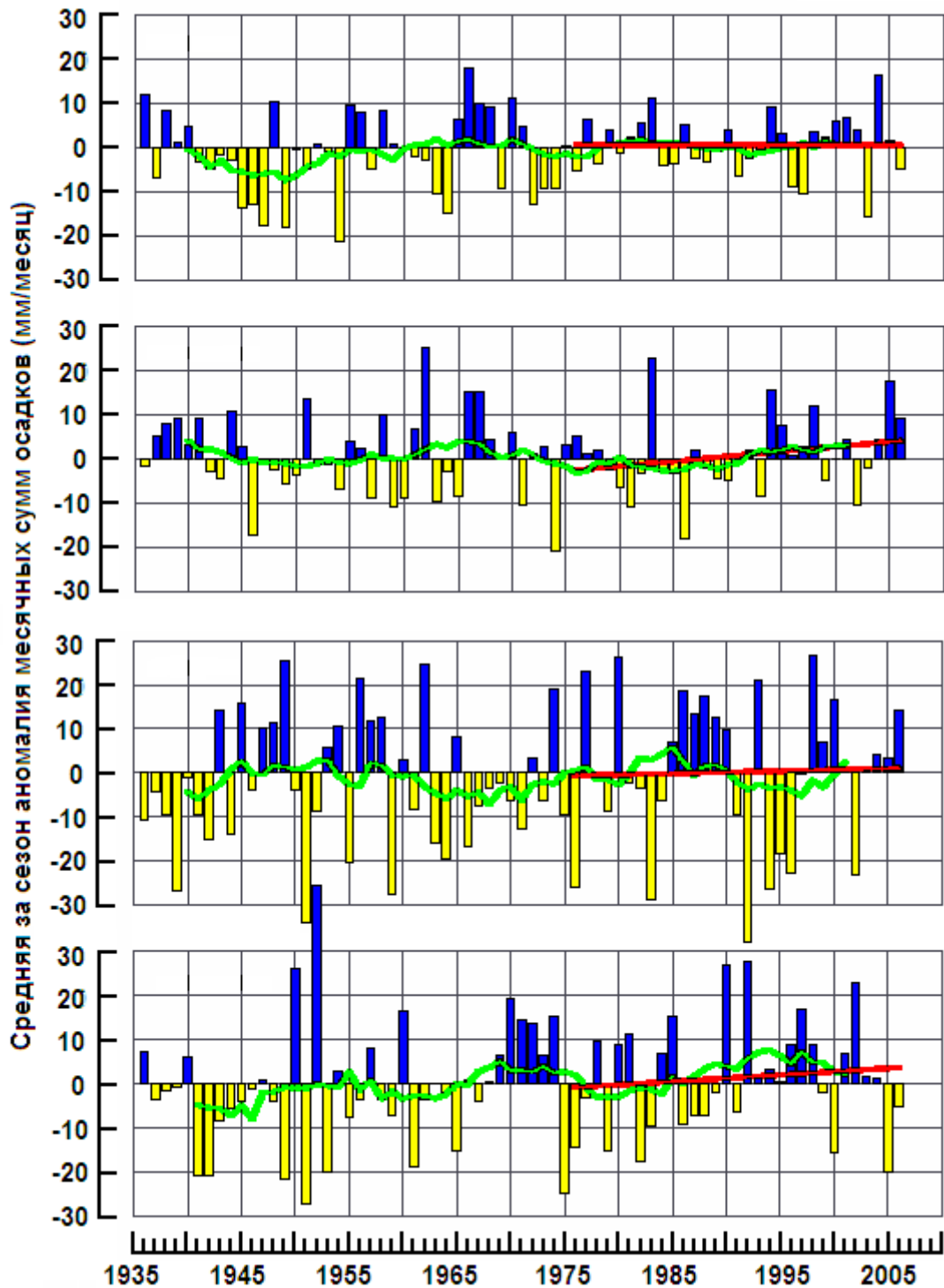


Рисунок 1.6. Средние сезонные аномалии месячных сумм осадков (мм) для республики Беларусь, 1936 – 2006 гг.

В таблице 1.3 представлены количественные данные об осадках, выпавших на станциях Беларуси в 2006 году: ежемесячно и в среднем, за каждый сезон и год. Верхняя полоса таблицы (а) содержит собственно количество выпавших осадков в мм/месяц, а нижняя (б) – величину аномалий осадков, рассчитанных как отклонения от соответствующих 30-летних станционных «норм».

Таблица 1.3.

## Количество осадков на станциях Беларуси в 2006 году

Период (месяц/сезон)	Станции						
	<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>
<i>а) Сумма осадков за период (мм)</i>							
<b><i>Зима 2005-2006</i></b>	<b>86</b>	<b>94</b>	<b>83</b>	<b>134</b>	<b>121</b>	<b>112</b>	<b>102</b>
Дек.05	53	57	46	79	73	63	41
Янв.06	8	8	13	10	11	16	15
Фев.06	25	29	24	45	37	33	46
<b><i>Весна 2006</i></b>	<b>180</b>	<b>148</b>	<b>159</b>	<b>133</b>	<b>132</b>	<b>199</b>	<b>195</b>
Мар.06	50	43	49	36	53	88	77
Апр.06	47	30	53	36	19	39	32
Май.06	83	75	57	61	60	72	86
<b><i>Лето 2006</i></b>	<b>395</b>	<b>390</b>	<b>279</b>	<b>353</b>	<b>400</b>	<b>262</b>	<b>351</b>
Июн.06	40	59	51	29	28	78	136
Июл.06	43	76	84	32	99	74	43
Авг.06	312	255	144	292	273	110	172
<b><i>Осень 2006</i></b>	<b>199</b>	<b>137</b>	<b>74</b>	<b>71</b>	<b>80</b>	<b>120</b>	<b>141</b>
Сен.06	81	51	21	13	24	57	45
Окт.06	60	51	31	21	26	43	69
Ноя.06	58	35	22	37	30	20	27
<b><i>Год: декабрь 2005 – ноябрь 2006</i></b>	<b>860</b>	<b>769</b>	<b>595</b>	<b>691</b>	<b>733</b>	<b>693</b>	<b>789</b>
<i>б) Аномалии осадков (мм/месяц)</i>							
<b><i>Зима 2005-2006</i></b>	<b>-10,9</b>	<b>-10,9</b>	<b>-8,3</b>	<b>6,7</b>	<b>6,2</b>	<b>-1,9</b>	<b>-1,8</b>
Дек.05	1,6	4,4	1,0	34,7	32,3	16,2	-3,4
Янв.06	-29,7	-32,	-22,4	-27,0	-22,9	-22,7	-20,8
Фев.06	-4,5	-5,1	-3,6	12,5	9,3	0,9	18,9
<b><i>Весна 2006</i></b>	<b>17,7</b>	<b>0,8</b>	<b>9,6</b>	<b>1,5</b>	<b>3,6</b>	<b>22,3</b>	<b>25,8</b>
Мар.06	11,0	1,2	14,4	5,4	23,4	54,3	44,6
Апр.06	8,2	-12,2	12,7	-3,3	-18,3	-6,2	-5,2
Май.06	33,8	13,4	1,8	2,5	5,7	18,7	38,0
<b><i>Лето 2006</i></b>	<b>50,0</b>	<b>48,9</b>	<b>16,5</b>	<b>41,7</b>	<b>60,8</b>	<b>6,8</b>	<b>41,8</b>
Июн.06	-38,4	-23,7	-29,6	-42,5	-51,2	-1,4	51,6
Июл.06	-50,5	-12,1	-0,8	-48,2	24,7	-14,7	-39,1
Авг.06	238,9	182,6	80,0	215,8	208,9	36,4	112,8
<b><i>Осень 2006</i></b>	<b>10,4</b>	<b>-7,5</b>	<b>-24,4</b>	<b>-20,6</b>	<b>-20,6</b>	<b>-6,2</b>	<b>2,1</b>
Сен.06	16,2	-9,2	-33,2	-38,2	-28,8	7,3	-2,9
Окт.06	11,9	4,1	-13,7	-13,8	-20,6	2,6	26,1
Ноя.06	3,1	-17,4	-26,1	-9,8	-12,4	-28,5	-16,9
<b><i>Год: декабрь 2005 – ноябрь 2006</i></b>	<b>16,8</b>	<b>7,9</b>	<b>-1,6</b>	<b>7,3</b>	<b>12,5</b>	<b>5,2</b>	<b>17,0</b>



Данные таблицы 1.3 дополнительно иллюстрируются рисунком 1.7, на котором представлены фрагменты полей аномалий годовых и сезонных сумм осадков, выраженных в процентах от «нормы» 1961-1990 гг.

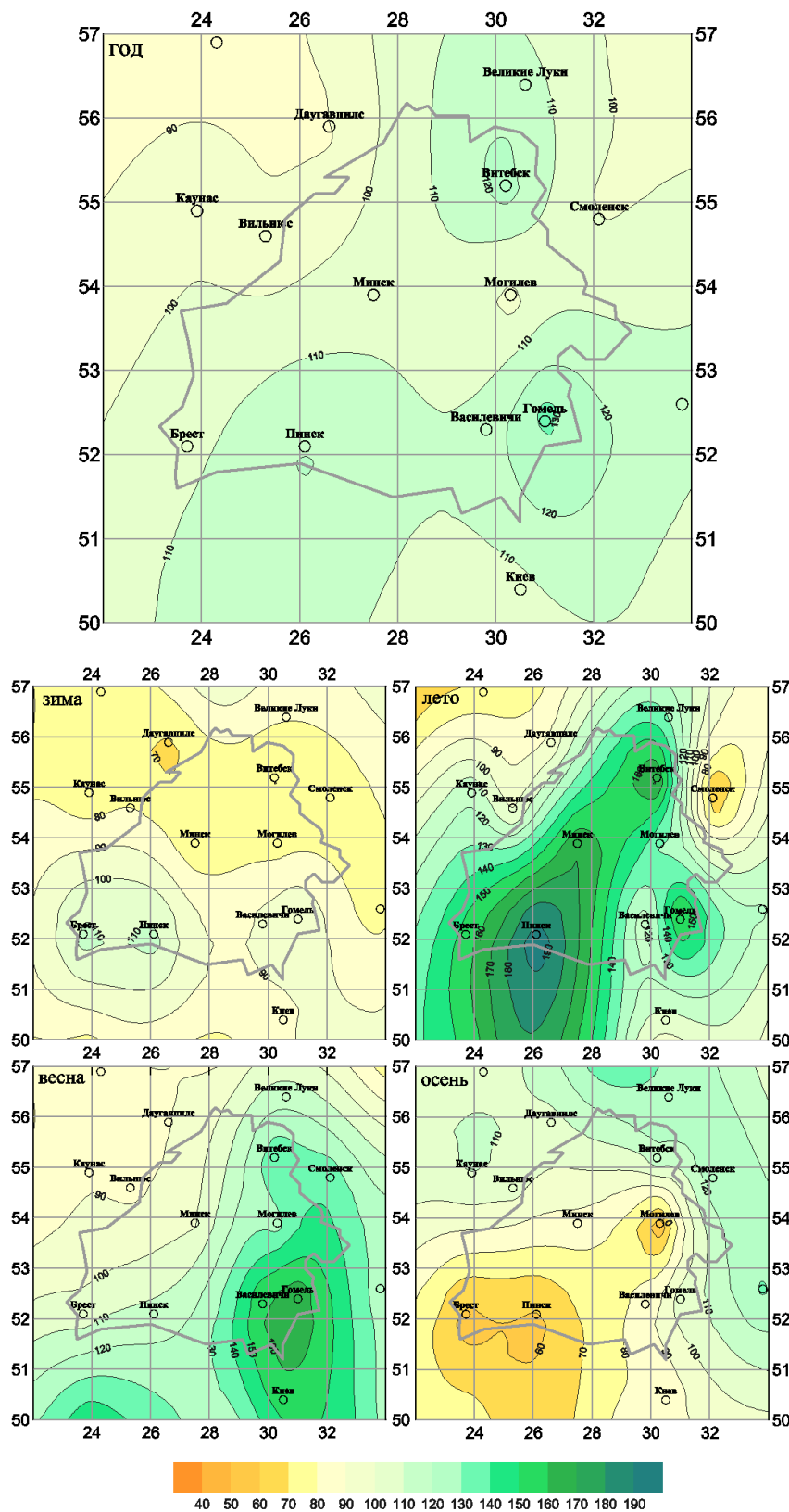


Рисунок 1.7. Аномалии годовых (декабрь 2005 – ноябрь 2006) и сезонных сумм осадков (в процентах от нормы) на территории республики Беларусь в 2006 году

В целом, количество выпавших за 2006 год на территории Беларуси осадков больше нормы. Зимой и осенью осадков выпало меньше нормы. Весной и летом осадков выпало больше нормы. Следует отметить август, когда на некоторых станциях Беларуси аномалии осадков достигали 80 – 300 мм/месяц (см. рисунок 1.8).

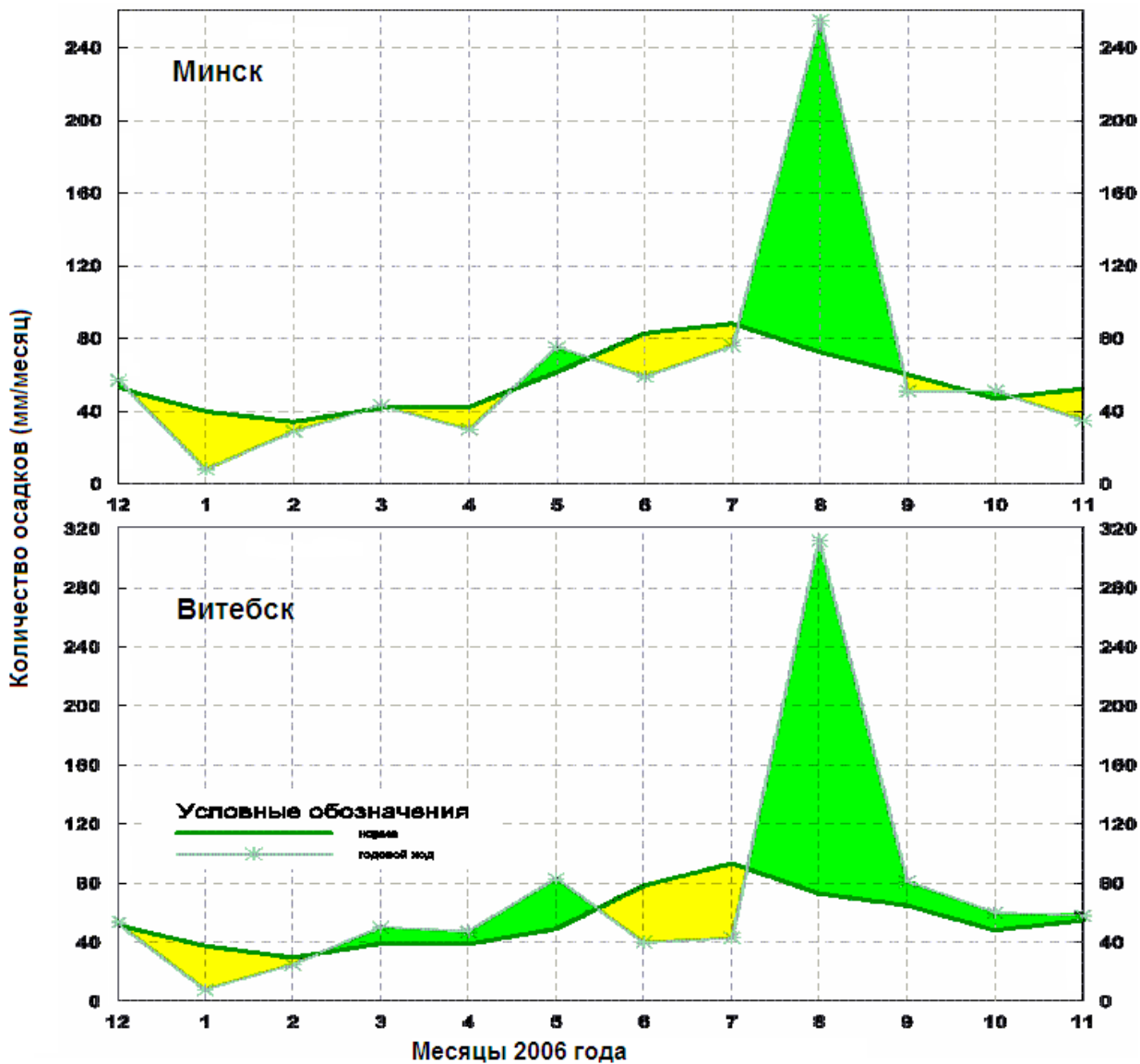


Рисунок 1.8. Осадки (мм / месяц) на станциях Минск и Витебск в 2006 году.

### 1.3. Климатические аномалии 2007 года

(материалы сезонных бюллетеней мониторинга климата Беларуси)

*Температура воздуха.* Числовые значения аномалии температуры на станциях Беларуси (относительно базового периода 1961-1990 гг.), вычисленные за каждый месяц 2007 года и осредненные за сезоны приведены в таблице 1.4. В таблице 1.5 дополнительно выделены пространственно осредненные значения сезонных аномалий (в целом по территории Республики Беларусь) и соответствующие им значения рангов в упорядоченном (по убыванию) временном ряду аномалий соответствующего сезона. Здесь же приведены значения рекордных аномалий и годы их осуществления.

Таблица 1.4.

**Аномалии средней месячной и сезонной температуры приземного воздуха (°С)  
на станциях Беларуси в 2007г.**

<i>Период (месяц-сезон)</i>	<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 2006-2007</i></b>	<b>3.7</b>	<b>3.9</b>	<b>3.5</b>	<b>4.1</b>	<b>4.3</b>	<b>4.0</b>	<b>4.0</b>
Дек.06	7.2	6.4	5.9	4.9	5.1	5.5	5.5
Янв.07	7.7	7.3	7.5	6.9	7.6	7.9	7.9
фев.07	-3.8	-2.1	-3.1	0.4	0.1	-1.5	-1.4
<b><i>Весна 2007</i></b>	<b>3.1</b>	<b>2.92</b>	<b>2.75</b>	<b>3.00</b>	<b>2.91</b>	<b>2.51</b>	<b>3.00</b>
мар.07	6.9	6.58	6.71	5.78	6.04	5.96	6.49
апр.07	0.7	0.51	0.09	1.32	0.44	-0.55	-0.19
май.07	1.8	1.67	1.44	1.91	2.24	2.12	2.71
<b><i>Лето 2007</i></b>	<b>2.0</b>	<b>2.08</b>	<b>1.40</b>	<b>1.90</b>	<b>2.25</b>	<b>1.62</b>	<b>2.20</b>
июн.07	2.3	2.54	1.60	2.58	2.57	1.66	2.36
июл.07	0.1	0.29	-0.32	1.28	1.59	0.64	1.07
Авг.07	3.7	3.40	2.90	1.84	2.61	2.55	3.18
<b><i>Осень 2007</i></b>	<b>0.6</b>	<b>0.2</b>	<b>-0.0</b>	<b>-0.2</b>	<b>-0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>
Сен.07	1.4	1.2	0.3	0.8	0.6	0.5	0.9
Окт.07	1.4	0.6	0.9	0.3	0.7	1.1	1.4
ноя.07	-0.9	-1.1	-1.3	-1.7	-1.4	-0.9	-1.1

Таблица 1.5.

**Пространственно осредненные сезонные аномалии температуры в 2007 году**

<b>Сезоны 2007 г.</b>	<b>Аномалия, °С (отн. 1961-1990)</b>	<b>Ранг</b>	<b>Рекордные значения аномалий</b>
<b>Зима</b>	+3,8	7	1990 (+5.2 °С)
<b>Весна</b>	+2,9	3	1921 (+3.4 °С)
<b>Лето</b>	+1,8	13	1999 (+2.8 °С)
<b>Осень</b>	+0,2	51	1934 (+2.6 °С)

Как следует из таблиц 1.4 и 1.5, 2007 год для республики Беларусь был очень теплым, особенно зима и весна, когда положительные аномалии температуры достигали



*Атмосферные осадки.* Данные о количестве выпавших в 2007 году осадков на территории Беларуси приведены в таблице 1.6. Как и в предыдущем разделе, данные приведены в терминах сумм осадков за месяц и сезон (в мм) и, кроме того, в терминах месячных аномалий осадков, осредненных за соответствующий период (мм/месяц).

Таблица 1.6

**Количество осадков на станциях Беларуси в 2007 году**

<i>Период (месяц-сезон)</i>	<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>
<i>а) Сумма осадков за месяц /сезон (мм)</i>							
<b><i>Зима 2006-2007</i></b>	<b>184</b>	<b>134</b>	<b>134</b>	<b>139</b>	<b>151</b>	<b>108</b>	<b>122</b>
дек.05	34	17	20	22	30	8	10
янв.06	91	68	64	76	75	61	68
фев.06	59	49	50	41	46	39	44
<b><i>Весна 2007</i></b>	<b>172</b>	<b>122</b>	<b>83</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>124</b>	<b>94</b>
мар.06	49	29	22	20	28	23	10
апр.06	29	21	18	20	26	27	23
май.06	94	72	43	79	50	74	61
<b><i>Лето 2007</i></b>	<b>198</b>	<b>185</b>	<b>215</b>	<b>254</b>	<b>346</b>	<b>242</b>	<b>210</b>
июн.06	34	49	84	69	64	44	53
июл.06	145	121	106	125	236	175	124
авг.06	19	15	25	60	46	23	33
<b><i>Осень 2007</i></b>	<b>237</b>	<b>131</b>	<b>175</b>	<b>82</b>	<b>62</b>	<b>178</b>	<b>182</b>
сен.06	36	15	37	35	14	70	56
окт.06	106	53	73	18	16	36	50
ноя.06	95	63	65	29	32	72	76
<i>б) Аномалия осадков (мм/месяц)</i>							
<b><i>Зима 2006-2007</i></b>	<b>21.8</b>	<b>2.5</b>	<b>8.7</b>	<b>8.4</b>	<b>16.2</b>	<b>-3.2</b>	<b>4.9</b>
дек.06	-17.4	-35.6	-25.0	-22.3	-10.7	-38.8	-34.4
янв.07	53.3	28.0	28.6	39.0	41.1	22.3	32.2
фев.07	29.5	14.9	22.4	8.5	18.3	6.9	16.9
<b><i>Весна 2007</i></b>	<b>15.0</b>	<b>-7.9</b>	<b>-15.7</b>	<b>-3.1</b>	<b>-5.7</b>	<b>-2.7</b>	<b>-7.9</b>
мар.07	10.0	-12.8	-12.6	-10.6	-1.6	-10.7	-22.4
апр.07	-9.8	-21.2	-22.3	-19.3	-11.3	-18.2	-14.2
май.07	44.8	10.4	-12.2	20.5	-4.3	20.7	13.0
<b><i>Лето 2007</i></b>	<b>-15.7</b>	<b>-19.4</b>	<b>-4.8</b>	<b>8.7</b>	<b>42.8</b>	<b>0.1</b>	<b>-5.2</b>
июн.07	-44.4	-33.7	3.4	-2.5	-15.2	-35.4	-31.4
июл.07	51.5	32.9	21.2	44.8	161.7	86.3	41.9
авг.07	-54.1	-57.4	-39.0	-16.2	-18.1	-50.6	-26.2
<b><i>Осень 2007</i></b>	<b>23.0</b>	<b>-9.5</b>	<b>9.3</b>	<b>-16.9</b>	<b>-26.6</b>	<b>13.1</b>	<b>15.8</b>
сен.07	-28.8	-45.2	-17.2	-16.2	-38.8	20.3	8.1
окт.07	57.9	6.1	28.3	-16.8	-30.6	-4.4	7.1
ноя.07	40.1	10.6	16.9	-17.8	-10.4	23.5	32.1

Бросается в глаза заметное различие режимов увлажнения внутри зимнего и летнего сезонов. В декабре на всех станциях наблюдался дефицит осадков, который компенсировался затем избыточными осадками января-февраля. Летом значительно

превысили норму осадки июля, что, по-видимому, благоприятно отразилось на общей ситуации и помешало развитию засушливых условий, связанных с дефицитом осадков в июне и августе. Данные таблицы 1.6 дополнительно иллюстрируются рисунком 1.10, на котором представлены поля аномалий годовых и сезонных сумм осадков, выраженных в процентах от «нормы» 1961-1990 гг.

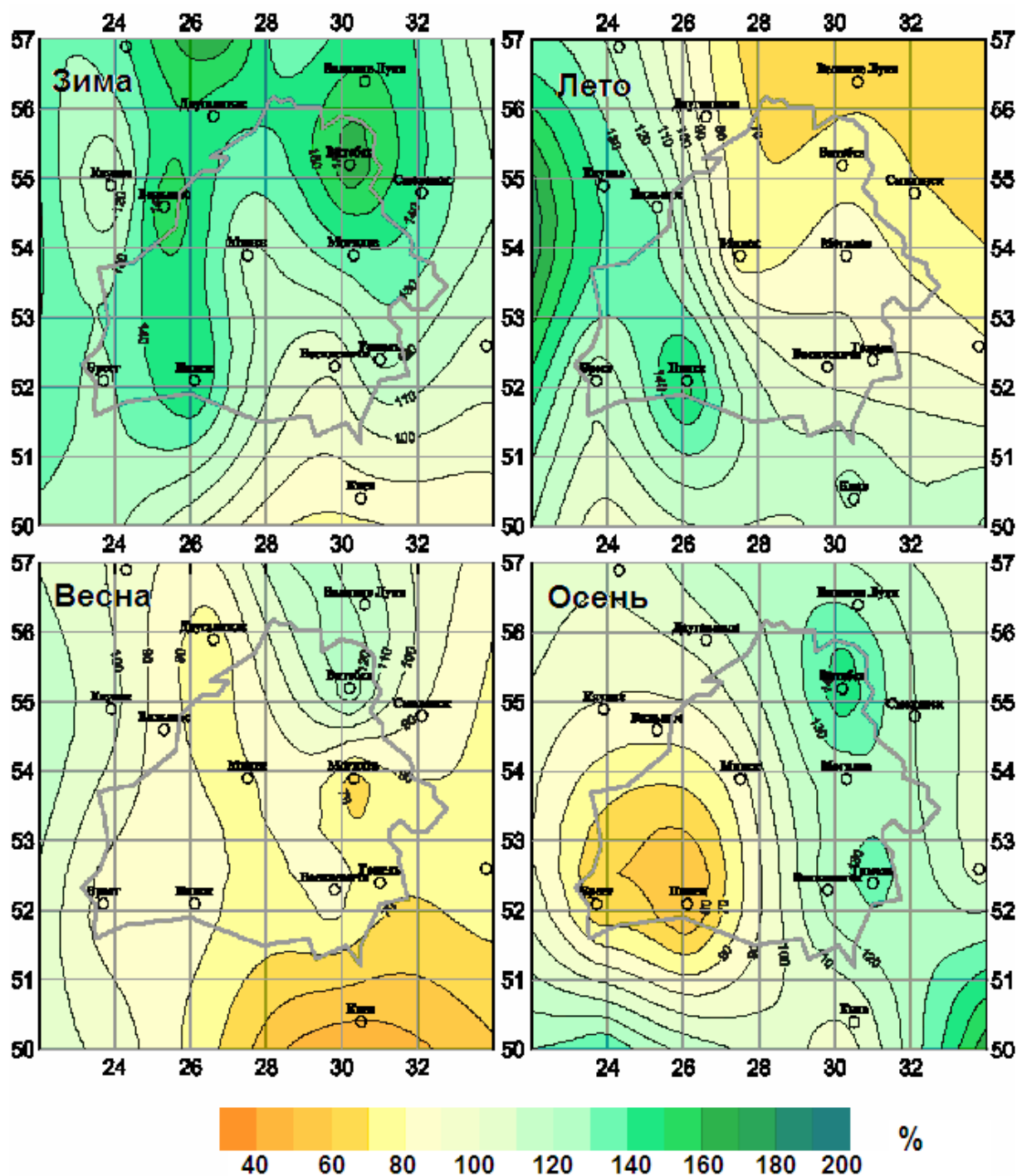


Рисунок 1.10. Аномалии сезонных сумм осадков (в процентах от нормы) на территории республики Беларусь в 2007 году

В целом, количество выпавших за 2007 год на территории Беларуси осадков около нормы. Лишь на северо-востоке республики количество выпавших осадков превысило годовую норму на 20% (так, в Витебске годовая аномалия составила +11.05 мм/месяц). Осадки в течение года выпадали неравномерно. Зимой – избыток осадков, особенно в январе. Летом в течение июня и августа дефицит осадков наблюдался на всех станциях республики. Дефицит осадков отмечался и осенью, особенно в западных областях Республики.

Более подробный анализ полученных данных об особенностях климатических условий в 2007 году будет представлен в годовом бюллетене, на следующем этапе выполнения проекта.

### **Заключение**

Бюллетени мониторинга климата по территории России за отчетный год (декабрь 2006 – ноябрь 2007) представлены на Интернет-сайте ИГКЭ «Изменение климата России» <http://www.climatechange.su>, на странице «Мониторинг климата». На этой же странице размещен каталог используемых станций.

Анализ климатических условий на территории Беларуси пока включен как раздел Российского бюллетеня. Предполагается на следующем этапе выполнения проекта расширить анализ региональных климатических условий Беларуси и выделить материалы по региону Беларуси в самостоятельный бюллетень (по согласованию с Белорусской стороной).

Предполагается также расширить состав используемых станций за счет подключения дополнительных станций с Белорусской территории (как минимум, станции Гродненской области), что возможно также при содействии Белорусской стороны.

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

### **Введение**

Исследование климата и его изменений с помощью глобальных физико-математических моделей получило в последние годы интенсивное развитие благодаря усилиям международного сообщества, направленным на предотвращение неблагоприятных последствий воздействия человеческой деятельности на природную среду.

В рамках подготовки Четвертого Оценочного Доклада МГЭИК (ОД4), опубликованного в 2007 году, был организован широкий международный проект по анализу расчетов климата с помощью объединенных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) нового поколения. Основу этого проекта, получившего название СМIP3, составили расчеты климата 20-го века в рамках проекта «Климат XX века» C20C при заданных в соответствии с наблюдениями концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также три сценарных расчета климата XXI века (для сценариев антропогенных выбросов – A2, A1B и B1, в соответствии с номенклатурой МГЭИК). Всего в проекте приняло участие более двух десятков МОЦАО, разработанных в известных исследовательских центрах мира. Многие центры предоставили результаты ансамблевых (от разных начальных условий) расчетов каждого типа. На основе этих данных в Ливерморской национальной лаборатории (США) был создан электронный архив [[http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about\\_ipcc.php](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php)], содержащий результаты модельных расчетов для большого числа климатических переменных.

Часть данных, извлеченных из этого архива, была использована для подготовки в ГГО специализированного архива данных о характеристиках текущего климата, использованных для изучения климата России и Беларуси (раздел 2.1 настоящего исследования).

Важное значение для определения достоверности результатов, полученных с помощью суперансамбля климатических моделей, имеет исследование качества расчетов современного климата по МОЦАО, результаты которого приведены в разделе 2.2.

На основе данных подготовленного в ГГО архива был выполнен анализ особенностей распределения климатических характеристик на территории крупных регионов России и Беларуси. Результаты этого исследования изложены в разделе 2.3.

В разделе 2.4 рассматриваются вопросы моделирования климата с помощью региональных моделей.



## 2.1 Подготовка архива данных о характеристиках текущего климата

Для анализа климата Союзного государства и его отдельных регионов были использованы собранные в электронный архив Ливерморской национальной лаборатории (США) данные расчетов климата 20 века с помощью МОЦАО нового поколения, использованных в рамках подготовки Четвертого Оценочного Доклада МГЭИК (ОД4).

Этот архив содержит огромное количество данных о пространственных распределениях характеристик атмосферы, океана, суши и морского льда, рассчитанных по более, чем двум десяткам МОЦАО из США, Японии, Великобритании, Германии, Японии, Канады, Франции, России и других стран ([http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about\\_ipcc.php](http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php)). Эти модели имеют разное пространственное разрешение, они отличаются по применяемым численным методам решения системы исходных уравнений модели и по полноте и степени сложности используемых методов параметризации физических процессов. Расчетный промежуток времени охватывает период от последней четверти 19-го до конца 21 века. Архив содержит данные более, чем 40 характеристик атмосферы и суши и более 20 характеристик океана за весь расчетный период с месячным осреднением, а также данные о некоторых метеорологических переменных с суточным и трехчасовым осреднением.

Этот обширный архив послужил основой для подготовки базы исходных данных, предназначенных для проведения данного исследования. В ГГО была выполнена большая работа по скачиванию файлов данных из указанного архива по каналам Интернет и их обработке с помощью специально составленных вычислительных программ.

В процессе обработки полученных данных выяснилось, что метеорологические поля, рассчитанные по некоторым моделям, содержат грубые ошибки, пропуски данных или замещение одних данных другими. Такие поля пришлось отбраковывать или применять специальные методы для пополнения недостающих данных. Применялся также метод сопоставления средних характеристик той или иной переменной, рассчитанной по разным моделям, с исключением явных выбросов.

Т.о. данные, представленные по каждой из моделей были подвергнуты всестороннему анализу, позволившему исключить те модели и переменные, которые не удовлетворяли принятым критериям качества. Затем, все данные, изначально представленные на различных сетках, были трансформированы в единую сетку с разрешением  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ .

Сформированный таким образом архив включает средние месячные данные о температуре и влажности воздуха в атмосфере, давлении на уровне моря, составляющих скорости ветра, твердых и жидких осадках, облачности, высоте снежного покрова,

толщине и концентрации морского льда, поверхностного стока, составляющих теплового и радиационного баланса и других климатических характеристиках за все месяцы расчетного периода, начиная с последней четверти 19 века. Архив включает комплекты указанных данных для всех выбранных моделей СМIP3. Объем комплекта данных для каждой из моделей составляет до 10 Гбайт.

Пример входящего в архив ГГО комплекта климатических данных, рассчитанных по одной из моделей СМIP3, приведен в таблице 2.1

Таблица 2.1

Комплект климатических данных, рассчитанных по модели ССМ3, NCAR, США

	Переменная	Обозначение переменной	Единицы	Примечания
1	2	3	4	5
1	Атмосферное давление на уровне моря	psl *	гПа	
2	Осадки	pr *	мм сут <sup>-2</sup>	Включают жидкую и твердую фазы.
3	Температура воздуха	tas *	С	Температура воздуха вблизи земной поверхности (на высоте 2 м).
4	Влагосодержание почвы	Mrso *	кг м <sup>-2</sup>	Количество влаги во всех фазах, просуммированное по всему слою почвы и осредненное по части элементарной ячейки, занятой суши (т.е. рассчитанное путем деления влагосодержания слоя почвы на площадь суши в ячейке).
5	Толщина снежного покрова на суше	snd *	м	Эта величина, умноженная на среднюю площадь ячейки сетки, покрытую снегом, дает средний по времени объем снега. Т.о. для среднего по времени, рассчитывается как взвешенная сумма толщин (осредненная по покрытой снегом части ячейки сетки), деленная на сумму весов с весами, равными доли площади покрытой снегом.
6	Поток скрытого тепла на земной поверхности, направленный вверх	hfls *	Вт м <sup>-2</sup>	
7	Поток явного тепла, направленный вверх	hfss *	Вт м <sup>-2</sup>	
8	Поток нисходящей длинноволновой радиации на земной поверхности.	rllds *	Вт м <sup>-2</sup>	
9	Поток восходящей длинноволновой радиации на земной поверхности.	rlus *	Вт м <sup>-2</sup>	
10	Поток нисходящей коротковолновой радиации на земной поверхности.	rsds *	Вт м <sup>-2</sup>	
11	Поток восходящей коротковолновой радиации на земной поверхности.	rsus *	Вт м <sup>-2</sup>	
12	Интенсивность выпадения снега	prsn *	мм сут <sup>-1</sup>	
13	Интенсивность выпадения конвективных осадков	prc *	мм сут <sup>-1</sup>	
14	Содержание водяного пара в атмосфере	prgw *	кг м <sup>-2</sup>	Количество водяного пара в вертикальном столбе атмосферы
15	Поверхностный сток	mrgros*	мм сут <sup>-1</sup>	Рассчитывается, как общий поверхностный сток с поверхности суши в ячейке сетки, деленный на площадь суши в ячейке.

## Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
16	Сток	mrro *	мм сут <sup>-1</sup>	Рассчитывается, как полный сток (включая дренаж через основание модели почвенного слоя) из занятой сушией части ячейки сетки, деленный на площадь суши в ячейке сетки.
17	Количество снега на поверхности суши	snw *	кг м <sup>-2</sup>	Рассчитывается, как масса снега на части поверхности ячейки сетки, занятой сушией, деленная на площадь этой части поверхности, исключая снег на растительном покрове или на поверхности морских льдов.
18	Доля заснеженной поверхности суши	snc *	%	Часть ячейки сетки, покрытая снегом, лежащим на суши, исключая снежный покров на морских льдах.
19	Интенсивность таяния снега на поверхности суши	snm *	мм сут <sup>-1</sup>	Рассчитывается, как общее количество талой воды, образовавшейся на части ячейки, занятой сушией, деленное на площадь суши в ячейке. В областях, где нет суши или суша свободна от снега, ставится 0.0.
20	Поток нисходящей коротковолновой радиации на верхней границе атмосферы	rsdt *	Вт м <sup>-2</sup>	Коротковолновая радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы.
21	Поток уходящей коротковолновой радиации на верхней границе атмосферы	rsut *	Вт м <sup>-2</sup>	
22	Поток уходящей длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы	rlut *	Вт м <sup>-2</sup>	
23	Нисходящий поток коротковолновой радиации на земной поверхности при ясном небе	rsdscs *	Вт м <sup>-2</sup>	
24	Восходящий поток коротковолновой радиации на земной поверхности при ясном небе	rsuscs *	Вт м <sup>-2</sup>	
25	Нисходящий поток длинноволновой радиации на земной поверхности при ясном небе	rldscs *	Вт м <sup>-2</sup>	
26	Поток уходящего длинноволнового излучения на верхней границе атмосферы при ясном небе	rlutcs *	Вт м <sup>-2</sup>	
27	Поток уходящего коротковолнового излучения на верхней границе атмосферы при ясном небе	rsutcs *	Вт м <sup>-2</sup>	
28	Облачность	clt *	%	Для всего столба атмосферы, видимая с поверхности или верхней границы атмосферы. Включает как крупномасштабные, так и конвективные облака.
29	Концентрация морского льда в ячейке сетки	sic	%	Часть ячейки сетки, занятая морским льдом.
30	Толщина морского льда	sit	м	Эта толщина, умноженная на среднюю площадь ячейки, покрытую морским льдом, дает средний по времени объем морского льда.

## **2.2. Оценка качества расчетов современного климата, выполненных с помощью суперансамбля современных климатических моделей**

Важной оценкой качества климатической модели является проверка способности этой модели воспроизводить современное состояние климатической системы (включая годовой цикл), а также различные ее состояния в прошлом, в соответствии с имеющимися данными наблюдений. К сожалению, для климатических моделей отсутствуют общепризнанные показатели их качества.

В работе [Boer, 2000] выделяются три обширные категории для оценки климатических моделей: (1) пространственное распределение и структура средних значений, средних квадратических отклонений и корреляций (и, возможно, другой статистики) основных климатических параметров; (2) бюджеты (балансы) и циклы в климатической системе (например, гидрологический цикл) и (3) климатические процессы (например, муссоны, блокинги, конвекция).

Климат – это «осредненная» погода, поэтому сравнения расчетов, выполненных с помощью МОЦАО, с данными наблюдений можно проводить для характеристик, осредненных за достаточно большие промежутки времени, измеряемые десятками лет. Примерами таких интервалов могут служить т.н. базовые климатические периоды. Так, «классический» базовый период ВМО (1961-1990 гг.) представлял современный климат в трех оценочных докладах МГЭИК. В докладе [ACIA, 2005] в качестве базового используется период 1981-2000 гг. Выбор базового периода, включая его продолжительность, определяется различными обстоятельствами, например, характером изменчивости климата в том или ином регионе, наличием и качеством данных наблюдений за тот или иной период и др. (см., например, [Катцов и др., 2003]).

Поскольку рассчитанные с помощью моделей значения климатических характеристик осреднены по большим площадям (объемам) модельных ячеек, для оценки моделей обычно используются преобразованные данные наблюдений, например, – интерполированные в узлы регулярной сетки с использованием методов объективного анализа; представленные в виде интегральных оценок по тем или иным регионам и т.п.

Это создает определенные трудности при оценке воспроизведения климата для сравнительно небольших регионов, каким, например, является Беларусь, площадь которой составляет в лучшем случае 2-3 модельных ячейки.

В процессе подготовки ОД4 в рамках проекта СМIP3 были выполнены всесторонние оценки качества воспроизведения современными климатическими моделями нового поколения наблюдаемого среднего состояния климатической системы, а

также межгодовой, внутри- и межвековой и более долгопериодной изменчивости климатической системы.

Для уменьшения неопределенности, обусловленной собственной климатической изменчивостью каждой исследуемой модели, проводились параллельные расчеты с одной или несколькими моделями при одинаковом внешнем воздействии (так назыв. ансамблевые расчеты, проводимые по одной и той же модели, но от разных начальных условий).

Некоторый прогресс в расчетах климатически значимых мод естественной изменчивости [Osborn, 2004; Miller et al., 2006; AchutaRao and Sperber, 2006], в целом, повысил уверенность в том, что важные климатические процессы представлены в МОЦАО правильно. Улучшилась способность МОЦАО воспроизводить экстремальные явления, в особенности, связанные с приземной температурой воздуха [Meehl and Tebaldi, 2004; Vavrus et al., 2006], хотя частота и интенсивность экстремальных осадков моделями занижается [Sun et al., 2006].

Однако наиболее высокую успешность при сравнении с данными наблюдений, как правило, показывает результат осреднения по мультимодельному ансамблю, составленному из расчетов с независимыми моделями (напр., [Катцов и Мелешко, 2004]). Это связано с тем, что систематические ошибки, присущие каждой модели в отдельности часто являются случайными по отношению к ансамблю моделей и при осреднении взаимно компенсируются.

Существенный прогресс достигнут в понимании межмодельных различий чувствительности климата, основным источником которых по-прежнему остаются облачно-радиационные обратные связи. Новые данные наблюдений показывают, что совокупный эффект обратных связей водяного пара и вертикального градиента температуры близок обнаруживаемому в моделях [Bony et al., 2006].

### **2.3 Анализ современного климата России и Беларуси по данным расчетов помощью современных климатических моделей**

База данных, подготовленная на основе результатов расчетов современного глобального климата с помощью глобальных климатических моделей СМIP3 (см. раздел 1), была использована рамках данного исследования для анализа климатических характеристик Европейской территории России, Беларуси и водосборов крупных речных бассейнов в восточно-европейском регионе.

### 2.3.1. Радиация и облачность

Первопричиной пространственно-временных изменений температуры на Земном шаре является приходящая солнечная радиация, которая в результате взаимодействия с длинноволновой радиацией и другими потоками энергии, создает локальное нарушение баланса энергии и вызывает циркуляцию в атмосфере и океане. Влияние радиационных потоков на температуру приземного воздуха зависит от распределения облачности и свойств подстилающей поверхности.

Оценки средних годовых значений составляющих радиационного баланса на верхней границе атмосферы, на поверхности Земли и дивергенция полных радиационных потоков в столбе глобальной атмосферы (или радиационный приток в столбе атмосферы), рассчитанные по ансамблю МОЦАО СМIP3 показывают (см. табл. 3.1), что все восходящие и нисходящие потоки достаточно хорошо согласуются со спутниковыми наблюдениями и другими независимыми оценками.

Согласно расчетам по моделям приходящий поток солнечной радиации на верхней границе глобальной атмосферы в среднем за год составляет около  $342 \text{ Вт/м}^2$ , а обратно в мировое пространство поверхностью Земли и облачной атмосферой отражается примерно  $105 \text{ Вт/м}^2$  при межмодельном стандартном отклонении, равном примерно  $2 \text{ Вт/м}^2$ . При этом отражение за счет облачности составляет примерно  $50 \text{ Вт/м}^2$ . При анализе ошибок расчета потоков тепла следует иметь в виду, что в модельной (как и в реальной) атмосфере одновременно действует много компенсационных механизмов, которые уменьшают суммарный эффект погрешностей. Так, например, увеличение ошибки в расчете притока солнечной радиации вызывает рост ошибки в определении длинноволнового излучения. Эти ошибки в значительной степени компенсируют друг друга. Поэтому суммарная погрешность расчета радиационных потоков существенно меньше ошибок в определении отдельных видов потоков радиации.

МОЦАО удовлетворительно воспроизводят сезонные изменения облачности в средних широтах, за исключением зимнего периода, когда количество облаков систематически занижается на всех речных бассейнах, (рис. 2.1). Как показал анализ, это вызвано, в основном, тем, что в моделях занижается количество облаков нижнего яруса, формирующихся на границе пограничного слоя. Однако поскольку зимой поток солнечной радиации в Северной Евразии сравнительно мал, указанные погрешности не должны существенно сказываться на расчетах потоков солнечной радиации в это время года.

Таблица 2.2

Средние за год значения радиационного баланса климатической системы ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), рассчитанные по ансамблю из 19 МОЦАО СМIP3 и полученные в работах [Kiehl and Trenberth, 1997; Rashke et al., 2005]. Здесь также приводятся значения стандартных отклонений, полученные по ансамблю МОЦАО СМIP3 а в скобках указаны диапазоны неопределенностей при оценках отдельных потоков (см. таблицу V в работе [Rashke et al., 2005]).

<i>Радиационные потоки</i>	<i>МОЦАО СМIP3</i>	<i>Kiehl and Trenberth, 1997</i>	<i>Rashke et al., 2005</i>
<b>Радиационный баланс на верхней границе атмосферы</b>			
<i>Приходящая солнечная радиация</i>	<b>341,6 ± 0,5</b>	<b>342</b>	<b>342 ± 0,25</b>
<i>Отраженная солнечная радиация</i>	<b>-104,7 ± 2,3</b>	<b>-107</b>	<b>-106 ± (5-7)</b>
<i>Планетарное альbedo</i>	<b>30,6 ± 0,7</b>	<b>30</b>	<b>31 ± 1</b>
<i>Уходящее излучение</i>	<b>-235,4 ± 2,6</b>	<b>-235</b>	<b>-233 ± (3-5)</b>
<i>Полный радиационный баланс</i>	<b>1,5 ± 1,4</b>	<b>0</b>	<b>3 ± (5-7)</b>
<b>Радиационный приток в столбе атмосферы</b>			
<i>Баланс солнечной радиации</i>	<b>75,4 ± 5,5</b>	<b>67</b>	<b>71</b>
<i>Баланс длинноволновой радиации</i>	<b>-177,8 ± 5,7</b>	<b>-169</b>	<b>-183</b>
<i>Суммарный радиационный баланс</i>	<b>-101,9 ± 5,4</b>	<b>-102</b>	<b>-112</b>
<b>Радиационный баланс у поверхности Земли</b>			
<i>Нисходящая солнечная радиация</i>	<b>186,9 ± 8,1</b>	<b>198</b>	<b>189 ± (7-10)</b>
<i>Баланс солнечной радиации</i>	<b>161,6 ± 6,5</b>	<b>168</b>	<b>165 ± (7-10)</b>
<i>Нисходящий длинноволновый поток</i>	<b>334,6 ± 7,2</b>	<b>324</b>	<b>343 ± (15-20)</b>
<i>Эффективное излучение</i>	<b>-57,5 ± 7,4</b>	<b>-66</b>	<b>-50 ± (15-20)</b>
<i>Суммарный радиационный баланс</i>	<b>103,5 ± 5,8</b>	<b>102</b>	<b>115 ± (15-20)</b>

В течение всего года наблюдается значительный межмодельный разброс в расчетах общего количества облаков. Для выяснения того, насколько эти ошибки существенны для расчетов радиационных потоков и термического режима на подстилающей поверхности, требуются дальнейшие исследования.

### 2.3.2. Температурный режим

Чтобы модели успешно воспроизводили распределения температуры приземного воздуха, а также ее сезонные и суточные изменения, они должны реалистично описывать разнообразные физические процессы. Так, средняя за год температура определяется приходом солнечной радиации, на которую существенное влияние оказывает облачность, а также потоками энергии между подстилающей поверхностью и атмосферой. Аналогично сезонные и суточные изменения температуры определяются сезонными и суточными вариациями этих потоков и, кроме того, на нее также оказывает влияние термическая энергия океана и деятельного слоя суши, накопленные за предшествующий период

Географическое распределение полученных в результате простого осреднения по ансамблю МОЦАО отклонений средних годового и сезонных значений температуры воздуха от данных наблюдений характеризуется рядом особенностей (рис. 2.2). Над большей частью России (и в несколько меньшей степени над территорией Беларуси)

МОЦАО занижают среднюю годовую температуру примерно на 2°C. Наиболее заметной систематической погрешностью в холодный период являются сравнительно низкие температуры над северными регионами Европейской территории России и Западной Сибири. Эта погрешность может быть связана с занижением моделями температуры в Северной Атлантике, Норвежском и Баренцевом морях на 4–8°C в течение всего года и с избыточным количеством морского льда в Баренцевом море [Arzel et al., 2006; Катцов и др., 2007], что в свою очередь, по-видимому, связано с уменьшением притока теплых вод из Северной Атлантики в Арктику.

Температура воздуха занижается моделями во все сезоны года как в целом по России, так и в отдельных крупных регионах: на Европейской территории (**и прилегающих к ней стран ближнего зарубежья**), а также в Западной и Восточной Сибири (табл. 3.2). Причем в наибольшей степени это происходит весной, и значительно меньше - летом. В Восточной Сибири при наименьшем занижении температуры ансамбль моделей дает самый большой межмодельный разброс ( $-0,6 \pm 3,4$ )°C. В этом регионе модели показывают большие ошибки противоположного знака зимой, когда на большой территории Восточной Сибири (Якутия, Чукотка) формируется антициклон с мощными инверсиями в нижней тропосфере, которые не воспроизводятся большинством современных моделей.

Таблица 2.3

Средние систематические ошибки расчета температуры приземного воздуха (град С) на территории России, рассчитанные по ансамблю из 19 МОЦАО для современного климата (1980-1999 гг.). В качестве наблюдений использованы данные CRU [Rayner et al., 2003] В таблице также приводятся стандартные отклонения температуры, характеризующие межмодельный разброс ( $\pm\sigma$ ) по отношению к средней систематической ошибке по ансамблю МОЦАО.

<i>Регионы</i>	<i>Зима</i>	<i>Лето</i>	<i>Год</i>
<i>Россия</i>	$-1,9 \pm 2,6$	$-1,1 \pm 1,5$	$-1,8 \pm 1,5$
<i>ЕТР</i>	$-3,4 \pm 2,6$	$-1,1 \pm 1,5$	$-2,3 \pm 1,6$
<i>Западная Сибирь</i>	$-2,3 \pm 2,7$	$-1,2 \pm 1,7$	$-2,1 \pm 1,5$
<i>Восточная Сибирь</i>	$-0,6 \pm 3,4$	$-0,8 \pm 1,8$	$-1,1 \pm 1,9$

**Примечание.** Западная Сибирь включает Уральский и Сибирский ФО, Восточная Сибирь – Дальневосточный ФО.



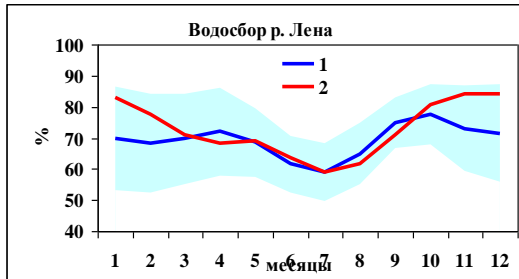
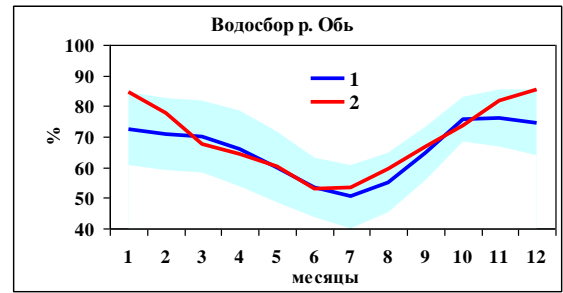
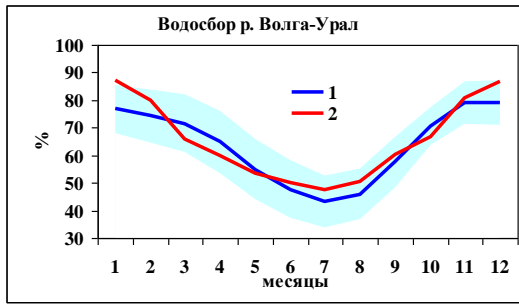


Рисунок 2.1 - Сезонный ход общей облачности (%) на водосборах рек Волга/Урал, Обь и Лена: (1) рассчитанные по ансамблю из 19 МОЦАО (1980-1999 гг.) и (2) полученные по данным наблюдений ISCCP [Rossow et al., 1996]. Заштрихованная область показывает межмодельные стандартные отклонения от среднего по ансамблю МОЦАО ( $\pm\sigma$ ).

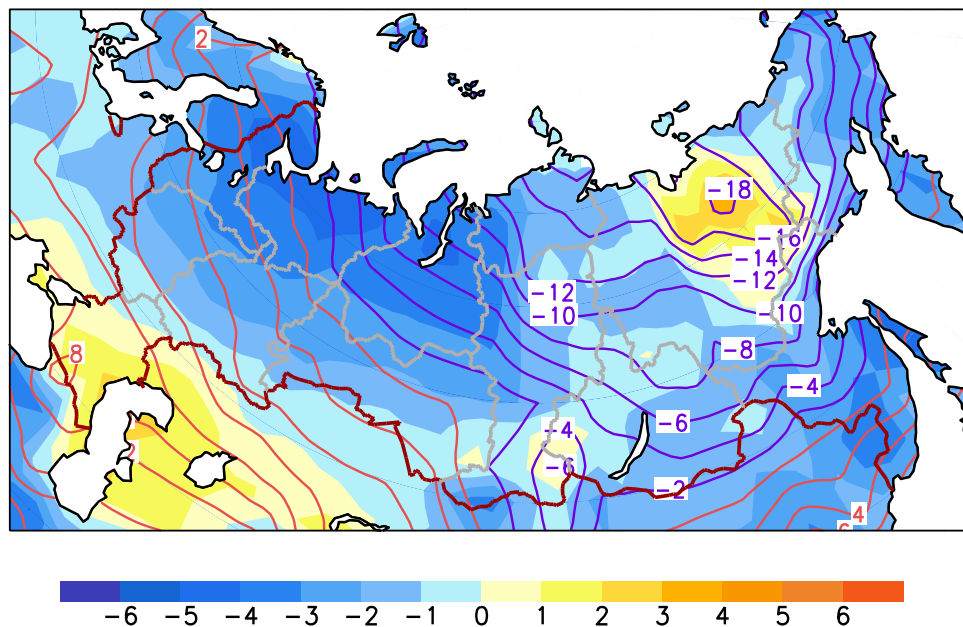


Рисунок 2.2 - Распределения средней за год температуры приземного воздуха (1980-1999 гг.), полученные по данным наблюдений (показаны изолиниями) [New et al., 1999; 2000] и средней систематической ошибки расчета по ансамблю из 19 МОЦАО (показаны цветом).

Большинство МОЦАО успешно воспроизводит сезонный ход температуры приземного воздуха в различных регионах России (рисунок 2.3).

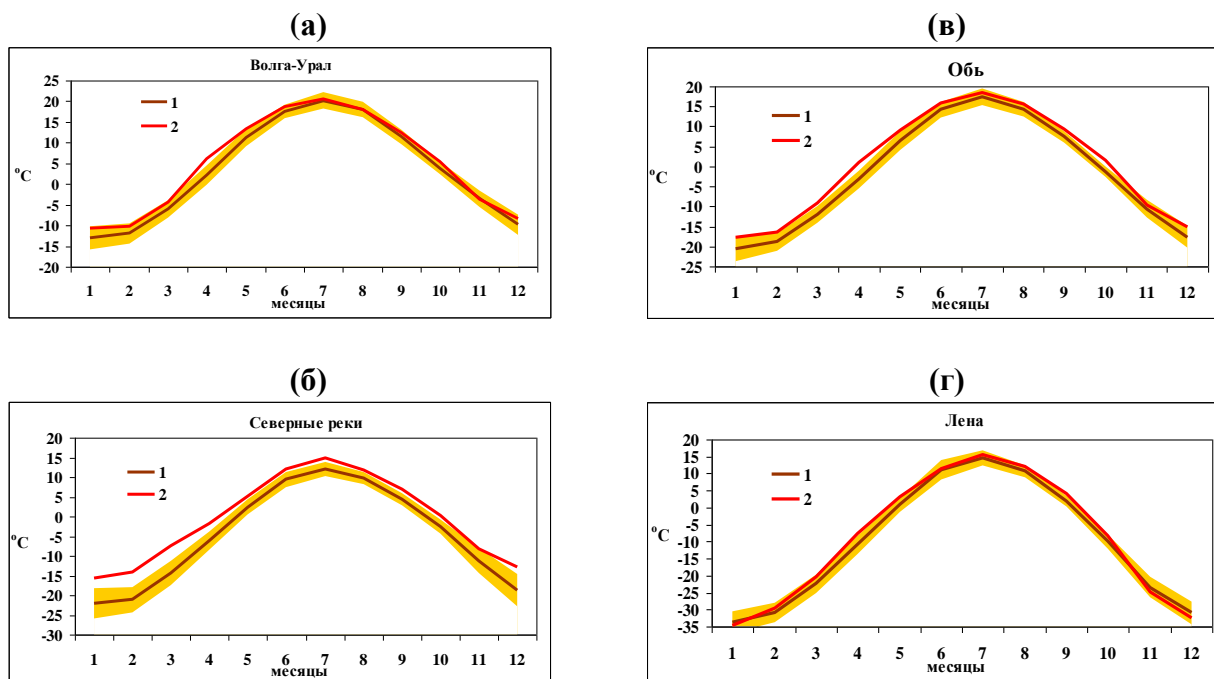


Рисунок 2.3. Сезонные изменения температуры приземного воздуха на водосборах российских рек (1980-1999 гг.): (1) рассчитанные по ансамблю из 19 МОЦАО и (2) полученные по данным наблюдений CRU (2) [New et al., 2000]. Заштрихованные области показывают межмодельные стандартные отклонения от среднего по ансамблю МОЦАО ( $\pm\sigma$ ). Расчеты представлены для четырех водосборов: (а) Волга-Урал; (б) Северные реки (Западная Двина, Печора, Мезень); (в) Обь; (г) Лена.

Наибольшее занижение температуры ансамблем моделей приходится на зиму. Тогда же отмечается и наибольший разброс между моделями. Заметные систематические ошибки сезонного хода температуры проявляются на северо-западе России, однако к востоку эта погрешность уменьшается (при сохранении межмодельного разброса). Летом средние по ансамблю отклонения температуры от данных наблюдений существенно меньше. Осредненная по территории России годовая амплитуда приземной температуры воздуха (разность июль – январь), которая по данным наблюдений составляет  $39.2^{\circ}\text{C}$ , несколько завышается ансамблем МОЦАО на  $(+1,0 \pm 3,3^{\circ}\text{C})$ . При этом на Европейской территории эта погрешность составляет  $(+2,8 \pm 3,0^{\circ}\text{C})$ , в Западной Сибири  $(+0,9 \pm 3,9^{\circ}\text{C})$ , в Восточной Сибири  $(-1,9 \pm 3,6^{\circ}\text{C})$ . Межмодельный разброс заметно превышает среднюю ошибку по ансамблю.

### 2.3.3. Циркуляционный режим атмосферы

Климатической системе присущ широкий диапазон колебаний атмосферной циркуляции – от внутрисезонных до многолетних и вековых. Успешное воспроизведение моделями этих колебаний повышает доверие к расчетам будущих изменений циркуляции атмосферы.

Изменения и изменчивость циркуляции атмосферы над Северной Евразией зависят от сезонного положения и интенсивности основных центров действия атмосферы в Северном полушарии. Ансамбль моделей достаточно успешно воспроизводит положение и интенсивность Исландского и Алеутского минимумов и Сибирского максимума зимой (рисунок 2.4). Летом более четко выраженными оказываются субтропические антициклоны в Атлантическом и Тихом океана, причем в расчетах по моделям они получились несколько более интенсивными, чем показывают данные наблюдений. Расчеты дают также более высокое давление над Северным Ледовитым океаном.

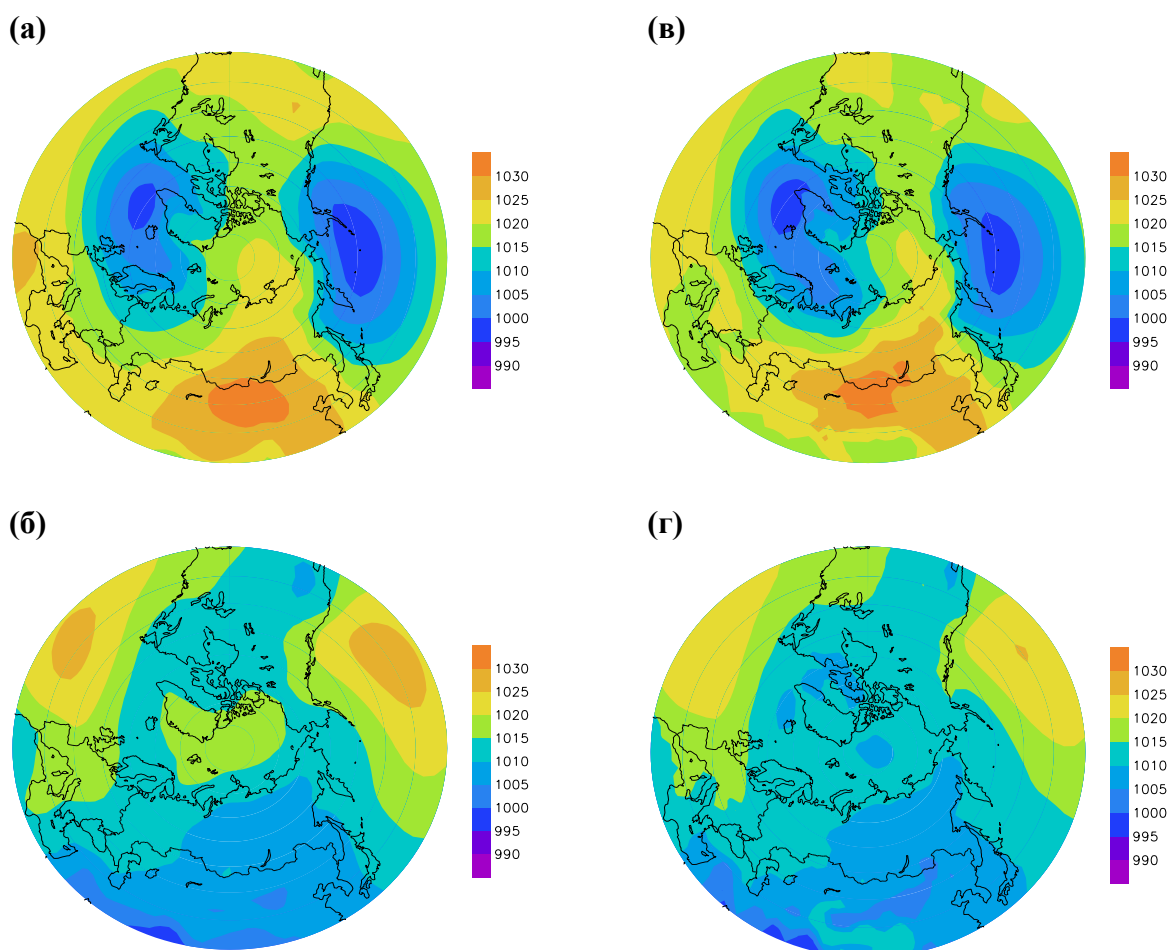


Рисунок 2.4 Атмосферное давление на уровне моря (гПа) зимой (а, в) и летом (б, г), полученное в ансамбле из 19 МОЦАО (а, б) и из реанализа ERA-40 (в, г) (1980-1999 гг.).

МОЦАО СМIP3 в среднем завышают атмосферное давление над северными регионами России и, в особенности, над Баренцевым морем. По сравнению с ОДЗ, в ряде моделей произошло уменьшение этой систематической ошибки, имеющей важное значение, с точки зрения динамического воздействия атмосферы на дрейфовую циркуляцию океана и морского льда. Моделям, с наиболее завышенным давлением в районе Баренцева моря присуще и наибольшее занижение там температуры воздуха. Завышенное атмосферное давление говорит о недостаточной циклонической активности и заниженном поступлении тепла из Северной Атлантики в регион Баренцева моря. С завышением атмосферного давления над Баренцевым и Карским морями, очевидно связано и занижение осадков в этом регионе, несмотря на общую тенденцию МОЦАО к завышению осадков в высоких широтах [Kattsov et al., 2007].

#### **2.3.4. Осадки**

Атмосферные осадки являются одной из важнейших характеристик климата, поскольку от них существенно зависит жизнедеятельность человека и существование биосферы на континентах. По этой причине чрезвычайно важно знать, насколько успешно современные модели воспроизводят региональные и сезонные распределения осадков на земном шаре и, в частности, на территории России и Беларуси. На распределение осадков оказывают влияние циркуляции атмосферы и горизонтальный перенос водяного пара, неустойчивость атмосферы и степень насыщения ее водяным паром, а также свойства подстилающей поверхности и характеристики орографии. Для успешного воспроизведения осадков моделями необходимо правильное представление в них основных физических процессов, ответственных за формирование осадков. На большей части территории России осадки выпадают в холодное время года, преимущественно в виде снега, а летом - в жидком виде. Однако поскольку в настоящее время отсутствуют наблюдения за фазовым составом осадков, ниже будут рассматриваться только суммарные осадки, хотя современные модели климата позволяют, в принципе, отдельно рассчитывать твердые и жидкие осадки.

В общих чертах ансамбль моделей реалистично воспроизводит основные крупномасштабные характеристики осадков (рисунок 2.5). На Европейской части России и в Западной Сибири, а также на территории Беларуси наблюдаются меньшие по абсолютной величине погрешности расчета среднегодовых осадков по сравнению с наблюдаемыми значениями. Завышение расчетных осадков отмечается на большей части Восточной Сибири.

Интерпретировать полученные ошибки достаточно сложно, учитывая их большую пространственную изменчивость. Более того, распределения систематических ошибок по территории России могут быть разными и зависят от того, какие данные наблюдений за осадками использованы при анализе. Сравнения данных наблюдений [Legates and Willmott, 1990] и средних ошибок расчета показывают, что ансамбль моделей систематически завышает на 8% годовые осадки по России по отношению к климатической норме (Европейская часть – 2%, Западная Сибирь – 12%, Восточная Сибирь – 11%). При сравнении расчетных осадков с другими климатическими нормами систематические ошибки оказываются большими (например, при сравнении с архивами ERA-40, NCEP/NCAR и [Xie and Arkin, 1998]). Можно отметить также, что межмодельные стандартные отклонения оказываются, как правило, значительно большими, чем средние за год погрешности для всей России.

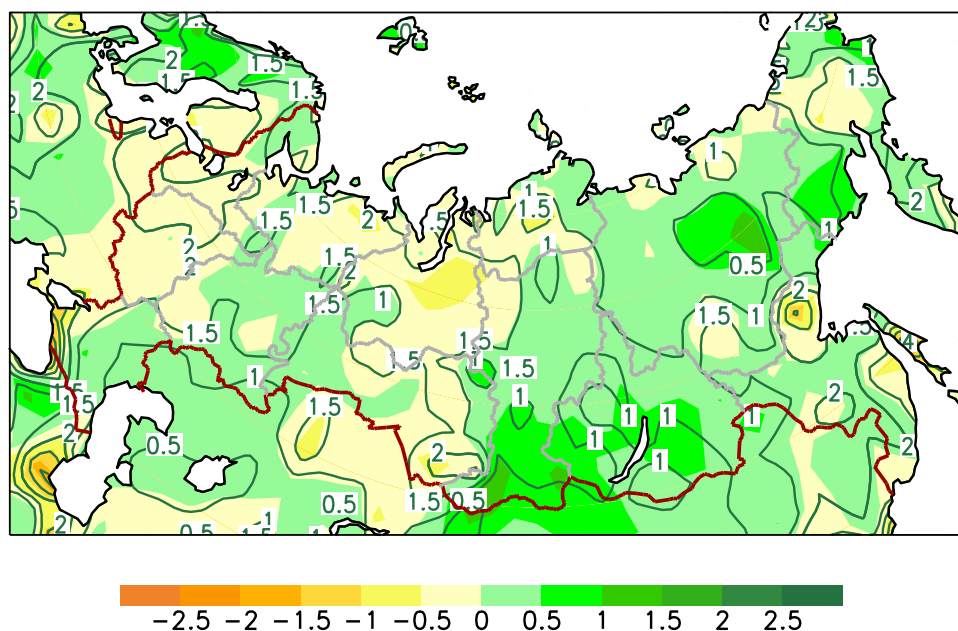


Рисунок 2.5 Разность среднегодовых осадков (показана цветом, мм/сутки), рассчитанных с помощью ансамбля из 19 МОЦАО (1980-1999 гг.) и данными наблюдений [Legates and Willmott, 1990] (изолинии).

При всей неопределенности данных наблюдений, модели демонстрируют тенденцию к завышению осадков, осредненных по площади водосборов крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан [Kattsov et al., 2007]. Особенности географического распределения погрешностей расчетов осадков отчасти объясняются недостаточным разрешением орографии, а также ошибками расчетов атмосферной циркуляции и распределения морского льда. Анализ расчета осадков, выполненный по ансамблю из 16 МОЦА, участвовавших в проекте АМIP-II, показал, что среднее за год

завышение осадков на территории России было бóльшим по сравнению с МОЦАО СМРЗ (АМР-П:  $0,309 \pm 0,242$  мм/сутки; СМРЗ:  $0,110 \pm 0,179$  мм/сутки ). По-видимому, это связано с более высоким качеством моделей нового поколения. Однако это может быть также вызвано и тем, что в расчетах с моделями СМРЗ атмосфера над территорией России более холодна (т. е. имеет более низкую влагоемкость и характеризуется меньшим количеством осадков), чем в расчетах АМР-П.

### **2.3.5 Речной сток**

При анализе годовых стоков, рассчитанных в МОЦАО, удобно рассматривать водосборы крупных рек, поскольку в отсутствие надежных данных об испарении наблюдения за речным стоком, отличающиеся сравнительно высокой точностью, позволяют получить интегральные среднегодовые оценки разности осадков и испарения для водосбора, в целом. Это чрезвычайно важно для проверки того, насколько успешно МОЦАО воспроизводят водный баланс на территориях соответствующих крупным речным бассейнам.

Рассчитанная в моделях средняя многолетняя разность между осадками и испарением характеризует средний годовой сток на крупных водосборах. В работах [Walsh et al., 1998; Kattsov et al., 2007] отмечается, что благодаря высокой корреляции между осадками и эвапотранспирацией, среднегодовые оценки разности осадки минус испарение для крупных водосборов средних и высоких широт хорошо согласуются с данными наблюдений. Вместе с тем, на большинстве рассматриваемых водосборов годовой сток несколько завышен. С другой стороны, модельные оценки стоков на водосборах Лены, Енисея и северных рек оказались на 12-14% ниже наблюдаемых значений. Следует отметить, что оценки межгодовой изменчивости (стандартных отклонений) стоков сибирских рек (Оби, Енисея, Лены), полученные по данным наблюдений за периоды, продолжительностью до 60 лет, составляют 7-15% от среднегодовых значений стоков. При этом межмодельный разброс оказался больше, чем межгодовые изменения наблюдаемого стока, и составил 18-26%.

### **2.3.6 Снежный покров**

Прогностическими характеристиками снежного покрова суши в МОЦАО обычно являются его толщина, удельная масса или водный эквивалент, температура поверхности и в толще снега, а также (в некоторых моделях) доля суши, покрытая снегом. Благодаря спутниковым наблюдениям площадь снежного покрова является наиболее надежно измеряемой характеристикой, и потому используется в сравнительных анализах

модельных расчетов в качестве основной. К сожалению, данные наблюдений за толщиной снежного покрова недостаточны для полноценного анализа качества модельных расчетов этой характеристики.

Ансамбль МОЦАО, в среднем, завышает площадь снежного покрова в течение холодного времени года, а также демонстрирует значительный межмодельный разброс географического распределения снежного покрова (рисунок 2.6). С октября по май наблюдаемые значения площади снежного покрова суши в Северном полушарии оказываются меньше средних по ансамблю моделей приблизительно на величину стандартного отклонения, характеризующего разброс между модельными расчетами. По отношению к данным наблюдений многие модели демонстрируют избыток снега весной и запаздывание весеннего таяния вследствие занижения температуры приземного воздуха в Северной Евразии. С другой стороны, формирование снежного покрова в осенне-зимний период воспроизводится моделями в целом достаточно хорошо – об этом говорят и отклонения среднего по ансамблю моделей от данных наблюдений, и величины средних квадратических ошибок, оказывающиеся заметно меньшими в период увеличения площади снежного покрова, по сравнению с периодом ее сокращения. Согласно [Roesch, 2006], МОЦАО, как правило, занижают межгодовую изменчивость площади снежного покрова в Евразии в зимний и весенний периоды, а в Северной Америке воспроизводят ее вполне удовлетворительно. При этом в МОЦАО обычно завышаются альбедо в покрытых лесом областях в присутствии снега. Разброс между МОЦАО в расчетах водного эквивалента снега также значителен. К сожалению, как отмечалось выше, оценить относительную успешность воспроизведения этой характеристики разными моделями не представляется возможным из-за отсутствия надежных данных наблюдений.

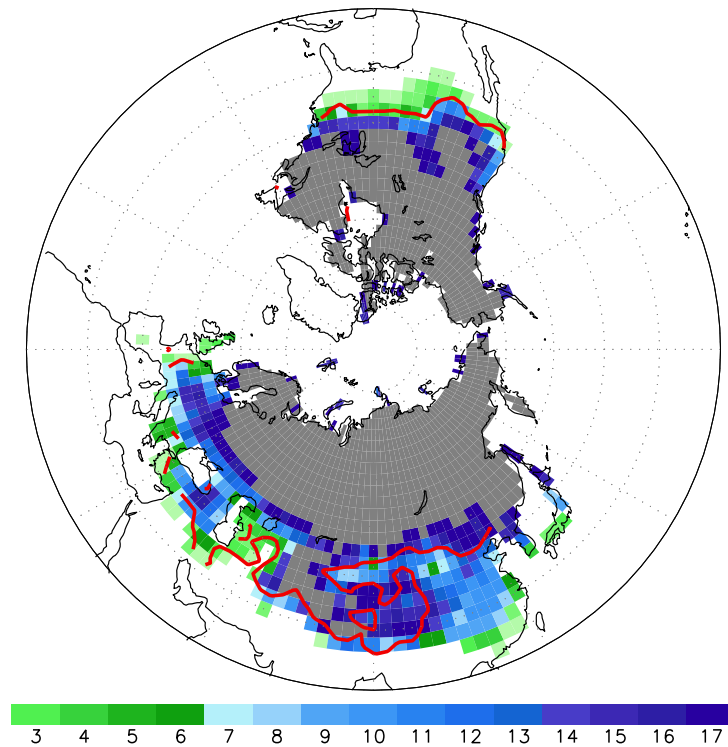


Рисунок 3.6 Распределение снежного покрова суши в расчетах с 18 МОЦАО для февраля (1980-1999 гг.) В каждой ячейке сетки  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  различными цветами показано количество моделей, в которых для этой ячейки получен снег (водный эквивалент снега  $>5$  мм). Наблюдаемые границы снежного покрова концентрацией не менее 20% (красная линия) получены по данным <http://climate.rutgers.edu/snowcover/>. [Павлова и др., 2007].

#### 2.4 Региональные климатические модели

С конца 1980-х годов в развитых странах широкое распространение получили исследования регионального климата с помощью региональных климатических моделей. Этому в немалой степени способствовала координация работ по региональному моделированию в рамках крупных международных программ (см., например, <http://prudence.dmi.dk> и <http://ensembles-eu.metoffice.com>). Региональные модели отличаются от глобальных в 5-10 раз более высоким разрешением, что позволяет более достоверно воспроизводить пространственно-временные вариации региональных температуры и осадков, а также экстремальные климатические явления. Современные РКМ имеют горизонтальное разрешение порядка 10 км и размеры модельных областей вплоть до субконтинентальных. Эти модели повышают качество расчетов климата за счет более реалистичного представления неоднородностей подстилающей поверхности. Однако, из-за большой вычислительной ресурсоемкости РКМ, ансамблевые расчеты с ними пока не имеют такого широкого распространения, как с МОЦАО.

Поскольку при разработке РКМ используется, как правило, принцип вложенных сеток, то проведение региональных экспериментов требует задания изменяющихся во времени боковых граничных условий для переменных, эволюция которых в РКМ



описывается, как и в МОЦАО, системой полных уравнений гидротермодинамики. Необходимость введения боковых граничных условий, которые могут задаваться в каждой отдельно взятой РКМ по данным различных МОЦАО, составляющих мультимодельный ансамбль, является значительным источником неопределенностей в расчетах с помощью РКМ.

Методы оценки качества РКМ существенно отличаются от тех, которые используются для МОЦАО. Так, в отличие от МОЦАО, валидация которых требует проведения длительных экспериментов, региональные модели, благодаря тому, что заданные боковые граничные условия определяют в какой-то мере некоторые особенности рассматриваемого регионального климата, позволяют оценить систематические погрешности расчетов в экспериментах сравнительно небольшой продолжительности. С другой стороны, погрешности глобальной модели, результаты которой используются РКМ в качестве граничных условий, могут оказывать заметное влияние на качество расчета регионального климата. Чтобы исключить влияние погрешностей, содержащихся в расчетах с глобальными моделями, и провести оценку качества самой РКМ, на боковых границах обычно используются данные реанализа [Giorgi and Mearns, 1999]. Степень согласованности расчетной и наблюдаемой изменчивости характеризует качество модели и, в конечном счете, ее пригодность для оценок будущих изменений регионального климата.

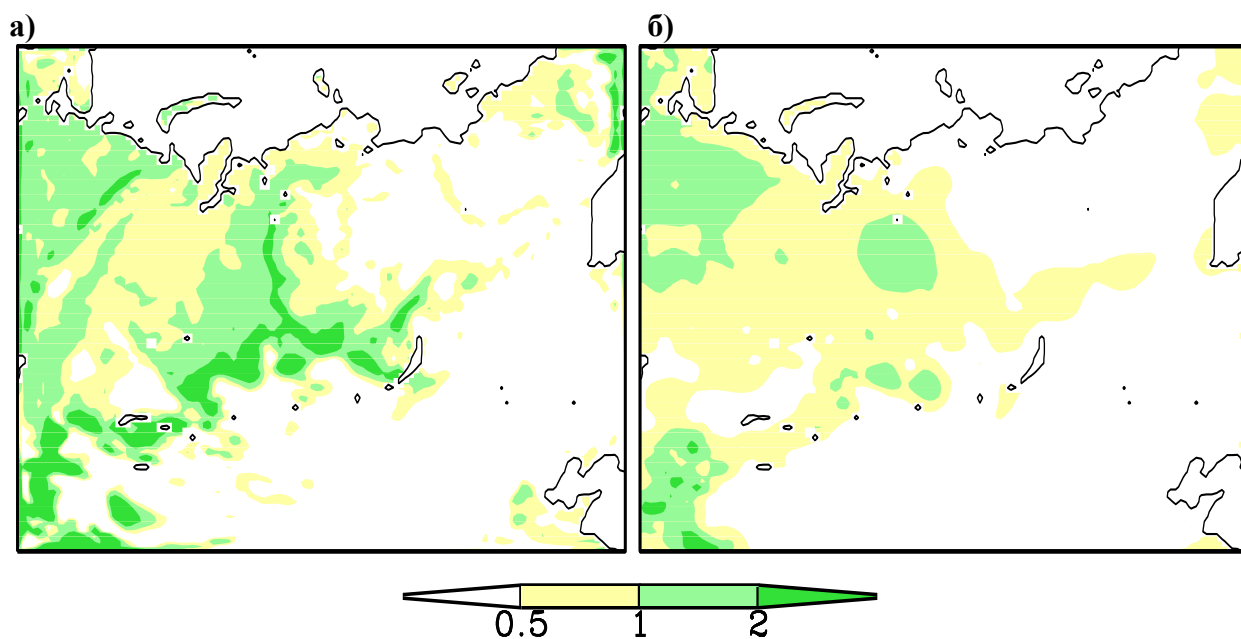
На сегодняшний день количество РКМ, расчетные области которых включают те или иные части территории России, невелико [Школьник и др., 2000; 2005; 2007; Кузин и др., 2006]. Отдельные регионы России попадают на окраины расчетных областей европейских [Räisänen et al., 2004] и азиатских РКМ [Fu et al., 2005].

Из-за крайней неравномерности расположения пунктов наблюдений на территории России поля анализов данных наблюдений даже высокого пространственного разрешения описывают мезомасштабные вариации температуры и осадков от региона к региону с различной степенью достоверности. Это затрудняет сравнение данных анализов с результатами расчетов по РКМ.

Региональные модели дают удовлетворительное описание термического режима рассматриваемого региона, что же касается расчета региональных осадков, то их достоверность не всегда подтверждается сравнениями с данными наблюдений, например, в областях со сложной орографией. Здесь может сказываться как недостаточная надежность полей анализов данных наблюдений за осадками, так и погрешности модельных расчетов осадков и их изменчивости. Различия между расчетными и фактическими осадками наиболее заметно проявляются в летний сезон, когда осадки

обусловлены в основном конвекцией. На рис. 2.7 приведены пространственные распределения средних зимних и летних осадков в регионах центральной России и Сибири, рассчитанные с помощью РКМ ГГО [Школьник и др., 2007] и полученные в результате анализа данных наблюдений с горизонтальным разрешением  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  [New et al., 2000]. В обоих случаях данные анализа описывают пространственное распределение осадков с существенно меньшей, чем РКМ, детализацией. Летом согласованность между пространственными распределениями осадков в РКМ и данными анализа несколько меньшая, чем зимой.

Потенциал РКМ, с точки зрения повышения качества расчета мезомасштабных вариаций климатических характеристик открывает перспективы для использования РКМ не только в оценках будущих изменений климата (совместно с МОЦАО), но и в других приложениях. К таким приложениям, например, относятся восстановление временного хода температуры и осадков в регионах с малым количеством пунктов наблюдений [Школьник и др., 2007], оптимизация наблюдательных сетей и др.



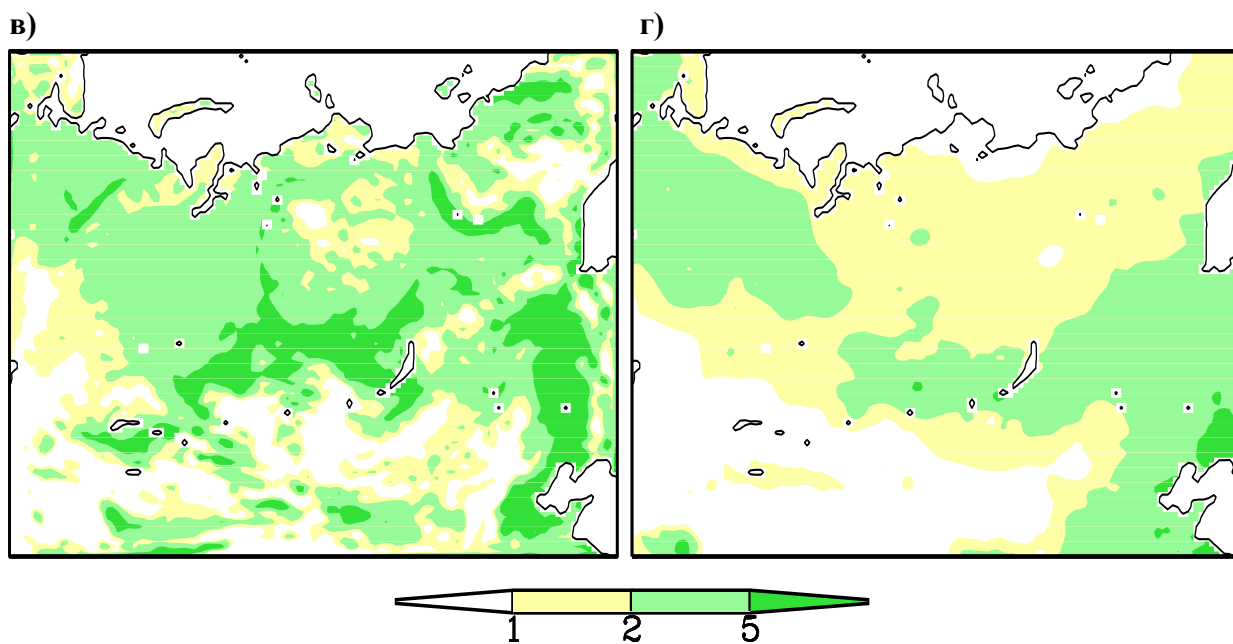


Рисунок 2.7 Осадки (мм/сут), рассчитанные с помощью РКМ ГГО [Школьник и др., 2007] (а,в) и полученные по климатическим данным (б,г) из архива [New et al., 2000] для зимы (а,б) и лета (в,г).

### Заключение

В течение последних лет отмечался заметный прогресс в развитии и широком использовании МОЦАО для исследования климата и его изменений. Анализ качества расчетов современного климата на территории России и Беларуси с помощью ансамбля МОЦАО СМIP3 показал, что:

- МОЦАО успешно воспроизводят сезонный ход температуры приземного воздуха, однако большинство моделей занижает среднюю за год температуру на большей части России, что особенно проявляется в холодное время года на северо-западе и в Западной Сибири. Годовые максимумы температуры воспроизводятся успешно, годовые же минимумы температуры завышаются преимущественно в Восточной Сибири.
- МОЦАО достоверно описывают основные особенности крупномасштабного распределения осадков с летними максимумами и зимними минимумами. Вместе с тем, они несколько завышают годовые осадки в целом по России. Межмодельные стандартные отклонения оказываются, как правило, большими, чем средние за год погрешности для всей России.
- Средние за год стоки по основным водосборам крупных рек рассчитываются успешно. Однако межмодельный разброс по ансамблю МОЦАО получается несколько большим, чем межгодовая изменчивость стоков сибирских рек (Обь, Енисей, Лена) по данным наблюдений.

- Достаточно успешно воспроизводится положение и интенсивность Исландского и Алеутского минимумов и Сибирского максимума зимой. Модели более достоверно рассчитывают положение блокирующих режимов. Однако по расчетам их повторяемость меньшая и они существуют более короткие периоды.
- МОЦАО в среднем завышают площадь снежного покрова в течение холодного времени года и показывают значительный межмодельный разброс географического распределения снежного покрова. Многие модели также показывают избыток снега весной и запаздывание весеннего таяния вследствие занижения температуры приземного воздуха в Северной Евразии.

Для более детального расчета изменений климата отдельных регионов, соизмеримых, например, с размерами административных округов России, и достоверного воспроизведения не только изменений регионального климата, но и повторяемости экстремальных режимов погоды и их изменений, влияние которых особенно значительно на многие виды хозяйственной деятельности и социальные структуры, в ряде исследований используются региональные климатические модели высокого разрешения (РКМ), встроенные в МОЦАО.

#### **Список использованных источников**

1 Катцов В.М., Г.В. Алексеев, Т.В. Павлова, П.В. Спорышев, Р.В. Бекряев, В.А. Говоркова, 2007: Моделирование эволюции ледяного покрова Мирового океана в XX и XXI веках. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 43, № 2, 165-181.

2 Катцов В.М., В. П. Мелешко, 2004: Сравнительный анализ моделей общей циркуляции атмосферы и океана, предназначенных для оценки будущих изменений климата. *Известия РАН: Физика атмосферы и океана*, 40, № 6, 647-658.

3 Катцов В.М., С.В. Вавулин, В.А. Говоркова, Т.В. Павлова, 2003: Сценарии изменения климата Арктики в 21-м веке. *Метеорология и гидрология*, № 10, 5-19.

4 Кузин В.И., В.Н. Крупчатников, А.И. Крылова, А.А. Фоменко, 2006: Математическое моделирование климата Сибири. *Вычислительные технологии*, 11, Спец. выпуск, 52-59.

5 Павлова Т.В., В.М. Катцов, Е.Д. Надёжина, П.В. Спорышев, В.А. Говоркова, 2007: Расчет эволюции криосферы в 20-м и 21-м веках с использованием глобальных климатических моделей нового поколения. *Криосфера Земли*, 11, № 2, 3-13.

6 Школьник И.М., В.П. Мелешко, В.М. Катцов, 2007: Региональная климатическая модель ГГО для территории Сибири. *Метеорология и гидрология*, № 6, 5-18.

- 7 Школьник И. М., В. П. Мелешко, В. М. Гаврилина, 2005: Валидация региональной климатической модели ГГО. *Метеорология и гидрология*, № 1, 14-27.
- 8 Школьник И.М., В.П. Мелешко, Т.В. Павлова, 2000: Региональная гидродинамическая модель для исследования климата на территории России. *Метеорология и гидрология*, № 4, 32-49.
- 9 AchutaRao K., K.R. Sperber, 2006: ENSO simulation in coupled ocean-atmosphere models: are the current models better? *Climate Dynamics*, 27, 1-15.
- 10 ACIA: Arctic Climate Impact Assessment, 2005: *Cambridge University Press*, 1042pp
- 11 Arzel, O., T. Fichefet, and H. Goosse, 2006: Sea ice evolution over the 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> centuries as simulated by the current AOGCMs. *Ocean Modelling*, 12, 401-415.
- 12 Boer, G. J., 2000: Analysis and verification of model climate. In: *Numerical Modeling of the Global Atmosphere in the Climate System* [Mote, P., and A. O'Neill (eds)]. NATO Science Series C-550. Kluwer Academic Publishers, 517 pp.
- 13 Bony S., R. Colman, V. Kattsov, R. Allan, C. Bretherton, J.-L. Dufrense, A. Hall, S. Hallegatte, M. Holland, W. Ingram, D. Randall, B. Soden, G. Tselioudis, M. Webb, 2006: How well do we understand and evaluate climate change feedback processes? *Journal of Climate*, 19, 3445-3482.
- 14 Fu C.B., et al., 2005: Regional Climate Model intercomparison project for Asia. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 86(2), 257-266, doi: 10.11/BAMS-86-2-257.
- 15 Giorgi F. and L. Mearns, 1999: Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *J. Geophysical Res.*, 104, D16, 6335-6352.
- 16 Kattsov, V.M., J.E. Walsh, W.L. Chapman, V.A. Govorkova, T.V. Pavlova, and X. Zhang, 2007: Simulation and Projection of Arctic Freshwater Budget Components by the IPCC AR4 Global Climate Models. *J. Hydrometeorology*, 8, 571-589.
- 17 Kiehl J.T., R.T. Trenbert, 1997: Earth's annual global mean energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78, 197-199.
- 18 Legates D. R. and C.L. Willmott, 1990: Mean seasonal and spatial variability in gauge corrected global precipitation. *Int. J. Climatol.*, 10, 111-133.
- 19 Meehl G. A. and C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st Century. *Science*, 305, № 5686, 994-997.
- 20 Miller R.L., G.A. Schmidt, D.T. Shindell, 2006: Forced variations of annular modes in the 20<sup>th</sup> century IPCC AR4 simulations. *Journal of Geophysical Research*, 111, D18101, doi:10.1029/2005JD006323.

- 21 New M., M. Hulme, P. Jones, 2000: Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface temperature. *Journal of Climate*, **13**, 2217 - 2238.
- 22 New M., M. Hulme, P. Jones, 1999: Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate*, **12**, 829 - 856.
- 23 Osborn T.J., 2004: Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics*, **22**, 605–623.
- 24 Raschke E, A. Ohmura, W.B. Rossow, B.E. Carlson, Y.-C. Zhang, C. Stubenrauch, V. Kottke and M. Wild, 2005: Cloud effects on the radiation budget based on ISCCP data (1991 to 1995). *International Journal of Climatology*, **25**, 1103-1125.
- 25 Rayner N.A., D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, L.V. Alexander, and D.P. Rowell, E.C. Kent, A. Kaplan, 2003: Global analysis of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, **108** (D14), doi:10.1029/2002JD002670.
- 26 Räisänen J., U. Hansson, A. Ullerstig, R. Döscher, L.P. Graham, C. Jones, M. Meier, P. Samuelsson and U. Willén, 2004: European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dyn.*, **22**, 1, 13-31.
- 27 Roesch, A., 2006: Evaluation of surface albedo and snow cover in AR4 coupled climate models. *J. Geophys. Res.*, **111**, D15111, doi:10.1029/2005JD006473.
- 28 Rossow W.B., A.W. Walker, D.E. Beusichel and M.D. Roiter, 1996: International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) documentation of new cloud datasets. *WMO/TD-737*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 115 pp.
- 29 Sun Y., S. Solomon, A. Dai, R.W. Portmann, 2006: How Often Does It Rain? *Journal of Climate*, **19**, 916-934.
- 30 Vavrus S., J.E. Walsh, W.L. Chapman, D. Portis, 2006: The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. *International Journal of Climatology*, **26**, 1133-1147
- 31 Walsh J.E., W.L. Chapman, 1998: Arctic cloud-radiation-temperature associations in observational data and atmospheric reanalyses. *Journal of Climate*, **11**, 3030-3045.
- 32 Xie P., Arkin P.A., 1998: Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing longwave radiation. *Journal of Climate*, **11**, 137-164.

### **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**

Обеспечение надежности и устойчивости функционирования отраслей экономики требует проведения государственной политики в области изучения использования и охраны природных ресурсов. Одним из видов природных ресурсов является климат, который в значительной мере определяет доступность и качество продуктов питания, воды, топлива, т.е. уровня жизни. Поэтому климат, наряду с другими природными ресурсами, должен быть включен в состав национальных богатств страны и в этом качестве участвовать в их экономическом анализе. Для достижения устойчивого развития страны, т.е. построения устойчивой экономической и общественной инфраструктур, а так же гибких социальных систем в условиях меняющегося климата, необходимо принятие комплекса экономических, технических, социальных, административных и даже политических мер.

Являясь важнейшими частями экономики, энергетический и агропромышленный комплексы имеют ключевое значение для развития целого ряда смежных отраслей: промышленности, транспорта, социальной сферы и др.

Влияние изменения климатических условий на работу всех отраслей энергетического сектора экономики в настоящее время не вызывает сомнений. В последние годы в ГГО разработана система специализированных климатических показателей для каждого этапа производства, передачи и использования энергии. Эти показатели выражают воздействие климата на объекты и процессы данного цикла. Хотя все циклы зависят от климата в целом, для каждого цикла можно выделить свойственные ему в первую очередь воздействия, которые характеризуют тот или иной конкретный климатический показатель. Эти показатели различаются для разных циклов. Например, основным опасным явлением при добыче нефти и газа служит число дней с грозой, а для добычи торфа – повторяемость опасного тумана; в расчёты АЭС входят значения температуры воздуха, ветра и снежного покрова, возможные 1 раз в 10 000 лет, а в расчёты ВЭС – средний куб скорости ветра. Более подробно специализированные показатели, или «индексы влияния», как их называют, рассматриваются в разделах, посвященных конкретным циклам.

Для исследования возможных изменений температуры воздуха, количества осадков и скорости ветра в 21 веке в данной работе были использованы результаты расчетов,

выполненных коллективом сотрудников ГГО под руководством В.П.Мелешко, на основе ансамбля климатических моделей (моделей МГЭИК). В рамках данного подхода оценки возможных изменений климата на территории Белоруссии были выполнены с применением шести МОЦАО при реализации двух сценариев (А2 и В2) для двух двадцатилетий в пределах 21 в.

Для анализа климатических условий за прошедший период были использованы данные за 1961-2000 гг. на 50 метеостанциях республики.

Развитие в России агрометеорологии и агроклиматологии было связано, прежде всего, с задачами прогнозирования урожайности и агроклиматического районирования сельскохозяйственных территорий. Результатом многолетних научных разработок первой из этих проблем стали разнообразные, главным образом эмпирико-статистические, модели прогнозирования урожайности заблаговременностью до нескольких месяцев для разных культур в различных регионах страны. Помимо эмпирико-статистических, в конце 80-х годов XX столетия в России стали развиваться и прогностические модели, базирующиеся на физических и физиологических предпосылках. Основы этого подхода были заложены в работах, выполненных в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова в Ст.Петербурге в 1960-е годы.

В последние 15-20 лет, когда проблема антропогенных изменений глобального климата стала привлекать всеобщее внимание, в России был выполнен ряд важных разработок по проблеме агроклиматических последствий изменений климата.

Использование в данном проекте прогнозов будущего климата для середины XXI столетия, полученных с применением ансамбля МОЦАО, даёт основание считать, что полученные оценки агроклиматических последствий глобального потепления более надёжны, нежели расчёты с использованием одной, пусть даже высококачественной модели климата.

\



### 3.1 Специализированные характеристики для оценки последствий изменения климата для энергетики и сельского хозяйства

#### 3.1.1. Специализированные характеристики для оценки последствий изменения климата для энергетики

Энергетическая отрасль включает добычу топлива, его транспортировку, преобразование в тепловую и электрическую энергию, энергопередачу, распределение и потребление энергии (рисунке 3.1).

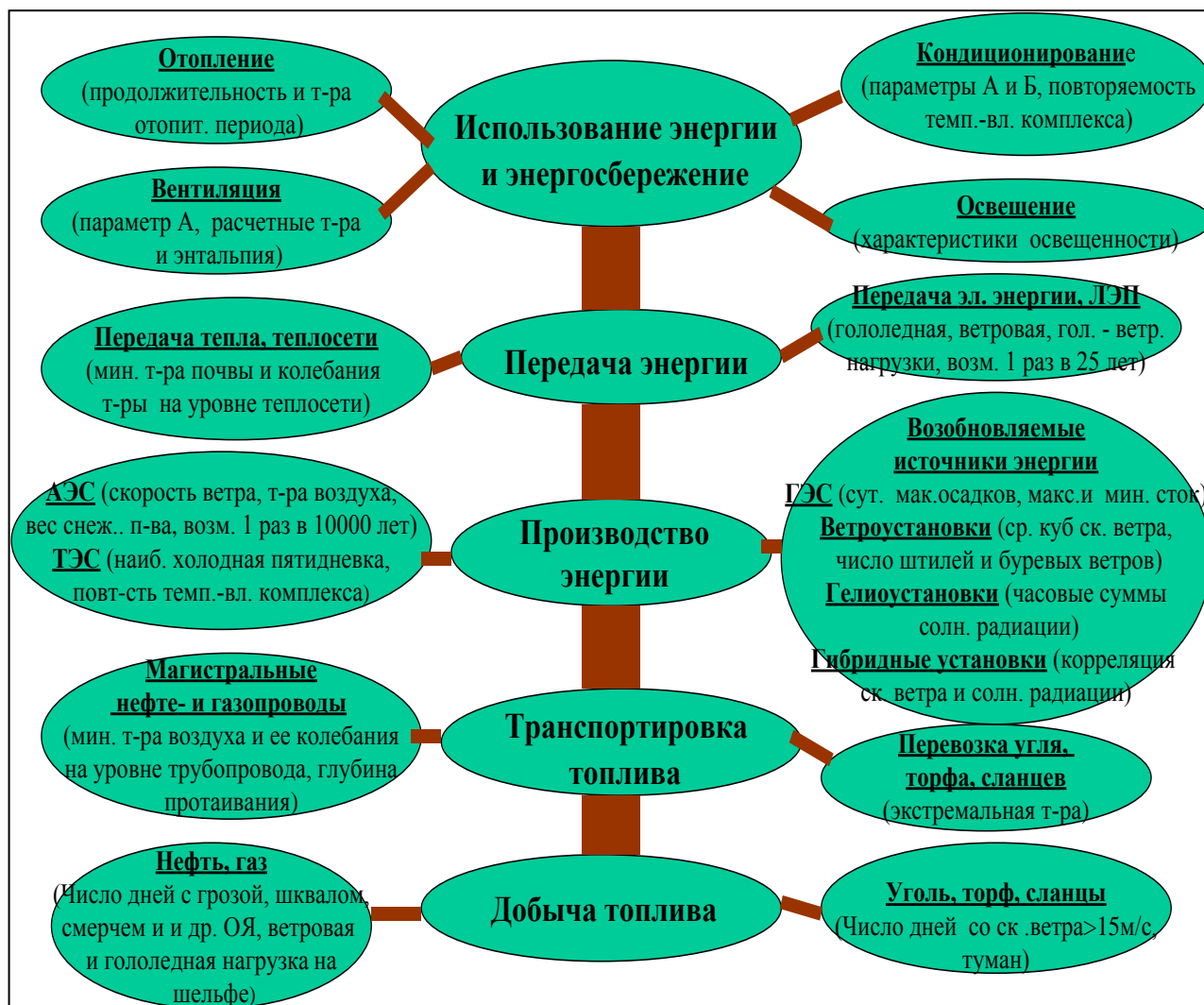


Рисунок 3.1. «Дерево» энергоклиматических ресурсов

Все перечисленные составляющие энергетики являются климатозависимыми и одновременно климатообразующими. Однако, как следует из рисунка 3.1, на них влияют разные особенности климата, которые выражены соответствующими специализированными показателями. В данной работе произведен анализ специализированных климатических параметров для отраслей энергетики, наиболее важных для территории Беларуси, т.е. традиционных и альтернативных источников энергии, а также передаче энергии по ЛЭП.

*Атомная и тепловая энергетика.* Климатическая информация в тепловой и ядерной энергетике используется, прежде всего, при проектировании и строительстве энергетических объектов. Строительство энергоисточников опирается на такие нормативные климатические сведения, учёт которых обеспечивает надёжность и долговечность сооружения.

Безопасность функционирования АЭС в значительной мере определяется климатическими условиями. Специализированными климатическими показателями для работы атомных электростанций по установке МАГАТЭ служат: вероятность смерчей, скорость ветра и температура, возможные 1 раз в 10 000 лет, повторяемость штилей. Большие значения всех указанных показателей являются опасными для безаварийной работы АЭС. Выбор этих характеристик объясняется следующими причинами: АЭС являются строениями повышенного класса надёжности. Поэтому, по рекомендации МАГАТЭ при расчете ветровой нагрузки на эти сооружения используются расчетные скорости ветра редкой повторяемости (1 раз в 10 000 лет).

Влияние смерча проявляется в резком возрастании скорости ветра, которая может превысить 40 м/с, перепаде давления, воздействии летящих предметов.

Для нормальной работы АЭС важно бесперебойное функционирование конечного поглотителя тепла (КПТ). Конечным поглотителем тепла является атмосфера, водоем (пруд-охладитель) или грунтовые воды, представляющие собой среды, в одну из которых (или во все) переводится остаточное тепло при нормальной эксплуатации, при ожидаемых при эксплуатации событиях или аварийных условиях. Пруд-охладитель должен рассеивать остаточное тепло без подпитки бассейна в течение конкретного минимального промежутка времени (обычно 30 дней) в случае наименее благоприятных условий окружающей среды. Следовательно, необходима информация о тех критических характеристиках окружающей среды, которые имеют решающее значение с точки зрения теплообмена и потерь воды. Поэтому, еще одним из основных специализированных показателей климатических ресурсов является абсолютный максимум температуры воздуха.

Для того чтобы возможные выбросы радиоактивных веществ не накапливались в ближайшем окружении станции, необходима хорошая продуваемость территории. Следовательно, очень важной является информация о повторяемости штилей.

Указанный комплекс специализированных климатических показателей для безаварийного функционирования АЭС довольно близок к климатическим характеристикам, необходимым для оптимальной работы ТЭС. При задании проектной мощности ТЭС обязательным условием выступает учёт расчётных температур воздуха:

температура наиболее холодных суток и пятидневки обеспеченностью 0,98, а также самая жаркая декада. Последняя характеристика наряду с температурно-влажностным комплексом используется для проектных расчётов прудов-охладителей.

Специализированными климатическими показателями для работы ТЭС служат также: вероятность смерчей, максимальное годовое число дней, возможное 1 раз в 100 лет с опасным ветром, среднее число дней с температурой воздуха выше 30<sup>0</sup>С и относительной влажностью менее 50% за год. Чем выше значения указанных климатических показателей, тем хуже условия для нормальной работы ТЭС.

***Передача энергии на ЛЭП.*** ЛЭП разрушаются при нагрузках, превышающих критические значения, что сказывается на энергоснабжении значительной территории в районе ЛЭП.

Поэтому специализированными климатическими показателями для ЛЭП являются: максимальная гололедно-ветровая и ветровая нагрузки, а также число дней с опасными явлениями погоды (гроза, град, ливень, снегопад).

Если наблюдаемая стенка гололеда превышает 260 мм<sup>2</sup> при скорости ветра более 10 м/с, или отложение мокрого снега составляет более 3500 мм<sup>2</sup> при скорости ветра более 6 м/с, возможно повреждение или разрушение ЛЭП.

Значительную опасность для ЛЭП могут представлять и опасные явления погоды (прежде всего, гроза, т.к. грозовые разряды могут вызвать возгорание ЛЭП). Поэтому информация о числе дней с грозой в данном районе позволит выбрать оптимальные параметры грозозащиты.

При высоких температурах воздуха происходит растяжение проводов, при этом возможно их провисание и контакт с соседними проводами, который вызовет короткое замыкание. В связи с этим информация о температурном режиме необходима для выбора соответствующей конструкции и материалов для ЛЭП.

***Возобновляемые источники энергии*** - это источники энергии, действующие на основе постоянно существующих (солнечная, геотермальная) или периодически возникающих (ветровая, волновая, приливная) процессов в природе, а также при жизненном цикле растительного и животного мира и человека (биомасса).

***Гелиоэнергетика.*** Основной базовой специализированной характеристикой для гелиоэнергетики является количество солнечной энергии, поступающей на плоскость гелиоприемника, наклоненного на определенный угол. На основе этих расчетов с учетом теплофизических характеристик гелиоприемника определяется удельная годовая энерговыработка солнечной установкой, являющаяся характеристикой технического

потенциала и на начальном этапе разработки определяющая целесообразность и эффективность применения СЭУ в данной местности. В связи с этим к расчету суммарной радиации на наклонные поверхности предъявляются повышенные требования относительно их достоверности.

Расчеты суммарного прихода солнечной радиации на наклонные поверхности необходимо производить с использованием часовых сумм прямой, рассеянной и отраженной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, учитывая анизотропность распределения рассеянной радиации.

Для этой цели может быть использована модель, разработанная Дж.Хеем (J.E.Hay), учитывающая основную особенность углового распределения рассеянной радиации – максимум ее интенсивности в околосолнечной зоне. Количественно определить границы допустимости изотропного приближения для отраженной радиации очень сложно, поэтому при расчете суммарной радиации, поступающей на гелиоприемники, ориентируемые на юг, доля отраженной радиации в данной модели определяется приближенно в предположении изотропности ее распределения. Суммарный суточный приход радиации на наклонную поверхность в этом случае представляется выражением:

$$Q_{\alpha} = S \int_{t_1}^{t_2} \cos \Theta dt + D_{\alpha} + Q \cdot A_k \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{2} \quad (1)$$

$$D_{\alpha} = D \cdot \left[ \left( \frac{Q - D}{E_{внеатм.}} \right) \cdot \frac{\cos \Theta}{\cos Z} + \left( 1 - \frac{Q - D}{E_{внеатм.}} \right) \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right] \quad (2).$$

где:

$D$  и  $Q$  – рассеянная и суммарная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность,  $A_k$  – альbedo земной поверхности.

$E_{внеатм.}$  - внеатмосферная радиация,

$\Theta$  - угол падения прямого солнечного излучения,

$Z$  - зенитный угол солнца

$\alpha$  - угол наклона поверхности к горизонту

$t_1$  – время восхода солнца;  $t_2$  – время захода солнца.

Прямая радиация, поступающая на наклонную поверхность  $S_{\alpha}$ , определяется через прямую радиацию на перпендикулярную поверхность  $S_{\perp}$  по формуле:

$$S_{\alpha} = S_{\perp} [\cos(\varphi - \alpha) \cos \delta \cdot \cos \tau + \sin(\varphi - \alpha) \cdot \sin \delta] \quad (3)$$

где:

$\varphi$  - широта места,  $\delta$  - склонение солнца,  $\tau$  - часовой угол солнца.

*Ветроэнергетика.* Основными специализированными климатическими параметрами для развития ветроэнергетики служат:

- = квантили ветрового напора;
- = вертикальный профиль максимальной скорости ветра и коэффициента порывистости;
- = интенсивность турбулентности;
- = средний куб скорости ветра (месячной и годовой);
- = коэффициент вариации скорости ветра;
- = повторяемость и средняя непрерывная продолжительность энергозатиший, рабочих и “буревых” скоростей”
- = повторяемость гололедно-изморозевых отложений.

Выбор этих параметров определяется исходя из особенностей динамики ветрового потока.

При изменении климатических условий наиболее важным для развития ветроэнергетики климатическим параметром можно считать изменение среднего куба скорости ветра. Потенциальная энергия ветрового потока оценивается по формуле

$$E = \frac{1}{2} \rho u^2 v, \quad (4)$$

где  $E$  - кинетическая энергия движущегося объема воздуха,  $\rho$  — плотность воздуха,  $u$  — скорость ветра,  $v$  - объем движущегося потока воздуха.

Если принять, что через площадь  $S$ , перпендикулярную ветровому потоку, за 1 сек. протекает объем воздуха  $V$  (равный  $S \cdot u$ ), тогда выражение для мощности ветрового потока  $N$  будет иметь вид:

$$N = \frac{1}{2} \rho u^3 S \quad (5)$$

*Гидроэнергетика.* Основными специализированными климатическими показателями для работы гидроэлектростанций служат:

- месячные суммы осадков;
- коэффициенты вариации месячного количества осадков;
- суточный максимум осадков;
- скорость ветра более 15 м/с
- запас воды в снеге;

- интенсивность снеготаяния.

В настоящее время во всем мире уделяется особое внимание малой гидроэнергетике, для которой влияние климатических условий непосредственно в районе расположения ГЭС приобретает особенно большое значение.

От количества осадков в бассейне реки зависит сток и, следовательно, объем притока в водохранилище, уровни в верхнем и нижнем бьефе. Большая изменчивость месячных сумм осадков, которая характеризуется коэффициентом вариации месячных сумм осадков, снижает выработку электроэнергии ГЭС. Большие паводковые воды, мощные ливневые осадки осложняют эксплуатацию гидроэлектростанций. Если фактический объем притока оказывается больше среднего многолетнего, это приводит к холостым сбросам воды и потере ее как ресурса дешевой энергии. Если же фактический объем притока окажется меньше нормы, то водохранилище ГЭС окажется незаполненным до нормального уровня, и ГЭС будет вынуждена определенное время работать при пониженном напоре, а значит, при том же расходе воды вырабатывать меньше энергии. Особенно важны колебания притока, вызывающие изменения уровня горизонта воды, для малых ГЭС. Чрезмерное его повышение или понижение могут привести к повреждению турбин или береговых опор.

Нормы притока в период половодья зависят, прежде всего, от интенсивности снеготаяния. Скорость снеготаяния и его период определяется количеством солнечной радиации, температурой воздуха, скоростью ветра и влажностью воздуха. Для приблизительной оценки объем стока можно считать равным 0.7 от запаса воды в снеге при периоде таяния меньше 5 дней и равным 0,5 при более длинном периоде таяния.

При изменении климатических условий на работу ГЭС в первую очередь сказывается изменение режима осадков и стока в период снеготаяния.

*Тепловые насосы.* Тепловые насосы являются относительно новым техническим средством, при помощи которого можно использовать низко потенциальное тепло земли практически на любой территории. Большое число таких систем функционируют в США, Канаде и странах центральной и Северной Европы. В России пока построены лишь единичные объекты.

Принцип работы теплового насоса аналогичен принципу действия холодильника. Основная часть насоса состоит из трех агрегатов: теплообменника (испарителя), компрессора, повышающего давление, и конденсатора. Эти агрегаты связаны между собой замкнутым трубопроводом. В системе трубопровода циркулирует хладагент, который в одной части цикла представляет собой жидкость, а в другой – газ. Этот хладагент

переносит тепло из одной части системы в другую, переходя в различные агрегатные состояния. Источником тепла может выступать скалистая порода, земля (грунт) или вода. Трубопровод, в котором циркулирует теплоноситель, опускается в скважины, пробуренные в земле на глубину от 15 до 30 метров. В буровую скважину устанавливается трубопровод, имеющий форму буквы «U». При этом коллектор, объединяющий трубопроводы зарывают в землю ниже уровня промерзания почвы.

Основными специализированными климатическими характеристиками для работы тепловых насосов являются расчетные теплопотери здания и глубина промерзания почвы.

Данные о теплопотерях здания необходимы для того, чтобы выбрать тип и мощность теплового насоса. При расчете теплопотерь учитываются основные параметры здания, температура воздуха внутри здания и параметры наружного воздуха (температура, ветер, радиация).

Так как все составные части земляных контуров системы теплового насоса должны устанавливаться на глубину ниже слоя промерзания, то необходимо знать глубину этого слоя для каждого района.

### **3.1.2. Специализированные характеристики для оценки последствий изменения климата для сельского хозяйства**

Агроклиматические ресурсы территории оцениваются с помощью агроклиматических показателей, оказывающих существенное влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур и определяющих обеспеченность растений главным образом теплом и влагой. В условиях достаточной влагообеспеченности растения максимально используют солнечное тепло и накапливают наибольшее количество биомассы. При недостатке влаги использование тепла ограничивается и тем больше, чем меньше влагообеспеченность, что приводит к снижению продуктивности.

В качестве основного агроклиматического показателя, определяющего ресурсы тепла и потребность в них сельскохозяйственных культур, принята сумма средних суточных температур воздуха выше 10°C, поскольку она характеризует период активной вегетации большинства растений.

Дифференциация территории по условиям влагообеспеченности обычно производится по показателю увлажнения, который чаще всего представляет собой отношение осадков к испаряемости. Из большого числа предложенных разными учеными показателей наиболее широко применяются гидротермический коэффициент Г.Т.Селянинова, показатели увлажнения П.И. Колоскова, Д.И.Шашко, С.А.Сапожниковой.

Для зимующих культур необходима дополнительная оценка климата территории по условиям перезимовки.

В настоящее время в агроклиматических исследованиях определилась новая направленность: агроклиматические ресурсы оцениваются как климатические возможности, которые имеет какая-либо территория для получения сельскохозяйственной продукции, а формой представления агроклиматических ресурсов являются сведения о продуктивности культур в зависимости от климатических особенностей территории. Сравнительная оценка биологической продуктивности климата (агроклиматических ресурсов) выражается в абсолютных (урожайность в ц/га) или относительных (баллах) величинах.

Влияние ресурсов тепла и соотношения тепла и влаги на биологическую продуктивность учитывает комплексный показатель Д.И.Шашко — биоклиматический потенциал (БКП):

$$\text{БКП} = \frac{\sum t > 10^{\circ}\text{C}}{\sum t_{\text{ак(баз)}}} \quad (5)$$

где  $K_p(ky)$  – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения;  $\sum t > 10^{\circ}\text{C}$  - сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ , выражающая теплообеспеченность растений в данном месте;  $\sum t_{\text{ак(баз)}}$  – базисная сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации, т.е. сумма, относительно которой проводится сравнительная оценка.

В качестве базисных могут быть взяты разные суммы температур:  $1000^{\circ}\text{C}$  - для сравнения с продуктивностью на границе возможного массового полевого земледелия;  $1900^{\circ}\text{C}$  - для сравнения со средней продуктивностью, свойственной южнотаежно-лесной зоне;  $3100^{\circ}\text{C}$  - для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста.

В приведенной формуле коэффициент роста (коэффициент биологической продуктивности)  $K_p(ky)$  представляет собой отношение урожайности в данных условиях влагообеспеченности к максимальной урожайности в условиях оптимального увлажнения и рассчитывается по формуле:

$$K_p(ky) = \lg(20 K_{\text{увл}}) \quad (6)$$

где  $K_{\text{увл}} = P / \sum d$  – коэффициент годового атмосферного увлажнения, равный отношению количества осадков к сумме средних суточных значений дефицита влажности воздуха.

При значении  $K_{\text{увл}} = 0,50$  создаются оптимальные условия для влагообеспеченности растений. В этих условиях  $K_p(ky)$  принимает значение единицы.

С величинами БКП связаны урожайность отдельных культур, валовой выход продукции, доходность и пр. В Беларуси, относящейся к южнотаежно-лесной зоне,



средняя продуктивность культур широкого ареала (зерновых) соответствует значению БКП  $\approx 1,9$ , которое принимается за эталон (100 баллов). Переход от БКП к баллам осуществляется по формуле:

$$B_k = K_p(k_y) (\sum t > 10^\circ\text{C} * 100)/1900 = 55 \text{ БКП}, \quad (7)$$

где Бк - климатический индекс биологической продуктивности в баллах (относительно средней продуктивности); 55 - коэффициент пропорциональности, определенный по связи средних значений БКП и продуктивности зерновых при агротехнике на уровне госсортоучастков.

Величина биоклиматического потенциала, выраженная в баллах, служит основным показателем оценки агроклиматической значимости климата и приблизительно отображает биологическую продуктивность зональных типов почв, ибо урожайность зависит от плодородия почвы и характеризует благоприятность климата. Таким образом, для оценки агроклиматических ресурсов использован специализированный показатель — климатический индекс биологической продуктивности (Бк), значения которого изменяются по территории Беларуси от 110 до 130 баллов.

## **3.2. Результат последствий изменения климата на энергетику**

### **3.2.1. Влияние изменения климата на работу АЭС и ТЭС**

Наиболее важными характеристиками для работы АЭС и ТЭС являются повторяемость опасных явлений (ОЯ), связанных с экстремальными значениями температуры воздуха и скорости ветра.

Значения этих характеристик по территории республики Беларусь за период с 1961 по 2001 гг. менялись следующим образом:

- наблюдалось уменьшение максимальных скоростей ветра примерно на 1 м/с, при этом повторяемость штилей увеличилась с 5 до 7%,

- рост годовых максимумов температуры воздуха составил около  $1-2^\circ\text{C}$ .

В соответствии с результатами расчетов на основе ансамбля моделей МГЭИК к середине текущего столетия по сценарию сильного потепления средние годовые температуры воздуха на всей территории Беларуси возрастут. Величина потепления для большей части территории республики составит около  $1,5^\circ\text{C}$ . На севере Беларуси величина потепления несколько меньше ( $0,5 - 1,0^\circ\text{C}$ ). Наибольшее потепление ожидается на юго-востоке республики (более  $2,0^\circ\text{C}$ ).

По сценарию слабого потепления также ожидается увеличение средних годовых температур на всей территории Беларуси, однако, несколько меньшее, чем по сценарию сильного потепления (на  $0,1 - 0,3^\circ\text{C}$ ). Поскольку ход изотерм по обоим сценариям

аналогичен, то по данному сценарию также наибольшее потепление ожидается на юго-востоке республики ( $>1,5^{\circ}\text{C}$ ), а потепление на севере составит  $0,5 - 0,8^{\circ}\text{C}$ .

К периоду 2080-99 гг. по сценарию сильного потепления ожидается дальнейшее увеличение средней температуры воздуха. По сравнению с серединой века температура воздуха возрастет еще примерно на  $1,0^{\circ}\text{C}$ . По сценарию слабого потепления температура воздуха по сравнению с серединой века возрастет незначительно ( $0,1 - 0,3^{\circ}\text{C}$ ).

Предполагается, что увеличение максимальных температур воздуха будет не таким заметным как средних температур. Тем не менее, принимая во внимание возрастание изменчивости климата, можно ожидать в отдельные годы значения температуры, превосходящие величины, указанные в нормативных документах. Результаты моделирования для скорости ветра являются менее надежными. Поэтому в данной работе они не учитывались.

Таким образом, на основе отмечаемых в настоящее время тенденций изменения температурных и ветровых показателей, а также учитывая результаты модельных расчетов для температуры воздуха, можно сделать следующие выводы о проекции климатических условий, определяющих функционирование АЭС и ТЭС, а также определить необходимые адаптационные мероприятия.

Относительно неблагоприятные условия для работы АЭС и ТЭС могут сложиться на юго-востоке республики, где рост максимальных температур воздуха наблюдается на фоне более высоких значений этой характеристики. Кроме того, он сочетается с уменьшением количества осадков в летний период. Эти факторы, действуя совместно, приводят к нагреванию прудов-охладителей и затрудняют функционирование охладительных систем АЭС и ТЭС. Отмечаемое здесь увеличение повторяемости штелей может привести к накоплению радиоактивных веществ в ближайшем окружении АЭС. На данной территории необходимо обеспечить дополнительные возможности для охлаждения рабочих блоков электростанций, а также сделать более надежной работу очистительных систем, чтобы свести к минимуму возможное загрязнение воздуха.

В северных районах республики максимальные температуры воздуха более низкие, и их рост представляет меньшую опасность для работы АЭС и ТЭС. Поэтому указанные районы являются оптимальными для размещения электростанций этих типов.

Несмотря на уменьшение средних скоростей ветра, число опасных явлений, связанных с ветром, по-прежнему велико. Поэтому необходимо ужесточить требования к проектировочным характеристикам электростанций, чтобы повысить надежность их работы в тех случаях, когда максимальные скорости ветра выходят за пределы проектных значений.

### **3.2.2. Влияние изменения климата на ЛЭП**

Поскольку скорость ветра на территории Беларуси в целом уменьшилась, частота аварий за счет ветровых нагрузок должна несколько сократиться. Вместе с тем, гололедные нагрузки в связи с потеплением, вероятно, возрастут. В этом случае следует рассчитать повторяемость «занормативных» нагрузок и рассмотреть меры по укреплению опоры ЛЭП. Кроме того, раннее предупреждение позволит своевременно задействовать другие источники энергоснабжения республики. Ущерб от разрушения участков ЛЭП при нагрузках, значительно превышающих расчетные, неустраним и может составить несколько сотен миллионов российских рублей.

### **3.2.3. Влияние изменения климата на возобновляемые источники энергии**

*Гелиоэнергетика.* Территория республики Беларусь является умеренно перспективной для широкого использования гелиотехнических устройств. Вследствие большой повторяемости облачной погоды годовая продолжительность солнечного сияния составляет менее 2000 часов. В среднем 250 дней в году пасмурных, 85 с переменной облачностью и 30 ясных, а среднегодовое поступление солнечной энергии на земную поверхность с учетом ночей и облачности составляет 243 кал на 1 см<sup>2</sup> за сутки, что эквивалентно 2,8 кВтч/м<sup>2</sup>, а с учетом КПД преобразования для гелиоэлектричества (12%) - 0,3 кВтч/м<sup>2</sup>. На широте Минска с апреля по сентябрь на квадратный метр поверхности падает 297600 МДж солнечной энергии

Согласно долгосрочному прогнозу ГГО, рассчитанному по ансамблю различных гидродинамических моделей атмосферы, изменения в годовом приходе солнечной радиации в условиях меняющегося климата на территории Беларуси будут незначительными (0±2%).

В таблице 3.1 наряду с величиной природного солнечного энергетического потенциала территории республики Беларусь, относящегося к 1 м<sup>2</sup> площади земной поверхности, приводится его изменение к концу первого 30-летия XXI века, а также величина технического потенциала, относящиеся к 1 м<sup>2</sup> гелиоприемника - фотоэлектрической батареи или солнечного коллектора.

Себестоимость электроэнергии, получаемой за счет энергии солнца, пока десятикратно превышает ее производство на других источниках. Поэтому в ближайшее время эта составляющая производства электроэнергии будет практически не ощутима. Основными направлениями использования энергии солнца на территории республики вероятно станут гелиоводоподогреватели и различные гелиоустановки для интенсификации процессов сушки и подогрева воды в сельскохозяйственном

производстве. За счет использования солнечной энергии в эти целях возможно замещение 25 тыс. т у.т. в год органического топлива.

Таблица 3.1

Удельные ( на 1 м<sup>2</sup>) природные и технические солнечные ресурсы

Природный потенциал солнечной энергии (кВт·ч/м <sup>2</sup> )		Технический потенциал солнечной энергии (кВт·ч/м <sup>2</sup> ) (1981-2000 гг)	
Фактический за период (1981-2000 гг)	Средняя по району прогнозируемая аномалия (%), на период 2011-2030 гг.	Электрическая энергия кВт·ч/м <sup>2</sup>	Тепловая Энергия тыс.ккал/м <sup>2</sup>
1200-1650	-0.2	180-250	470-645

*Ветроэнергетика.* В настоящее время установлен факт заметного ослабления скорости ветра во внутриконтинентальных частях Евразийского материка, которое началось с конца 1960-1970 г.г. Доказано, что основной причиной ослабления ветра, которое во внутренних частях континента происходит до настоящего времени, является ослабление интенсивности атмосферной циркуляции. Особенность отмечаемого явления характеризуется тем, что общий уровень падения скорости ветра (уменьшение нормы скорости) сочетается с одновременным увеличением повторяемости слабых ветров (так называемых «энергетических» штилей) и уменьшением повторяемости «буревых» скоростей. В то же время повторяемость диапазона «энергоактивных» скоростей ветра, то есть ветров умеренных, при которых как раз и происходит выработка основной доли энергии ветровыми установками, в последние 20 лет мало изменилась по сравнению с предшествующими десятилетиями. Обобщая результаты изучения временной изменчивости в вековом ходе скорости на территории стран СНГ, можно констатировать постепенное снижение ее к концу XX столетия, которое не носит, однако, монотонного или плавного характера, а может быть выявлено путем скользящего осреднения по продолжительным временным интервалам. Опираясь на вышеизложенные данные векового хода ветра, исполнители определили тенденцию к изменению потенциала ветровой энергии на ближайшие 10-20 лет. Для этого были использованы данные временного тренда в республике Беларусь.

В качестве меры изменения ветропотенциала рассчитывался коэффициент

$$K = P_{\Pi} / P_{\text{н}}, \quad (8)$$

где:  $P_{\Pi}$ - величина ветропотенциала, ожидаемая к 2015 году ,

$P_{\text{н}}$  – величина ветропотенциала за последние десятилетия.

Диапазон изменения ветропотенциала разбит на четыре градации:  $K < 0.5$  – значительное уменьшение ветропотенциала,  $K = 0.5 \div 0.8$  – умеренное уменьшение ветропотенциала,  $K = 0.8 \div 1.0$  – незначительное изменение ветропотенциала,  $K > 1.0$  – увеличение ветропотенциала.

На большей части территории Беларуси ожидается умеренное уменьшение ветропотенциала ( $K = 0.5 \div 0.8$ ).

Тем не менее, климатические условия республики Беларусь благоприятны для развития ветроэнергетики, главным образом для установки киловаттных двигателей. Даже несмотря на нестабильность ресурсных характеристик энергии ветрового потока, проявляющуюся в усилении ветра в дневное время и наличии ветроэнергетических максимумов в холодное время года, ветер является самым надежным источником энергии в пиковые периоды нагрузки энергосистемы.

При среднегодовой скорости ветра в Беларуси, равной 4,3 м/с, на четверти пригодной для ветроэнергетики территории местами она значительно превышает 5 м/с, что удовлетворяет мировым требованиям коммерческой целесообразности внедрения ветроэнергетики. Имеются районы, где среднегодовая скорость ветра достигает даже 6-8 м/с. Наиболее эффективно ветродвигатели можно использовать в зонах со среднегодовыми фоновыми скоростями выше 5 м/с: на возвышенных равнинах большей части севера и северо-запада, в центральной зоне Минской области, включая прилегающие к ней районы с запада, на Витебской возвышенности.

Современное состояние экономики республики диктует целесообразность использования ВЭУ мощностью от 50 до 70 кВт до 300-500 кВт. Малые ВЭУ могут быть соединены в цепь (как в ФРГ, Дании, Голландии, Польши и др.). В качестве заинтересованных организаций могут считаться дома отдыха, санатории, больницы, административные строения областей. Лучшие российские и белорусские ВЭУ небольшой и средней мощности при быстрой окупаемости под силу приобрести предпринимателям, что будет способствовать возрождению промышленности в отдалённых областях, а также появлению перспективы появления новых отраслей производства.

*Гидроэнергетика.* Все действующие ГЭС на территории Беларуси относятся к категории малых. Гидроузлы малых ГЭС имеют в своем составе небольшие водохранилища суточного регулирования, сильно зависящие от климатических условий.

Рост температуры воздуха, вызывающий повышенное испарение, может привести к уменьшению стока на реках республики и понизить выработку электроэнергии. В то же

время, зимнее потепление в последние десятилетия значительно улучшает ледовую обстановку на реках и способствует выработке большего количества энергии. Таким образом, изменение одной и той же климатической характеристики часто приводит к противоположным результатам в отношении какой-либо конкретной отрасли хозяйственной деятельности.

Изменение количества осадков на территории республики, наблюдаемое в настоящее время, отличается большой пестротой. Пространственные особенности изменения осадков за последние 30 лет заключаются в следующем /1/:

- в увеличении осадков на севере республики зимой и в отдельные месяцы теплого периода (июнь и сентябрь),

- в уменьшении осадков в южной и центральной части Беларуси.

Ожидается, что к середине XXI века в соответствии со сценарием сильного потепления на территории Белоруссии годовые суммы осадков увеличатся по сравнению с периодом 1981-2000 года в среднем на 150-200 мм. Наибольшее количество осадков (около 850 мм) ожидается в северной и юго-западной частях республики, наименьшее (около 750 мм) – в юго-восточной части.

По сценарию слабого потепления в северо-восточных и восточных районах годовые суммы осадков составят 850-900 мм, а в южных районах – 760-800 мм.

К концу столетия по сценарию сильного потепления в республике будет преобладать широтное распределение осадков. При этом на севере годовое количество осадков возрастет до 900 мм, а на юге – до 800 мм. Аналогичное распределение осадков ожидается и по сценарию слабого потепления.

В связи с небольшой точностью моделирования полей осадков на прогностических картах не отражены мезо-масштабные особенности распределения годовых сумм осадков (влияние высоты места, форм рельефа, водоемов и т.д.).

С учетом ожидаемого повышения зимних температур вероятно увеличение притока в осенне - зимний период, т.е. как раз тогда, когда возрастают бытовые нагрузки на энергетические системы. Поэтому можно сделать вполне обоснованный вывод о том, что гидроэнергетику и в частности малую гидроэнергетику на территории Беларуси развивать вполне целесообразно.

Для нивелирования последствий изменения климата, необходимо, во-первых, выбор оптимальной площадки для строительства ГЭС с учетом многолетних месячного и сезонного распределений осадков, а, во-вторых, в период эксплуатации ГЭС, обеспечение прогнозов сухой или дождливой погоды с заблаговременностью на срок от трех до 10 дней в районе водосбора. Прогноз осадков обеспечит оптимальную выработку энергии без

излишнего сброса воды. Полезны также долгосрочные прогнозы выпадения осадков и климатических аномалий.

*Тепловые насосы.* Очевидно, что вследствие роста зимних температур глубина промерзания почвы будет уменьшаться. По этой же причине теплопотери зданий также уменьшатся. В результате для поддержания комфортной температуры в здании будет достаточно менее мощных, а значит более экономичных типов тепловых насосов.

### **3.3. Оценка последствий изменения климата для сельского хозяйства.**

Для оценки влияния глобального потепления на сельское хозяйство были выполнены расчёты продолжительности периода с температурой воздуха выше 10°C ( $\tau$ ), сумм температур за этот период ( $\Sigma t$ ) и климатического индекса биологической продуктивности (Бк) по ансамблю климатических моделей до середины текущего столетия.

Сравнение полученных значений биологической продуктивности со значениями Бк, имеющими место в настоящее время, показывает, что к середине 21-го века биологическая продуктивность климата, характеризующая агроклиматические ресурсы, возрастёт на всей территории Беларуси. Особенно большое увеличение будет иметь место в Витебской и Могилёвской областях – на 28 баллов (рисунок 3.2). Значительно (на 25 баллов) индекс биологической продуктивности возрастёт в Брестской и Гомельской областях. В Гродненской и Минской областях ожидается сравнительно меньший рост Бк – менее 25 баллов.

Большое значение для оценки перспектив сельского хозяйства республики имеют результаты расчётов изменений продолжительности периода с температурой воздуха выше 10°C и сумм температур за этот период. Увеличение продолжительности указанного периода года мало меняется по территории и в целом для республики оценивается величиной 15-16 дней.

Суммы температур воздуха выше 10°C к середине столетия возрастут на 520-580°C, причём эти различия имеют существенную пространственную изменчивость. Больше всего увеличатся термические ресурсы в Минской и Гомельской областях, меньше всего – в Брестской и Витебской областях (рисунок 3.3).

Прогнозируемое изменение термического режима, имеющее следствием укорочение продолжительности периода вегетации сельскохозяйственных культур и уменьшение холодного сезона года, может иметь весьма существенное значение для сельского хозяйства республики.

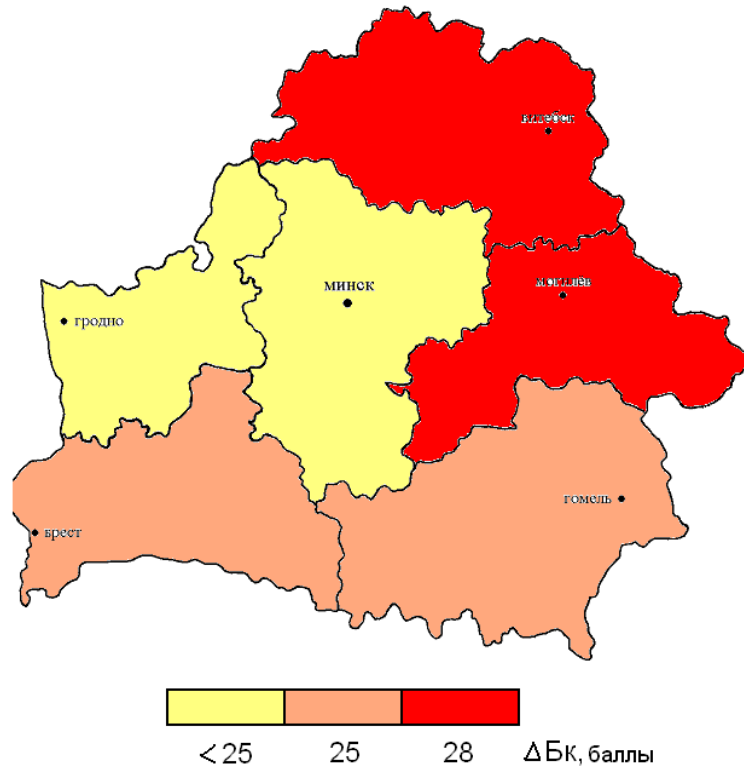


Рисунок 3.2. Изменение климатического индекса биологической продуктивности (Бк) к середине 21-го столетия в различных областях Беларуси.

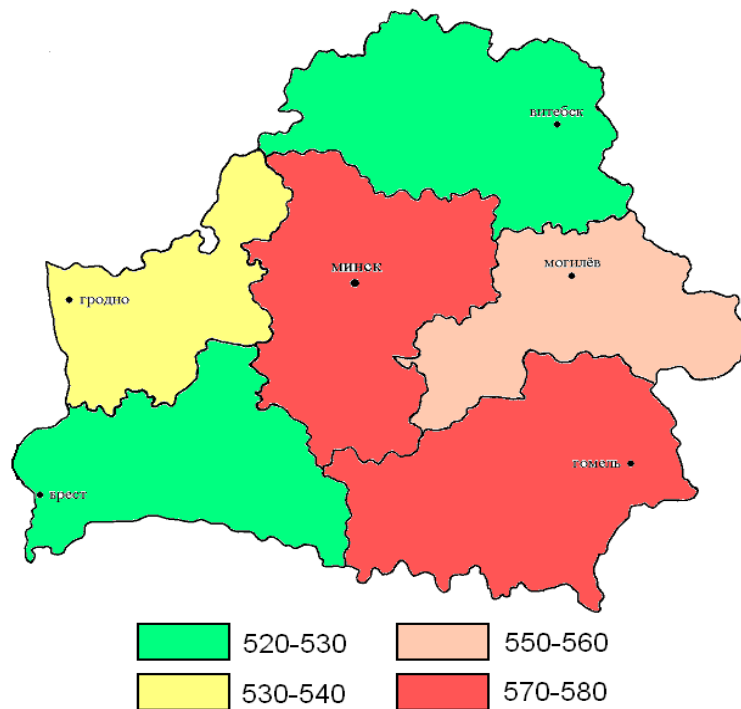


Рисунок 3.3. Изменение сумм температур (°C) за период с температурой воздуха выше 10° к середине 21-го столетия в различных областях Беларуси.



Такие изменения могут обеспечить возможность внедрения принципиально новых для земледелия технологий, при которых станет возможным выращивание второго урожая в год. Это в первую очередь относится к внедрению сортов, имеющих укороченный вегетационный период.

Как показывают результаты расчётов, при глобальном потеплении и сопутствующих ему изменениях климата в Беларуси возможны весьма серьёзные изменения показателей агрометеорологического режима и продуктивности климата.

### **Заключение**

Ввиду выраженной в последнее 30-летие нестационарности климата, становится необходимым чаще пересматривать климатические параметры, представленные в различных нормативных документах: СНиП «Нагрузки и воздействия», «Нагрузки на гидротехнические сооружения», а также в руководящих документах по проектированию тепловых и атомных электростанций.

Для реализации указанных выше адаптационных мер необходимо провести ряд исследований в области прикладной климатологии и на основе результатов этих исследований предпринять некоторые организационные и административные действия. В области научных исследований 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 объектов энергетического комплекса. Расчет вероятности таких показателей позволит 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 решения проблемы агроклиматических последствий изменений климата большое значение имеют исследования вариаций агроклиматических показателей, имевших место в последние десятилетия. Такие исследования дают возможность проследить за агроклиматическим эффектом от происходящих изменений климатических условий и сравнить их с вероятными прогнозами на будущее.

Оценка последствий развивающегося глобального потепления климата для сельскохозяйственного производства, как известно, носит региональный характер. Это обстоятельство требует проведения подробного исследования влияния современных изменений климата на сельское хозяйство и его адаптации к возможным отрицательным последствиям глобального потепления в рамках отдельных стран.

Таким образом, применение современных технологий, учитывающих изменение климатических условий, позволяет оценить перспективы развития различных отраслей энергетического комплекса, в том числе и возобновляемых источников энергии, а также уточнить возможные пути адаптации сельскохозяйственного производства к происходящим и ожидаемым изменениям климата.

#### **Список использованных источников**

1 Изменения климата Беларуси и их последствия. Под ред. В. Ф. Логинова. Минск: «Тонпик», 2003

2 Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. М.: «Колос», 1975.

3 Сиротенко О.Д. Усовершенствованная методика расчета оценок климатообусловленного риска для сельского хозяйства с учетом текущих изменений климата, Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей, СПб Гидрометеоздат, 2005.

4 Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: «Колос», 1967.

5 Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. С-Петербург: Гидрометеоздат, 2005.

#### **4. Проект 3.4. Совершенствование и развитие единых (унифицированных) форм и технологий представления климатических режимно-справочных пособий и иной продукции в интересах различных отраслей экономики (сельское, водное, жилищно-коммунальное хозяйство, строительство, транспорт, энергетика и т.д.)**

##### **Введение**

При составлении режимно-справочных пособий (НСП), предназначенных для выполнения задач по климатологическому обеспечению ветро- и гелиоэнергетики в первую очередь следует руководствоваться следующими соображениями. Создание нормативных документов по возобновляемым источникам энергии страны, возможностям и способам их учета с целью детальной утилизации упомянутых ресурсов для решения разнообразных экономических и экологических задач в конечном итоге сводится к нахождению различий между ветро- и гелиоэнергоресурсами в пунктах предполагаемого размещения ВЭС (СЭС) и пунктах, где производятся наблюдения за параметрами природной среды: ветра и солнца. Одним из принципиальных положений, ставших основой для составления научно-справочных пособий является выбор оптимального количества и схем размещения метеорологических станций, производящих регулярные измерения характеристик ветра и солнечной радиации. Исполнителями установлено, что для создания пособий по ветровому климату для территории России достаточно иметь ряды наблюдений по 200-250 "репрезентативным» метеостанциям, а по солнечному климату – около 120 станций. Такое количество метеостанций признано достаточным как для выявления макромасштабной временной и пространственной изменчивости указанных элементов климата при составлении специализированных кадастровых материалов в электронном виде, так и для построения фоновых карт районирования территории страны [1-3, раздел 2].

Вторым важнейшим принципом, который должен быть принят при составлении упомянутых пособий является формирование однородных климатических рядов на отобранных метеостанциях, которые в дальнейших исследованиях целесообразно рассматривать по определению как опорные.

В [3 раздел 2] показано, что при формировании однородных метеорядов по характеристикам ветрового режима необходимо проведение специальных методических проработок по устранению по крайней мере пяти факторов, неучет которых приводит к искажениям в истинных значениях ветра как метеоэлемента, а следовательно, и к погрешностям в формируемых рядах исходных данных. При формировании рядов по характеристикам гелиоэнергетических ресурсов также необходим учет по крайней мере

таких факторов, как выбор оптимального расстояния между метеостанциями в регионе, устранение погрешностей, вызванных заменой или модификацией измерительных средств на станции, учет изменения сроков наблюдений.

Третье принципиальное положение сводится к учету долгопериодных колебаний метеоэлемента, вызванных общеклиматическими и астрономическими причинами. Ошибки, связанные с неполным учетом влияния последних на однородность рядов, излагаются, в частности, в ряде последних публикаций [4, 5 раздел 2].

Четвертый принцип, положенный в основу создания научно-справочных пособий по ветро- гелиоэнергетическим ресурсам страны (региона) состоит в том, что при определении исходных значений метеовеличин должны быть учтены особенности характера подстилающей поверхности, в частности орографии. Учет орографии позволяет скорректировать влияние альтитуды местности на прирост ветра с высотой для задач ветроэнергетики и изменение прозрачности атмосферы, изменение характера облачности на приход солнечной радиации.

Учет перечисленных выше принципов позволяет сформировать ряды данных по характеристикам ветро- и гелиоресурсов и достичь сравнимости исходных данных при создании НСП. Конкретно, особенности учета упомянутых принципов при решении задач формирования рядов исходных метеовеличин излагаются в основной части отчета.

#### **4.1. Разработка унифицированных форм представления специализированной климатической информации в научно-справочных пособиях (НСП) по гелиоэнергетике.**

##### **4.1.1. Солнце как источник энергии**

Солнце является основным источником энергии, поступающей на землю. Суммарная мощность энергии, излучаемая солнцем, во всех направлениях составляет  $3,9 \cdot 10^{26}$  Вт.

Спектр солнечного излучения принято делить на три области – ультрафиолетовую (УФ) с длинами волн менее 0,39 мкм, видимую или световую с длинами волн от 0,39 до 0,76 мкм и инфракрасную (ИК) с длинами волн более 0,76 мкм. На УФ область приходится около 10% , на видимую – около 50% и на ИК область - до 40% излучаемой Солнцем энергии.

Мощность излучения, приходящего к верхней границе атмосферы Земли на единицу поверхности Земли, перпендикулярной к направлению на Солнце, составляет

1370 Вт/м<sup>2</sup> при среднем расстоянии Земли от Солнца и называется солнечной постоянной в силу малого своего изменения (в пределах 0,5%).

Наибольшая плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет приблизительно 1 кВт/м<sup>2</sup> в диапазоне 0,3-2,5 мкм. Это излучение называется коротковолновым и включает видимый спектр. Именно в этом интервале длин волн солнечная энергия может быть использована как возобновляемый источник энергии.

На земной поверхности регистрируется как прямой солнечный поток, так и рассеянное излучение. В отличие от диффузного прямой поток солнечного излучения может быть сфокусирован. Отношение интенсивности направленного потока к полной интенсивности излучения меняется от 0,9 в ясный день до нуля в очень пасмурный.

#### **4.1.2. Термины, определения и сокращения**

***Возобновляемые источники энергии*** – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Типичный пример такого источника – солнечное излучение с характерным периодом повторения 24 часа. Возобновляемая энергия присутствует в окружающей среде в виде энергии, не являющейся следствием целенаправленной деятельности человека, что и составляет ее отличительный признак.

***Актинометрические наблюдения*** – комплекс наблюдений за интенсивностью солнечной радиации – прямой, рассеянной, суммарной, отраженной, радиационным балансом, проводимых с помощью соответствующих приборов.

***Интенсивность радиации*** (плотность потока радиации) – количество лучистой энергии, монохроматической или интегральной, переносимое от источника радиации в единичном телесном угле, приходящее за единицу времени через единичную площадку.

***Прямая радиация S***. Солнечная радиация, доходящая до места наблюдения в виде параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнечного диска. При измерении к ней присоединяется также рассеянная радиация околосолнечной области неба в телесном угле порядка 10°.

***Рассеянная радиация D***. Солнечная радиация, претерпевшая рассеяние в атмосфере, поступающая на земную поверхность от всего небесного свода.

***Суммарная радиация Q***. Совокупность прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей в естественных условиях на земную горизонтальную поверхность.

***Радиационный баланс земной поверхности В***. Разность между поглощенной суммарной радиацией и эффективным излучением земной поверхности.

**Эффективное излучение  $E_{эф}$ .** Разность собственного излучения земной поверхности и поглощенного ею встречного излучения атмосферы.

Для перехода от ранее (до 1 января 1980 г.) употребляемых единиц интенсивности радиации (энергетической освещенности) – кал/см<sup>2</sup>·мин и сумм радиации за какой-либо промежуток времени – час, сутки, месяц, год - кал/см<sup>2</sup>·час (сутки, месяц, год) к единицам международной системы СИ следует использовать следующие отношения:

$$1 \text{ кал/см}^2 = 4,19 \text{ Дж/см}^2 = 0,0419 \text{ МДж/см}^2;$$

$$1 \text{ МДж/см}^2 = 0,277 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2 .$$

$$1 \text{ кал/см}^2 = 0,0116 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$$

$$1 \text{ кал/см}^2\cdot\text{мин} = 0,698 \text{ кВт/м}^2.$$

**Солнечный кадастр** – свод результатов измерений солнечной радиации в данном пункте. Солнечный кадастр включает таблицы и карты распределения элементов солнечной радиации, характеристики их временной изменчивости, продолжительности солнечного сияния.

**Солнечные энергетические ресурсы (СЭР)** – количество солнечной энергии, характерное для данного географического района, определяющее степень его пригодности для преобразования солнечной энергии в тот или иной вид полезной энергии.

**Природные солнечные ресурсы** – средние многолетние значения солнечной радиации, поступающей на земную поверхность единичной площади за определенный период времени и продолжительность солнечного сияния в данном регионе (пункте).

**Потенциальные солнечные ресурсы** – общее количество солнечной энергии, поступающей на гелиоприемник, принципиально доступное для ее практического использования.

**Технически реализуемые солнечные ресурсы** – та часть потенциальных ресурсов, которая может быть преобразована средствами современной технологии без существенного ущерба окружающей среде для практических целей.

**Экономически выгодные солнечные ресурсы** – та часть технических ресурсов, освоение которых конкурентоспособно с альтернативными технологиями и обеспечено финансовыми, материальными и трудовыми ресурсами.

**Солнечные энергетические установки (СЭУ)** – устройство для преобразования солнечной энергии в другие виды энергии.

**Плоский солнечный коллектор** – нефокусирующий солнечный коллектор с поглощающим элементом плоской конфигурации.

**Фотоэлектрический генератор** – источник электрической энергии, работающий от потока излучения, представляющий собой кремниевый полупроводниковый фотодиод.

#### **4.1.3. Состав климатической информации для обоснования схем размещения и проектирования СЭУ**

Актинометрическую информацию для указанных целей можно разделить на 3 группы:

*Общие климатические характеристики, необходимые для оценки природного солнечного потенциала.*

1. Суммы прямой, рассеянной и суммарной радиации за определенные промежутки времени: час, сутки, месяц, год.
2. Влад прямой радиации в суммарном приходе.
3. Максимальный суточный приход солнечной радиации.
4. Продолжительность солнечного сияния по месяцам и за год.
5. Суточный и годовой ход солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния.
6. Число дней без солнца.
7. Средняя продолжительность солнечного сияния за день с Солнцем.
8. Отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной.

*Характеристики, с помощью которых можно выбрать оптимальные параметры работы СЭУ.*

1. Приход солнечной радиации на наклонные поверхности.
2. Повторяемость различных значений суточных сумм суммарной радиации.
3. Обеспеченность суточных сумм суммарной радиации.
4. Число и продолжительность периодов, в течение которых солнечная радиация превышает те или иные значения или находится ниже их.

*Метеорологические условия, влияющие на работу гелиоустановок*

1. Температура воздуха.
2. Скорость ветра.
3. Облачность, атмосферные осадки.
4. Опасные явления (гололедно-изморозевые явления, пыльные бури, метели).

#### **4.1.4. Исходный материал и источники исходных данных**

*Исходный материал.* Исходным материалом для оценки солнечного энергетического потенциала являются данные сети актинометрических и метеорологических станций.

Информация о ежедневных, ежемесячных и ежегодных суммах радиации и метеорологических данных содержится в актинометрических и метеорологических ежемесячниках, издаваемых с 1961 года. За более ранний период – в таблицах наблюдений ТМ-1, ТМ-12, ТМ-13, ТМ-15 находящихся в фондах территориальных управлений по гидрометеорологии.

Обобщенные за период наблюдений данные (средние многолетние) опубликованы в Справочниках по климату СССР, части 1-5 / 15 / и Научно-прикладном справочнике по климату СССР / 10 /, для анализа могут привлекаться карты распределения основных характеристик солнечной радиации, опубликованных в «Атласе солнечного и ветрового климата России» / 3 /.

*Анализ исходной информации.* Ряды наблюдений за солнечной радиацией могут иметь неоднородность, вызванную рядом причин, основными из них являются:

- изменение окружающей станцию обстановки из-за изменения закрытости горизонта, подстилающей поверхности площадки, а также из-за увеличения загрязнения атмосферы.

- изменение сроков и методики наблюдений. Неоднородность, вызванная этими причинами практически не устраняется, и все характеристики считаются отдельно для рядов наблюдений до и после указанных причин.

Еще один вид неоднородности свойственный актинометрической сети связан с тем, что суммы радиации вычисляются двумя способами по данным непрерывной регистрации и по срочным наблюдениям.

Суммы, полученные по данным непрерывной регистрации, имеют более высокую точность, так как при этом наиболее точно учитывается суточный ход радиации.

При вычислении сумм радиации по срочным наблюдениям из-за неполного учета истинного суточного хода радиации (при допущении линейной интерполяции от срока к сроку) суммы за месяц получаются заниженными в большинстве районов, причем относительная величина ошибки возрастает с уменьшением длины дня. Неоднородность, вызванная особенностями способа получения месячных сумм (по данным регистрации или по срочным наблюдениям) устраняются либо введением поправочного коэффициента (табл.1), либо вычислением многолетних месячных сумм по графикам многолетнего суточного хода, построенным по срочным наблюдениям. Месячные суммы, полученные таким образом, отличаются от сумм по самописцам на 1-3%, в теплый период и на 1-6% в холодный.



Таблица 4.1

Поправочный коэффициент к суммам суммарной радиации, полученным по срочным наблюдениям

Широта град , с.ш	Средние условия облачности				Безоблачное небо				
	I	IV	VII	X	Год	I	IV	VII	X
70		1,02	0,93	1,06	0,99				
65	1,24	1,02	0,97	1,06	1,01	1,25	1,00	0,95	1,07
60	1,20	1,02	1,02	1,06	1,02	1,20	1,02	0,98	1,07
55	1,13	1,03	1,02	1,06	1,03	1,16	1,02	1,01	1,06
50	1,10	1,03	1,03	1,06	1,04	1,12	1,03	1,02	1,06
45	1,10	1,03	1,03	1,05	1,04	1,10	1,04	1,03	1,07

При статистической обработке данных необходимо провести дополнительный анализ на однородность, учитывающий переход в 1957 г. к Международной пиргелиометрической шкале:

1937-1944	1945-1953	1954-1956
+1,0%	0%	+1,5%

Переход в 1982 г. к шкале МРЭ учитывается введением поправки +1,8%.

*Точность исходной информации.* Из методических вопросов существенным является точность, с которой получены характеристики, используемые для оценки гелиопотенциала.

Исходные ряды сумм радиации, полученные в условиях существующей сети, сами по себе имеют неисключенные ошибки – приборные и ошибки за счет микропогодных и микроклиматических различий (но не за счет местоположений станций – склон, побережье глубокая котловина и др.). Значения этих ошибок, полученные при исследовании структуры поля радиации, приведены в таблице 4.2 / 11 /.

Таблица 4.2

Ошибки сумм радиации, полученных по данным сетевых наблюдений (%)

Вид радиации	I	IV	VII	X	Год
Месячные и годовые суммы					
Суммарная	8	4	3	5	1,5-2
Прямая	12		5		3
Рассеянная	6		3		2
Суточные суммы					
Суммарная	15	9	8	12	
Прямая	40	20	15	30	
Рассеянная	20	11	9	11	

Определить ошибку исходных данных часовых сумм радиации при существующей густоте станций не представляется возможным из-за большой пространственной изменчивости часовых сумм. Можно только полагать, что она будет не меньше, чем ошибки исходных рядов суточных сумм.

#### 4.1.5. Методические основы определения солнечных энергетических ресурсов

*Средние многолетние значения характеристик солнечной радиации, их точность и способы обобщения их по территории*

Средние многолетние значения представляют интерес для сравнительных оценок радиационного режима одних районов по отношению к другим и иллюстрируют масштабы возможного пространственного изменения в приходе солнечной радиации. В связи с тем, что ряды наблюдений за солнечной радиацией сравнительно невелики, важное значение имеет оценка точности средних многолетних значений.

Основная ошибка средних многолетних значений определяется по формуле

$$m_{\sigma} = \sigma_x / \sqrt{N-1}, \quad (1)$$

где  $\sigma_x$  – выборочное среднее квадратическое отклонение месячных и годовых сумм радиации, N – число лет.

По данным актинометрической сети России основная ошибка месячных сумм суммарной радиации составляет 3-7% в холодный период, 2-5% в теплый. Ошибки прямой радиации составляют соответственно 5-20% и 4-10%. Основная ошибка годовых сумм суммарной радиации значительно меньше -1-2%, прямой -2-5% (таблица 4.2).

Таблица 4.3

Относительная ошибка средних многолетних сумм месячных и годовых сумм радиации при периоде осреднения 30 и 10 лет и доверительной вероятности 0,9 (%)

Вид радиации	Январь		Апрель		Июль		Октябрь		Год	
	Период осреднения (лет)									
	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10
Прямая	10	19	6	12	5	10	8	14	2-3	4-5
Рассеянная	3	5	4	7	5	9	6	10	2	4
Суммарная	6	11	4	8	3	6	4	7	1-2	3

Для оценки погрешности дневных (суточных) сумм радиации необходимо учитывать междусуточный коэффициент корреляции и вычислять ошибку средней многолетней суточной суммы радиации по формуле:

$$m_{\sigma} = \sigma / \sqrt{n} * \sqrt{(1+r) / (1-r)}, \quad (2)$$

где  $r$  – междусуточный коэффициент корреляции, характеризующий связность ряда;  
 $n$  – число наблюдений, равное произведению числа лет ( $N$ ) на число дней в месяце.

Учет связности дает более реальную оценку погрешности средней многолетней дневной суммы суммарной радиации при доверительной вероятности 0,9 с учетом связности ряда.

Таблица 4.4

Относительная погрешность определения средней многолетней суточной суммы при доверительной вероятности 0,9 с учетом связности ряда

Широтные пояса	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Севернее 60°с.ш.	7-10	5-6	5-6	7-10
50-60°с.ш.	5-7	4-6	3-5	6-8
40-50°с.ш.	4-7	3-6	2-4	2-7

Точность средних многолетних суточных сумм радиации, не превышающая 5-6%, то есть не выходящая за пределы точности исходных рядов, может быть достигнута при использовании 10 лет наблюдений. Сведения о точности средних многолетних сумм радиации (норм) необходимы при обобщении их по территории и особенно при картографировании.

При достаточно густой сети станций (200-250 км между станциями) могут быть построены карты распределения среднего многолетнего месячного и годового прихода радиации, что является одним из важных факторов при оценке гелиоресурсов территории. За оценку достоверности карт принимается осредненное отклонение данных отдельных станций от фона. Для месячных сумм радиации оно составляет  $\pm 2 - 3\%$  летом,  $\pm 4 - 5\%$  зимой, для годовых сумм  $\pm 2\%$ . Эти отклонения находятся в пределах ошибок нормы, указанных в табл.3 и могут рассматриваться как точность построения карт.

#### *Пространственно-временная изменчивость сумм солнечной радиации*

*Средние квадратические отклонения.* Изменчивость суточных, месячных и годовых сумм радиации количественно оценивается средним квадратическим отклонением  $\sigma$ .

$$\sigma = \sqrt{(\sum \Delta x / N-1)}, \quad (3)$$

где  $\Delta x$  – отклонение от средней,  $N$  – объем выборки.

Среднее квадратическое отклонение месячных сумм радиации характеризует междугодовую изменчивость месячных сумм радиации, суточных сумм – междусуточную. При этом в междусуточную изменчивость не вкладывается понятие

изменения радиации ото дня ко дню внутри конкретного года, а характеризует разброс “норм” отдельных дней относительно месячной “нормы”.

Средние квадратические отклонения сумм радиации разного масштаба интегрирования имеют самостоятельный физический смысл как показатель устойчивости радиационного режима в том или ином районе. Учитывая существенные различия между летними и зимними значениями радиации, для оценки изменчивости целесообразно использовать относительное значение  $\sigma$  (по отношению к “норме”), называемое коэффициентом вариации  $C_v$ . Коэффициенты вариации суточных и месячных сумм суммарной радиации по широтным поясам, приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Коэффициенты вариации суточных и месячных сумм суммарной радиации (%)

Широтные пояса	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
<b>Суточные суммы</b>				
60-50° с.ш. $\lambda \leq 50^\circ$ в.д.	45-60	40-45	30-35	50-65
$\lambda > 50^\circ$ в.д.	35-40	30-35	25-30	45-50
50-40 с.ш	45-60	30-35	25-30	45-50
<b>Месячные суммы</b>				
60-50° с.ш	15-25	10-20	10-15	15-25
50-40 с.ш	10-25	10-15	5-10	10-20

Наибольшая изменчивость суммарной радиации, как суточных, так и месячных сумм, имеет место зимой и осенью, наименьшая – летом. Это соотношение характерно для северных и южных районов, но коэффициент вариации на севере больше, чем на юге.

*Пространственная корреляция сумм радиации.* Поля метеорологических элементов обладают пространственной корреляцией. Пространственная связность дневных сумм суммарной радиации быстро уменьшается на первых сотнях километров и уже при расстоянии между пунктами 500-600 км фактически затухает. На расстоянии 1000 км коэффициент корреляции равен нулю. Для сумм радиации с большим периодом временного осреднения (например, месяц), корреляция затухает медленнее.

Для потребителей очень важно знать, какая может возникнуть ошибка, если использовать для интересующего пункта данные солнечной радиации соседней (ближайшей, иногда и отдаленной) актинометрической станции, то есть количественная оценка ошибки экстраполяции. На основании разработок и сопоставлении полученных результатов с исследованиями зарубежных авторов / 12 /, был получен вывод, что при использовании данных суточных сумм суммарной радиации по соседней станции, находящейся на расстоянии 100 км, ошибка суммы будет выражаться величиной 0,6-0,9 МДж/м<sup>2</sup> в зимние и осенние месяцы, а в весенние и летние 3,2-3,6 МДж/м<sup>2</sup>. Если такое

присвоение данных актинометрической станции сделать для местности, находящейся в 200 км от актинометрической станции, то ошибка будет 0,8-1,5 и 4,6 МДж/м<sup>2</sup>·сутки соответственно.

Если рассмотреть еще более неблагоприятный случай, а именно, ближайшая актинометрическая станция находится на расстоянии 300 км, то непосредственное использование ее данных без интерполяции приведет к ошибке, величина которой в июле достигает 6,1-6,5 МДж/м<sup>2</sup>·сутки. В этом случае ошибка экстраполяции близка к стандартному отклонению самого элемента и такая точность вряд ли удовлетворит потребителя.

Ошибка экстраполяции *средних за месяц* суточных сумм радиации (МДж/м<sup>2</sup>) на те же расстояния будут меньше:

Расстояние, км	0	50	100	200	400
январь	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6
июль	0,8	1,0	1,1	1,4	2,2

Для практических целей целесообразно применять линейную интерполяцию аномалий сумм радиации по двум точкам. По оценкам, определенным для Европейской части бывшего СССР, интерполяция на середину расстояния между станциями в пределах расстояния в пределах 400 км уменьшает ошибки по сравнению с экстраполяцией в 1,5-2 раза для суточных сумм радиации и в 2-2,5 раза для их средних месячных значений (табл.6). При этом предполагается, что ошибка интерполяции суммы приравниваются к ошибке интерполяции аномалии, а ошибкой интерполяции нормы пренебрегают.

Таблица 4.6

Средняя квадратическая ошибка линейной интерполяции аномалий суточных сумм суммарной радиации (МДж/м<sup>2</sup>·сутки) на середину расстояния между парами станций

Суммы радиации	Январь			Июль		
	Расстояние, км					
	100	200	400	100	200	400
Суточные	0,33	0,46	0,67	2,18	2,72	3,14
Средние месячные	0,16	0,19	0,21	0,82	0,88	1,00

Практический вывод, который следует из представленных результатов, заключается в том, что данные актинометрической станции можно распространять на другие пункты, расположенные в пределах расстояния 50-100 км с однородными

условиями подстилающей поверхности, прозрачности атмосферы. Для больших расстояний необходимо производить интерполяцию.

#### **4.1.6. Общая характеристика солнечного энергетического потенциала территории (природные гелиоресурсы)**

Важнейшими понятиями для развития и научно-технического сопровождения солнечной энергетики являются понятия солнечный энергетический потенциал или солнечные энергетические ресурсы.

Основу солнечных энергетических ресурсов в заданном пункте или районе составляют продолжительность солнечного сияния и количество прямой и суммарной радиации, приходящей к земной поверхности.

*Продолжительность солнечного сияния.* При написании этого параграфа необходимо включить для Белоруссии по станциям Белорусского УГМС:

Текст, таблицы, графики, карты содержащие:

- суточный и годовой ход;
- непрерывная продолжительность солнечного сияния;
- отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной;
- месячные и годовые суммы продолжительности солнечного сияния;
- коэффициенты вариации месячных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния.

Таблица 4.7

Возможная продолжительность солнечного сияния (час)

Месяц	Широта, град			
	<b>62,5</b>	<b>57,5</b>	<b>52,5</b>	<b>47,5</b>
I	190	228	254	276
II	256	273	285	297
III	364	366	365	368
IV	445	429	415	408
V	553	514	485	468
VI	594	537	499	476
VII	589	537	502	482
VIII	497	474	454	443
IX	390	386	380	378
X	309	322	328	338
XI	211	241	262	280
XII	160	208	239	264
Год	4558	4515	4468	4478

Информация базируется на Справочнике по климату СССР, Научно-прикладном справочнике по климату СССР и данных наблюдений действующих метеорологических станций.

*Солнечная радиация.* Основной статьей прихода тепла на земную поверхность является суммарная коротковолновая радиация, представляющая собой суммарный поток прямой солнечной радиации, поступающей непосредственно от солнца, и рассеянной радиации небесного свода.

При написании этого параграфа необходимо включить для Белоруссии по станциям Белорусского УГМС:

Текст, таблицы, графики, карты содержащие:

- суточный ход интенсивности прямой и суммарной радиации при безоблачном небе и средних условиях облачности;
- суточные суммы суммарной радиации, максимальный и минимальный суточный приход при средних условиях облачности; изменчивость суточных сумм суммарной радиации (коэффициент вариации);
- месячный и годовой приход суммарной радиации при ясном небе и при средних условиях облачности;
- вклад прямой радиации в суммарном приходе;
- изменчивость (коэффициент вариации) месячных и годовых сумм прямой и суммарной радиации;
- распределение прямой и суммарной радиации по территории.

Таблица 4.8

Средний максимум и средний минимум уточного прихода радиации при средних условиях облачности (МДж/м<sup>2</sup>сутки)

Широта, град	Средний максимум				Средний минимум			
	I	IV	VII	X	I	IV	VII	X
44	9,4	25,6	30,2	16,3	1,3	4,2	13,0	2,7
48	7,5	24,7	29,5	14,7	1,1	3,7	9,3	2,0
52	5,9	23,5	29,0	12,6	0,8	3,4	6,8	1,3
56	4,2	22,6	28,5	10,9	0,6	3,3	5,9	0,8
60	2,3	21,8	28,1	8,4	0,3	3,4	5,8	0,5

*Определение солнечного потенциала в пункте при отсутствии актинометрических наблюдений.* При оценке солнечного потенциала территории очень

часто наблюдается недостаточное количество актинометрической информации. В таком случае солнечную радиацию следует вычислять косвенным путем.

Для вычисления актинометрических характеристик, соответствующих конкретным условиям данного места и времени, применяются полуэмпирические и эмпирические формулы с использованием некоторого минимального количества данных, получаемых путем непосредственных измерений и характеризующих физическое состояние атмосферы именно в данных конкретных условиях.

Расчет радиационных характеристик производится на основе закономерностей и связей, существующих между характеристиками радиационного и метеорологического режима. Чем устойчивее эти связи и чем более общими оказываются установленные закономерности, тем ближе результаты таких расчетов к действительности.

Для климатологических расчетов сумм суммарной радиации чаще всего находят применение формулы Ф.Альбрехта, М.С.Аверкиева и Т.Г.Берлянд, в которых для расчетов суммарной радиации используется количество облаков, и формулы А.Онгстрема и С.И.Сивкова, где используется продолжительность солнечного сияния /1-2, 6, 9,12-13,19/.

Универсальная формула Альбрехта имеет вид

$$Q = Q_0 \cdot [1 - (1 - c)n], \quad (4)$$

в которой параметр  $c$ , обычно определяемый эмпирически, выражается в виде произведения двух функций – отношения общей облачности к нижней  $\left(\frac{n}{n_0}\right)$  и средней максимальной высоты Солнца для данного месяца ( $h_m$ ). Таким образом, формула Альбрехта может быть записана так:

$$Q = Q_0 \left\{ 1 - \left[ 1 - f\left(\frac{n}{n_0}\right) \varphi(h_m) \right] n \right\}. \quad (5)$$

Для удобства расчетов функции  $f$  и  $\varphi$  представлены в виде таблиц и опубликованы в / 9 / .

В формуле Альбрехта отсутствует множитель, учитывающий изменение альбедо поверхности. Если в бесснежный период неучет альбедо не приводит к существенным ошибкам в расчете суммарной радиации,

то в зимнее время, вследствие весьма большой отражательной способности снега, следует заранее ожидать сильно заниженных (на 20-50%) величин суммарной радиации.



М.С.Аверкиевым была уточнена формула Альбрехта путем учета влияния облачности различных ярусов на приход суммарной радиации и альbedo подстилающей поверхности:

$$Q = 0.96Q_0 \left[ 1 - K \left( \frac{n_o + n_n}{2} \right) \right] \frac{1}{1 - \alpha\gamma} \quad (6)$$

$\frac{1}{1 - \alpha\gamma}$  - множитель, учитывающий влияние на суммарную радиацию отражательной способности земной поверхности, и долю радиации, возвращающейся из атмосферы обратно к земле вследствие отражения и рассеяния от облаков.

$K$  - коэффициент, показывающий долю солнечной радиации, задерживаемой облаками при облачности 10 баллов. Он имеет четко выраженный годовой ход.

Выполненные М.С. Аверкиевым расчеты суммарной радиации для нескольких станций, расположенных на Европейской части России, показали удовлетворительное согласование между расчетными и наблюдаемыми значениями радиации. Следует, однако, отметить, что предложенная М.С. Аверкиевым формула является весьма сложной, требует информации относительно альbedo подстилающей поверхности и она не проверена на данных для других регионов.

Исследования зависимости между суточными суммами суммарной радиации и облачностью показали, что связь между  $\sum Q$  и  $n$  не является линейной и наиболее точно выражается функцией второй степени относительно  $n$ .

$$\sum Q = \sum Q_0 [1 - (a - bn)n], \quad (7)$$

где  $Q_0$  - возможная суммарная радиация,  $n$  - количество общей облачности в долях единицы,  $a$  и  $b$  - эмпирические коэффициенты.

Эта зависимость была предложена Т.Г.Берлянд. Ею было показано на основании данных 75 пунктов, расположенных в различных климатических условиях, что параметр  $b$  оказывается постоянным при всех условиях и равен 0,38. Параметр  $a$  зависит от широты и физико-географических условий района.

Предложенная С.И.Сивковым формула расчета суммарной радиации по абсолютным значениям продолжительности солнечного сияния основана на функциональной зависимости суммарной радиации от продолжительности солнечного сияния и синуса полуденной высоты солнца:

$$\sum Q = 49SS^{1.31} \cdot 10^{-4} + 10.5(\sin h_n)^{2.1} \quad (8)$$

Существование функциональной зависимости между относительными суммами радиации и относительной продолжительностью солнечного сияния позволяет

использовать эту зависимость для расчетов суммарной радиации. Считая эту зависимость линейной, Ангстрем предложил следующую формулу для расчета суммарной радиации:

$$\sum Q = \sum Q_0 \left( a + b \frac{SS}{SS_0} \right), \quad (9)$$

где  $Q_0$  – средняя суточная (или месячная) сумма суммарной радиации при безоблачном небе, поступающая на земную поверхность (табл. 9),  $SS_0$  – астрономически возможная продолжительность солнечного сияния для данной широты места (табл.10).

Эмпирический коэффициент "а" в уравнении регрессии характеризует долю суммарной радиации, пропущенной облаками, коэффициент "b" – долю задержанной радиации облаками. Сумма коэффициентов "а" и "b" близка к единице, отсюда  $b = 1 - a$ . Значения коэффициентов "а" опубликованы в / 6 / и могут быть использованы при расчетах. При расчете сумм суммарной радиации по продолжительности солнечного сияния в отдельные годы ошибка месячной суммы составляет около 15%. Расчет средних многолетних значений суммарной радиации по средней многолетней продолжительности солнечного сияния дает меньшую ошибку. В таблице 4.9 приведены значения  $Q_0$  для Европейской части бывшего СССР, для Азиатской части значения  $Q_0$  больше в связи с более высокой прозрачностью атмосферы в азиатском регионе.

Таблица 4.9

Месячные и годовые суммы суммарной радиации  
при безоблачном небе  $Q_0$ , МДж/м<sup>2</sup>

Европейская часть б.СССР					
Широта, град	I	IV	VII	X	Год
44	271	738	880	466	7000
48	217	706	873	408	6590
52	162	677	868	356	6175
56	112	648	867	304	5760
60	68	623	868	247	5400

Таблица 4.10

Возможная продолжительность солнечного сияния  $SS_0$ , часы

Широта, град	I	IV	VII	X	Год
42,5	293	400	462	342	4452
47,5	276	408	482	338	4478
52,5	254	415	502	328	4468
57,5	228	429	537	322	4515
62,5	190	445	589	309	4558

#### 4.1.7. Оценка гелиоресурсов, принципиально доступных для технического использования (суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности)

Данные солнечной радиации, которые характеризуют природный гелиопотенциал, о которых шла речь в п.6, относятся к горизонтальной поверхности. Однако гелиосистема может получить и переработать в полезную энергию большее количество солнечной радиации, если гелиоприемник наклонить под определенным углом. Поэтому основой для всех расчетов при моделировании работы солнечных энергетических систем является количество солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности. Именно ее целесообразно рассматривать как солнечные ресурсы, принципиально доступные для технического использования.

Для точного расчета количества солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности, необходимо иметь данные о часовых суммах прямой, рассеянной и отраженной радиации. Во многих случаях встает необходимость оценки суммарной радиации на наклонные поверхности в пунктах, где измерения суммарной радиации не производятся вообще, или нет ее непрерывной регистрации, а производятся лишь дискретные измерения. В связи с этим в ГГО был разработан способ пересчета суммарной радиации с горизонтальной поверхности на наклонные, основанный на изучении соотношения суммарной радиации, поступающей на горизонтальную  $Q_{гор.}$  и  $Q_{накл.}$  поверхности /7/. Материалом для этого послужили средние многолетние часовые суммы прямой и рассеянной радиации по данным актинометрической сети бывшего СССР (200 станций) за период наблюдений 20 –30 лет. Установление четкой зависимости отношения  $Q_{накл.} / Q_{гор.}$  от широты позволяет использовать это соотношение как переводной коэффициент пересчета суммарной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную (таблица 4.11).

При расчете суммарной радиации на наклонные поверхности была использована модель, разработанная Дж.Хеем (J.E. Hay), учитывающая угловое распределение рассеянной радиации /20/. В модели, предложенной Дж.Хеем, используется положение о том, что рассеянная радиация, поступающая на наклонную поверхность, состоит из околосолнечной, приходящей с направления на Солнце, и однородной диффузной, поступающей от остальной части небосвода.

Таблица 4.11

Коэффициент  $K_\alpha$  для пересчета средних за месяц суточных сумм суммарной радиации с горизонтальной поверхности на наклонные

Широта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Следящая за Солнцем поверхность												
56	2.27	2.00	1.84	1.50	1.45	1.42	1.45	1.48	1.65	1.77	1.83	2.15
54	2.18	1.89	1.76	1.49	1.42	1.41	1.44	1.48	1.65	1.77	1.80	2.03
52	2.10	1.83	1.73	1.45	1.40	1.38	1.39	1.46	1.65	1.72	1.76	1.94
50	2.00	1.75	1.69	1.42	1.38	1.36	1.39	1.45	1.62	1.70	1.71	1.87
48	1.95	1.68	1.64	1.40	1.37	1.35	1.38	1.45	1.58	1.68	1.70	1.78
46	1.92	1.68	1.57	1.40	1.34	1.32	1.35	1.44	1.57	1.67	1.70	1.74
44	1.85	1.65	1.53	1.39	1.34	1.30	1.33	1.44	1.56	1.65	1.70	1.72
на поверхность, наклоненную на оптимальный угол для года ( $\alpha = \phi$ )												
56	1.80	1.50	1.42	1.18	1.02	0.95	0.98	1.05	1.32	1.54	1.53	1.75
54	1.75	1.50	1.38	1.15	1.00	0.94	0.98	1.05	1.31	1.53	1.53	1.67
52	1.68	1.50	1.32	1.14	1.00	0.93	0.98	1.05	1.29	1.50	1.53	1.61
50	1.60	1.45	1.30	1.13	1.00	0.93	0.98	1.05	1.26	1.46	1.50	1.57
48	1.58	1.40	1.23	1.10	1.00	0.93	0.96	1.05	1.25	1.45	1.48	1.55
46	1.55	1.33	1.20	1.07	1.00	0.92	0.95	1.02	1.20	1.45	1.46	1.50
44	1.50	1.30	1.18	1.07	1.00	0.92	0.95	1.00	1.20	1.44	1.63	1.70
На поверхность, наклоненную на угол, равный широте места ( $\alpha = \phi^0$ с.ш.)												
56	2.12	1.74	1.50	1.13	0.95	0.83	0.86	1.03	1.30	1.60	1.76	1.98
54	1.95	1.64	1.44	1.10	0.95	0.83	0.86	1.03	1.30	1.58	1.67	1.85
52	1.83	1.59	1.40	1.10	0.95	0.84	0.86	1.02	1.28	1.53	1.60	1.74
50	1.75	1.53	1.31	1.09	0.95	0.85	0.86	1.01	1.26	1.50	1.54	1.68
48	1.70	1.48	1.25	1.08	0.95	0.85	0.87	1.00	1.25	1.49	1.53	1.62
46	1.60	1.40	1.23	1.06	0.95	0.85	0.88	1.00	1.23	1.47	1.51	1.58
44	1.57	1.40	1.20	1.06	0.95	0.86	0.88	1.00	1.23	1.45	1.51	1.57

Суммарный суточный приход радиации на наклонную поверхность в этом случае представляется выражением:

$$Q_\alpha = S \int_{t_1}^{t_2} \cos \Theta \cdot dt + D_\alpha + Q \cdot A_K \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{2}; \quad (10) \quad \text{где,}$$

$$D_\alpha = D \left\{ \left[ \frac{Q - D}{E_{\text{внеатм.}}} \right] \cdot \frac{\cos \Theta}{\cos Z} + \left[ 1 - \frac{Q - D}{E_{\text{внеатм.}}} \right] \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right\}, \quad (11) \quad \text{где}$$

$E_{\text{внеатм.}}$  - внеатмосферная радиация;

$S$  – часовая сумма прямой солнечной радиации, поступающая на нормальную к лучу поверхность;

$\Theta$  - угол падения прямого солнечного излучения;

$\alpha$  - угол наклона поверхности к горизонту;

$D$  - часовая сумма рассеянной радиации, падающей на горизонтальную поверхность;

$Q$  - часовая сумма суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность;

$Z$  - зенитный угол Солнца;

$N$  - время в днях от начала года;

$A_k$  - среднемесячное альбедо;

$t_1$  - время восхода Солнца;

$t_2$  - время захода Солнца.

Разработка алгоритма расчета суммарной радиации на наклонные поверхности производилась совместно в НПК “Сатурн” (г. Краснодар).

Анализ месячных и годовых сумм суммарной радиации, выполненный для территории РФ показал, что наибольшее количество суммарной радиации поступает на следящую за Солнцем поверхность. Если же поверхность закреплена неподвижно, то в целом за год больше получает поверхность, наклоненная на оптимальный угол, чем поверхность с углом наклона, равным широте места, что часто используется при расчетах. В отдельные месяцы соотношение между поверхностями при  $\alpha = \varphi^0$  и  $\alpha_{opt}$  различное. В холодный период, как правило, больше получает поверхность с углом наклона, равным широте места, а летом с оптимальным углом наклона. Величина оптимального угла наклона поверхности для каждого месяца и года приведена в таблице 4.12.

Использование следящей за Солнцем системы увеличивает годовую сумму радиации до 40% по сравнению с неподвижной поверхностью, наклоненной на оптимальный угол и до 35% на угол, равный широте места.

Годовой ход суммарной радиации, поступающей на наклонные поверхности, аналогичен годовому ходу радиации на горизонтальную поверхность, то есть с максимумом в июне-июле и минимумом в декабре.

Максимум суммарной радиации на наклонные поверхности определяется главным образом, поступлением прямой радиации и наблюдается, как уже отмечалось, в месяц, когда сочетаются оптимальные условия облучения - высота солнца, продолжительность

дня и небольшая облачность. В отдельных случаях за счет влияния рассеянной и отраженной радиации время максимума может несколько сдвигаться

Таблица 4.12

Оптимальные углы наклона  $\alpha$  южных поверхностей, соответствующие  
максимальному облучению суммарной радиацией

Ши- рота		I	II	У		1	II	III	X		1	II	од
56	81	76	64	40	22	15	19	32	47	62	76	81	42
54	80	75	61	38	21	15	18	31	47	60	74	79	41
52	79	73	59	36	20	14	17	30	47	59	72	76	41
50	77	71	56	34	18	13	15	28	46	58	69	74	40
48	76	69	53	32	17	12	14	26	46	57	67	72	39
46	73	66	50	30	16	10	12	25	44	55	66	69	38
44	70	63	46	28	15	9	10	23	43	54	64	67	37

#### 4.1.8. Технически реализуемые гелиоресурсы

Использование солнечной энергии следует рассматривать как существенное средство энергосбережения в общем ряду энергосберегающих мер. В связи с этим представляется важным оценить, насколько климатические условия рассматриваемого региона создают перспективу практического использования солнечной энергии.

Ниже приводятся результаты расчета возможной выработки электрической и тепловой энергии с помощью современных средств преобразования солнечной энергии.

Энерговыворотка плоского фотоэлектрического генератора (ФГ) без концентратора имеет практически линейную зависимость от интенсивности солнечной энергии.

Для корректности оценку годовой энерговыворотки ФГ целесообразно определять на основе месячных значений энергии, учитывая влияние климатических и метеорологических факторов на КПД фотопреобразователей.

Месячная выработка электрической энергии вычисляется на основе суточной выработки по формуле: /4/.

$$W_{\phi} = W_c \eta_0 [1 + \beta(T_0 - T_{\phi})] \cdot \left(1 + \gamma \ln \frac{E}{E_0}\right), \quad (12)$$

где  $\eta_0$  - КПД фотоэлектрического генератора, определенный при стандартных условиях (спектр АМ 1.5, облученность  $E_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$  и температура фотопреобразователей  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ );

$\beta$  - коэффициент, учитывающий влияние на КПД фотогенератора отклонения рабочей равновесной температуры фотопреобразователей от стандартной;

$T\phi = T_v + \alpha \cdot \frac{E}{E_0}$  - расчетная для данного месяца температура фотопреобразователей;

$\gamma$  - коэффициент, учитывающий влияние на КПД фотогенератора отклонения облученности поверхности фотопреобразователей от стандартной;

$E = \frac{W_c}{t_{\text{он}} - 2}$  - расчетная для данного месяца облученность поверхности фотогенератора ;

$W_c$  = средняя суточная сумма суммарной радиации, поступающая на поверхность фотогенератора с заданным углом наклона;

$t_{\text{он}}$  - средняя для данного месяца продолжительность дня;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий нагрев фотопреобразователей солнечной энергией.

Для фотоэлектрических модулей наземного применения, выпускаемых отечественной промышленностью, приняты следующие типовые значения коэффициентов:  $\alpha = 25^\circ\text{C}$ ;  $\beta = 0.005^\circ\text{C}$ ;  $\gamma = 0.07$ . КПД преобразователя в наших расчетах принят равным 20%.

Расчетная для данного месяца температура фотопреобразователя определялась по формуле:

$$T\phi = T_v + \alpha \cdot \frac{E}{E_0} \quad (13)$$

Как показывают многочисленные исследования в области гелиоэнергетики, наиболее благоприятными районами для строительства солнечных электростанций являются такие, где удельная выработка электроэнергии составляет не менее 200 кВт·ч/год. Основываясь на этих выводах, можно утверждать, что на большей части региона возможна эксплуатация СЭС не только с системой слежения за Солнцем, но и с неподвижным гелиоприемником (при КПД не менее 12%).

В настоящее время в мировой практике наибольшее распространение по сравнению с другими направлениями применения солнечной энергии получило солнечное

теплоснабжение, то есть использование солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения /5/.

Выработка тепловой энергии, отводимой из плоского солнечного коллектора, определялась как разность между количеством солнечной энергии, поглощенной пластиной коллектора, и количеством энергии, теряемой в окружающую среду:

$$E_{\kappa} = K_1 \cdot A_1 [Q_{\alpha} \cdot K_2 - K_3 \cdot B \cdot (18 - T)], \quad (14)$$

где  $A_1$  - площадь коллектора,  $\text{м}^2$  ;

$K_1$  - коэффициент отвода тепла, Вт;

$Q_{\alpha}$  - средний приход суммарной радиации на наклонную поверхность за рассматриваемый период (сутки, месяц, год),  $\text{Вт}/\text{м}^2$  ;

$K_2$  - оптический КПД коллектора,  $K_2 = \tau \cdot \alpha$  ,

где  $\tau$  - пропускательная способность прозрачных покрытий по отношению к солнечному излучению;

$\alpha$  -поглощательная способность пластины коллектора по отношению к солнечному излучению;

$K_3$  - полный коэффициент тепловых потерь;

$B$  - продолжительность солнечного сияния за данный период (сутки, месяц, год);

$T$  - средняя температура окружающей среды за рассматриваемый период (сутки, месяц, год).

При расчетах были приняты следующие значения коэффициентов, входящих в формулу:  $A_1=0.62 \text{ м}^2$  ,  $K_1 = 0.94 \text{ Вт}$ ;  $K_2 =0.75$ ;  $K_3 =8.0 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{С}^{\circ}$  .

Выработка тепловой энергии в значительной степени зависит от температуры воздуха.

Установки солнечного теплоснабжения, то есть установки и системы, основанные на использовании плоских солнечных коллекторов, в которых осуществляется нагрев теплоносителя, могут работать в разнообразных режимах, участвуя в покрытии либо нагрузки отопления и горячего водоснабжения (режим теплоснабжения), либо нагрузки только горячего водоснабжения в неотапительный период (режим сезонного горячего водоснабжения). Первый режим требует установки по двухконтурной схеме, когда в коллекторном контуре теплоносителем является незамерзающая жидкость, а тепло к потребителю отводится через теплообменник. Использование солнечных установок в режиме сезонного горячего водоснабжения имеет существенное преимущество с точки зрения простоты схемы (одноконтурная схема без промежуточного теплообменника; нет необходимости в применении антифриза и т.п.). В данной работе расчеты проводились



именно для такой системы, причем рассматривался солнечный коллектор с обычным черным покрытием поглощающей панели, как наиболее эффективный для работы в режиме сезонной нагрузки.

Существующие методы расчета солнечных систем позволяют на основе использования климатической информации и с учетом характеристик применяемого оборудования определять их основные параметры, каковыми являются:

$f$  - коэффициент замещения нагрузки (доля солнечной энергии в покрытии нагрузки) за некоторый рассматриваемый период времени;

$Q$  - полезная теплопроизводительность установки за этот период;

$F$  - площадь солнечных коллекторов в установке.

При фиксированной площади коллектора  $F$  величины  $f$  и  $Q$  связаны соотношением  $Q = f \cdot L$ , где  $L$  - тепловая нагрузка за рассматриваемый период. Удобной величиной для сравнения является удельная теплопроизводительность  $q$ , отнесенная к  $1\text{ м}^2$  площади солнечных коллекторов в установке.

Одним из параметров, вводимых в расчет, является нагрузка горячего водоснабжения, которая определяется по формуле

$$L_w = N \cdot p \cdot 100 \cdot (T_h - T_c) \rho \cdot C_p, \quad (15)$$

где  $N$  – число дней в месяце;

$p$  - количество людей, обеспечиваемых горячей водой;

$T_h$  - минимально допустимая температура горячей воды ( $+60^\circ\text{C}$ );

$T_c$  - температура воды из водопровода ( $+5^\circ\text{C}$ );

$\rho$  - плотность воды;

$C_p$  - теплоемкость воды;

100 – норма расхода воды на горячее водоснабжение жилых зданий на одного человека в сутки (литры) согласно СНиП / 14 /. Другую группу параметров, вводимых в расчет в качестве исходной информации, составляют климатические данные, а именно средние за месяц значения суммарной радиации на поверхность коллектора и среднемесячная температура воздуха. В число исходных данных для расчета включены также теплотехнические характеристики солнечного коллектора, разработанного НПП «Митра» и ЭНИН им. Г.М.Кржижановского / 16-17 /. Площадь одного модуля составляет  $1.5\text{ м}^2$ . Угол наклона солнечных коллекторов к горизонту выбран оптимальным для года. Ориентация коллекторов – южная.

Как показали расчеты, выполненные для многих регионов РФ, установка из четырех стандартных модулей (6 м<sup>2</sup>) для четырех человек позволит покрыть нагрузку горячего водоснабжения на 50-60% в северных (до 60°с.ш.) областях, в южных и юго-восточных - до 75-80%. Исходя из этого, можно сделать достаточно оптимистичные выводы, подтверждающие целесообразность и эффективность использования в рассматриваемом регионе нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в частности установок коллекторного типа для сезонного горячего водоснабжения.

#### **4.1.9. Районирование территории по обеспеченности солнечными энергетическими ресурсами**

*Принцип районирования.* Принцип выбора показателей состоит в том, чтобы они отражали средний многолетний режим, временную изменчивость, внутримесячную и внутрисуточную структуру солнечной радиации.

*Первый показатель.* В качестве первого основного показателя гелиоресурсов выбрана суммарная радиация, измерения которой включены в программу наблюдений всех актинометрических станций, она широко используется для оценки работы солнечных тепловых коллекторов и фотоэлектрических станций.

*Второй показатель* – годовая сумма прямой радиации, поступающей на земную поверхность. При использовании систем с концентраторами солнечного излучения этот показатель для практики является наиболее важным. При равных значениях суммарной радиации двух районов преимущество в отношении гелиоресурсов будет иметь тот район, где большая доля в суммарном приходе приходится на прямую радиацию.

*Третий показатель* – годовая продолжительность солнечного сияния. Данная характеристика является показательным критерием при оценке гелиопотенциала, поскольку принято считать, что годовая продолжительность солнечного сияния более 2000 часов обеспечивает эффективные условия для использования гелиоустановок.

*Четвертый показатель.* В качестве следующего показателя взята характеристика, учитывающая внутримесячную структуру поступления радиации через режим повторяемости градаций суточного прихода радиации. Так, например, если для района характерно отрицательно-асимметричное островершинное распределение суточных сумм, следовательно, здесь максимальную повторяемость имеют суммы, превышающие средние значения и близкие к максимальным. Подробно о типах распределения суточных сумм суммарной радиации изложено в / 10 /.

*Пятый показатель.* Для учета особенностей суточного хода радиации взято число часов со среднечасовой мощностью суммарной радиации

$\geq 600 \text{ Вт/м}^2$  в годовой совокупности многолетних суточных ходов. Уровень  $600 \text{ Вт/м}^2$  выбран как заведомо технически приемлемый согласно критерию Вейнберга / 8 /.

*Шестой показатель.* В качестве шестого показателя взята относительная характеристика междугодовой изменчивости суммарной радиации – коэффициент вариации годовых сумм. Он отражает степень устойчивости (из года в год) радиационного режима при сравнительных оценках отдельных районов.

Кроме этих основных показателей при оценке гелиопотенциала района используются дополнительные характеристики – среднегодовой балл облачности, среднесуточный приход суммарной радиации за радиационно-теплый период. Как показано в / 18 /, суточный приход суммарной радиации  $400 \text{ кал/см}^2$  ( $4,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ ) является благоприятным для использования солнечной радиации как источника энергии.

При районировании отдельных регионов комплекс показателей несколько может быть изменен, а также могут быть включены дополнительные показатели, информация по которым имеется в наличии.

Рассмотрим на примере Краснодарского края возможность районирования по природному гелиопотенциалу отдельно взятых административных районов (рисунок 4.1).

Представленные в работе данные месячных и годовых сумм суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния характеризуют общий радиационный фон Краснодарского края. Как показали исследования, выполненные в ГГО, с точки зрения практического использования солнечной радиации необходимо учитывать совокупность целого комплекса факторов, включающих дополнительные элементы окружающей среды, такие как облачность, ветер, температура воздуха, туманы, метели, обледенения, пыльные бури. Эти явления оказывают отрицательные воздействия на эксплуатацию гелиоустановок.

Из-за недостаточного количества станций на рассматриваемой территории, особенно в горных районах, и их неравномерного размещения не удалось охватить в полной мере весь комплекс параметров.

Выполненное районирование территории Краснодарского края по гелиопотенциалу является схематическим и крупномасштабным, не учитывающим микроклиматические и ландшафтные особенности отдельных районов. Для восполнения этого недостатка при районировании максимально учитывались физико-географические особенности территории.

Комплексный анализ имеющихся данных показал, что в основу районирования территории целесообразно положить показатели прямой и суммарной радиации на горизонтальную поверхность и продолжительности солнечного сияния.

Совместный анализ метеорологических и радиационных параметров, а также учет физико-географических особенностей территории позволил выделить на территории края 5 однородных радиационно-климатических зон. Основные количественные показатели районов приведены в табл.

В первую зону входят северная часть Черноморского побережья (район Анапа-Тамань) и побережье Азовского моря, во вторую зону – побережье Черного моря от Анапы до Адлера, в третью – равнинные районы Краснодарского края (Кубано-Приазовская низменность), в четвертую – предгорные районы до г.Фишт, в пятую – горные районы от верховья реки Мзымта до горы Фишт.

Количественные параметры второй и третьей зоны мало отличаются друг от друга, а некоторые из них, относящиеся к третьей зоне, даже превосходят показатели второй зоны. Практически мало уступает им четвертая зона. В пятой зоне отмечается существенное снижение радиационных показателей, увеличение облачности, числа дней без солнца.

Первые три зоны, на наш взгляд, располагают и значительными ветровыми ресурсами, что делает их перспективными для комплексного использования энергии ветра и солнца.

Таблица 4.10

Климатические характеристики комплексного гелиоэнергетического районирования территории Краснодарского края

Район	$Q$ год	$Q$ У-УШ	$SS$ год	$SS$ У-УШ	$\frac{SS}{SS_0}$ год	Облачность		Число дней		V м/с	t°
						0-2 балл	8-10 балл	Я	П		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1400	782	2307	1232	66	36	32	78	55	5.6	10.6
2	1392	761	2171	1098	60	35	32	72	55	3.9	12.8
3	1307	739	2206	1177	64	34	33	69	55	3.8	10.0
4	1262	696	2146	1099	61	33	30	66	48	2.5	10.3
5	1205	667	1867	933	51	32	37	60	72	1.7	8.5

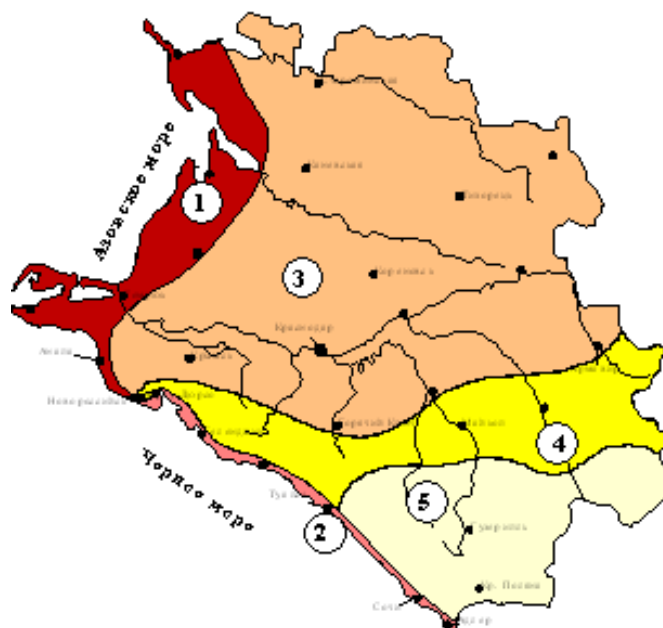


Рисунок 4.1. Районирование территории Краснодарского края по гелиопотенциалу.

#### Список использованных источников

- 1 Аверкиев М.С. Об универсальной формуле для расчета суммарной радиации. Метеорология и гидрология, № 2, 1962.
- 2 Аверкиев М.С. Уточненный метод расчета суммарной радиации. Вестник МГУ, сер.географии, № 1,1961.
- 3 Атласы ветрового и солнечного климатов России. – СПб.: ГГО, 1997.
- 4 Беляев Ю.М., Нагайкин А.С., Разгоняев Ю.В. Повышение эффективности использования наземных фотоэлектрических систем - Гелиотехника, N2, 1989, с.6-10.
- 5 Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат, 1982.
- 6 Берлянд Т.Г. Распределение солнечной радиации на континентах. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. - 227 с.
- 7 Берлянд Т.Г., Стадник В.В. Климатические исследования радиационного и теплового баланса Земли. - Современные исследования Главной геофизической обсерватории, 2001, Т.2, с.273-293.
- 8 Вейнберг Б.П. Желтый уголь. – Л.: КЕПС АН СССР, 1929.- 64 с.
- 9 Кондратьев К.Я. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности .- Л.: Гидрометеиздат, 1969.
- 10 Научно-прикладной справочник по климату СССР. Ч.1-6, вып.1-34. Л., Гидрометеиздат, 1988-1990.

- 11 Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР.- Л.: Гидрометеиздат, 1977.-335 с.
- 12 Пивоварова З.И., Стадник В.В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР – Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 291с.
- 13 Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации.- Л.: Гидрометеиздат, 1968.
14. СНиП 2.04.01.85 Внутренний водопровод и канализация зданий
- 15 Справочник по климату СССР. Ч. 1-5. Л., Гидрометеиздат, 1966-1968.
- 16 Тарнижевский Б.В. Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характеристик радиационного режима – Теплоэнергетика, вып. 2 – Изд. АН СССР, 1960, с.18-26.
- 17 Тарнижевский Б.В. Солнечные коллекторы и водонагревательные установки, М.: Теплоэнергетика, N8, 1995.
- 18 Ярославцев И.Н. О колебаниях сумм теплоты от радиации солнца и неба и распределение энергии этих радиаций по времени для Ташкента. – «Использование солнечной энергии». М., Изд. АН СССР, 1957. Сб.1, с.24-31.
- 19 Albrecht F. Methods of computing radiation.- Geofisica pura e applicata, vol. 32, III, 1955.
- 20 Hay J.E. Calculation of solar irradiances for inclined surfaces: validation of selected hourly and daily models – Atmosphere-Ocean, 1986, 24, p.16-41.

## **4.2. Разработка унифицированных форм представления специализированной климатической информации в научно-справочных пособиях (НСП) по ветроэнергетике**

### **4.2.1 Современное состояние ветроэнергетики в различных странах мира**

Развитие энергетики в России как базовой отрасли ее экономики в современный период характеризуется процессами, во многом носящими кризисный характер. Дефицит энергии проявляется даже в относительно «благополучной» Европейской зоне России. Большая часть энергетического оборудования имеет износ свыше 50%. Представляется, что решить проблему нормализации энергоснабжения в особенности в районах, удаленных от энергосистем, опираясь только на традиционно используемые источники энергии, в основе которых лежит минерально-сырьевая база, является малоперспективным делом. На современном этапе более предпочтителен другой путь развития. Конкретно, нужен путь, направленный на общее оздоровление экологической обстановки с

вовлечением в общий энергооборот возобновляемых источников, в частности энергии ветра и солнца. По такому пути уже на протяжении последних 20-25 лет двигаются наиболее экономически развитые страны и некоторые из тех, что относятся к числу так называемых «развивающихся». Наиболее заметных успехов в этой области достигли Дания, Швеция, Испания, США, Индия, Нидерланды, Румыния, Ирландия, Великобритания. К настоящему времени суммарная мощность работающих ВЭУ на планете превысила 35 тысяч МВт, причем  $\frac{3}{4}$  от общего объема производимой энергии приходится на страны Европейского Сообщества. Для сравнения: номинальная мощность всех имеющихся «в строю» энергоблоков Ленинградской АС составляет не более 4 тысяч МВт. По имеющимся и опубликованным в СМИ данным примерно половина всей электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ в мире, приходится на Германию. Далее, в порядке убывания объемов производимой электроэнергии с помощью ветроэлектростанций, следуют: Испания, США и Индия. Необходимо отметить особенности развития ветроэнергетики в Индии. Если в 1992 году суммарная мощность всех функционирующих в стране ВЭУ составляла всего 40 МВт, то в 1996 году – уже 816 МВт, а к 2000 году она выросла до 2000 МВт. Столь резкий скачок в развитии ветровой энергетики в Индии мог быть осуществлен вследствие стабильной и эффективной поддержки государства и путем широкого привлечения зарубежных инвестиций. К настоящему времени благодаря значительным капитальным вложениям в НИОКР и организацию производственных мощностей в экономически развитых странах создана самостоятельная отрасль энергетики – ветроэнергетика, которая на основе применения современных технологий обеспечивает выработку ВЭУ электроэнергии при себестоимости 4-5 центов/кВт.ч. Преобладающий подход к освоению ветровых ресурсов – создание так называемых ветровых парков. Отметим, что суммарный объем установленной мощности существующих в настоящее время за рубежом ветровых парков, работающих в составе энергосистем, составляет более 15 тысяч МВт, что превышает в два раза самые оптимистические прогнозы, высказанные за рубежом в начале 90-х годов XX века. Известно, что сегодня ветроэнергетика обеспечивает около 8 млн. домов электрической энергией [6,7].

В самое последнее время появились сведения [Rambler Mass Media – экономика, 20.06.2007] о создающейся в Германии в горном районе Хунсрюк (земля Рейнланд-Пфальц) близ города Морбах крупнейшей в мире ветроэнергетической установки (стоимость 3,5млн. евро), которая обеспечит поступление в энергосистему до 6000 МВт/ч электроэнергии. Параметры станции впечатляют, таких еще не было в мире: высота башни (оси ветроколеса) составит 160м, длина каждой из трех лопастей – 50м, таким

образом, общая высота установки – 210 м. В упомянутом выше источнике констатируется, что город Морбах станет первым в Германии (население городка 11 тысяч человек), где потребности жителей в энергии обеспечиваются только за счет ветроэнергетики. Выработка электроэнергии в Германии заметно возрастает от года к году. В общем энергобалансе страны доля возобновляемых источников выросла с 4,7% в 2005 г. до 5,3% в 2006г., т.е. прирост свыше 10% в год.

Что касается нашей страны, то необходимо заметить, что в силу ряда объективных и в большей степени субъективных причин до сих пор экологически чистым видам энергии внимание крайне незначительное. Существует труднообъяснимый скептицизм в отношении возможностей практического применения таких источников. В то же время, по экспертным оценкам отечественных специалистов, возможная доля возобновляемой энергетики в общем энергобалансе страны составляет примерно 6,5%. Вместе с тем нельзя игнорировать такой недостаток ветровой энергетики, как низкая плотность в пространстве получаемой энергии с размещенными ВЭУ [8].

В целом следует заметить, что опыт использования ВЭУ в стране в настоящее время невелик. ВЭУ большой мощности функционировали в нескольких местах. Прежде всего – это опытная ветростанция в западной части о. Котлин. Во-вторых, северная часть Ижорской возвышенности, к западу от райцентра Ленинградской области г. Гатчины. В-третьих, небольшие участки полуострова Чукотка, где ветры наиболее сильные и там существует ряд установок большой мощности с 1980<sup>ых</sup> годов.

Работа ВЭС в отмеченных местах стала возможной по большей части благодаря привлечению зарубежных инвестиций с Запада на безвозмездной основе. Так, с помощью датских специализированных фирм в городе Мурманске установлены и функционируют уже несколько лет ВЭУ средней мощности (около 200 кВт), обеспечивающие электроэнергией несколько многоэтажных жилых зданий. В последние годы усилиями организации «Ветросвет» (при ВНИИГе им. Веденеева) достигнуты заметные успехи в доведении до практического использования автономных ВЭУ низкой мощности, от 100 Вт до 1 кВт, для обеспечения потребностей в энергии небольших хозяйств и жилых строений в сельской местности. Таких установок имеется в селах Ленинградской области уже несколько сотен.

#### **4.2.2 Состав климатической информации для обоснования схем размещения и использования ВЭУ и ВЭС**

О перспективности территории для размещения ВЭУ (ВЭС) недостаточно судить на основании сведений по одной лишь какой либо характеристике ветрового режима, которую принято обычно называть «приоритетной». Для ориентировочных оценок в



качестве такой характеристики чаще всего используют так называемую «норму скорости ветра» [9-11]. Для более точных оценок ВЭП и перспективности размещения установок на местности, по крайней мере, надо иметь сведения о:

- а) длительности «энергетических затиший»,
- б) длительности периодов с «энергоактивными» скоростями ветра;
- в) наличии жестоких штормов и ураганов;
- г) особенностях изменчивости скорости ветра во времени.

Перечисленные выше данные можно получить, если известны параметры распределения Вейбулла [9].

В зависимости от конкретной стадии работы по обоснованию схем размещения ВЭУ и расчетов природно-климатического и технически возможного потенциала энергии ветра климатическую информацию целесообразно разделить на три составные части.

К первой части относятся основные климатические характеристики для оценки теоретического (природно-климатического) потенциала энергии ветра, конкретно:

- 1) средняя скорость ветра (годовая и месячная);
- 2) амплитуда суточного хода скорости ветра в разные сезоны года;
- 3) распределение (повторяемость) скоростей ветра по градациям в разные сезоны года;
- 4) вертикальный профиль скорости ветра при различных его значениях у земли;
- 5) плотность атмосферного воздуха и ее изменение с высотой и в зависимости от атмосферных условий;
- б) интенсивность турбулентности в приземном слое атмосферы (как отношение стандарта пульсации скорости ветра к значению средней скорости  $\sigma_u/\bar{u}$ ).

Помимо атмосферных характеристик, к первой части следует отнести и поправочные коэффициенты, учитывающие степень защищенности (ветрового экранирования) измерительного прибора ( $k_m$ ).

На основе перечисленных характеристик определяется (см. ниже, раздел 4) удельная мощность ветрового потока как показателя природно-климатического потенциала энергии ветра.

Следует учитывать, что высота ветроизмерительного прибора на разных метеостанциях может различаться, хотя согласно действующим правилам высота анеморумбометра над землей должна быть равна 10 м. Кроме того, в разные годы, как показывает анализ архивных данных, даже на одной и той же станции эта высота может быть неодинаковой.

В первом приближении, что, впрочем, достаточно для решения задач ветроэнергетики, достаточно использовать сведения из таблицы 4.11.

Таблица 4.11

Коэффициенты приведения скорости ветра к стандартной высоте анеморумбометра 10 м

Высота анеморумбометра, м	Скорость ветра, м/с							
	2	3	4	5	6	7	8	>9
6	1.16	1.13	1.11	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03
8	1.06	1.06	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
12	0.93	0.95	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
14	0.88	0.91	0.94	0.95	0.95	0.97	0.97	0.97
16	0.84	0.89	0.91	0.93	0.93	0.95	0.94	0.94
18	0.81	0.87	0.90	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94
20	0.79	0.84	0.88	0.91	0.91	0.92	0.93	0.93
22	0.76	0.92	0.85	0.89	0.89	0.91	0.92	0.92
26	0.72	0.79	0.83	0.86	0.87	0.89	0.90	0.90
30	0.69	0.76	0.81	0.84	0.86	0.88	0.88	0.88

Примечание к таблице 4.11. Приведенные коэффициенты справедливы для условий открытых участков суши.

Ко второй части специализированных климатических характеристик ветра определяются оптимальные режимы работы ВЭУ, т.е. такие, с помощью которых оцениваются не теоретические, а реально достижимые значения ветроэнергетических ресурсов. К указанным характеристикам относятся:

- 1) суммарная (интегральная) повторяемость диапазона «рабочих» скоростей ветра, т.е. когда ВЭУ вырабатывает электроэнергию;
- 2) продолжительность (интегральная) диапазона скоростей ветра, когда ВЭУ работает в режиме установленной (номинальной) мощности ( $u_{ном}$ );
- 3) продолжительность «энергетических затиший», т.е. скорость ветра  $u_0$ , когда ВЭУ электроэнергию не вырабатывает;
- 4) суммарная продолжительность диапазона «буревых» (опасных для сооружения ВЭУ) скоростей ветра, когда лопасти установки переводятся во флюгерное положение во избежание их поломки и выработка электроэнергии установкой прекращается.

К третьей части климатической информации, используемой в ветроэнергетике, относятся характеристики ветрового режима, на основе которых производится расчет конструкций ВЭУ на прочность и устойчивость. Сюда входят:

- 1) расчетное давление ветра (ветровой напор) в слое атмосферы, охватывающем по высоте сооружение ВЭУ;
- 2) интенсивность турбулентности, коэффициенты порывистости  $k_{пор} = u_{max}/\bar{u}$ ;
- 3) ускорение ветра в порыве;
- 4) расчетные экстремальные значения гололедно-изморозевых отложений на опорах и лопастях ВЭУ.

В таблице 4.12 сведены составные части климатических характеристик, которые были перечислены выше.

Таблица 4.12

Перечень климатических параметров для ветроэнергетики

Характеристика	Оценка потенциала энергии ветра	Выбор оптимального режима ВЭУ	Расчет на прочность и надежность конструкций ВЭУ
1	2	3	4
Средняя месячная и годовая скорость ветра	+	–	–
Амплитуда суточного хода средней скорости ветра	+	–	–
Преобладающее направление ветра	–	+	–
Распределение скорости ветра по градациям	+	+	–
Вертикальный профиль средней скорости ветра	+	–	–
Вертикальный профиль максимальной скорости ветра	–	–	+
Плотность воздуха	+	–	+
Вертикальный профиль сильных порывов ветра ( $u_n > 15 \text{ м/с}$ )	–	–	+
Поправка к скорости ветра на экспозицию местности	+	–	–
Интегральная повторяемость энергозатиший ( $u > u_0$ )	–	+	–
диапазона рабочих скоростей ( $u_0 < u < u_{\text{макс}}$ )	–	+	–
диапазона номинального режима ( $u_{\text{ном}} < u < u_{\text{макс}}$ )	–	+	–

1	2	3	4
Непрерывная продолжительность энергоснабжения $\tau_{u < u_0}$	–	+	–
диапазона рабочих скоростей $\tau_{u > u_0}$	–	+	–
диапазона номинального режима $\tau_{u_{ном} < u}$	–	+	–
Повторяемость диапазона опасных скоростей ветра $f_{u > u_{макс}}$	–	+	+
Ускорение ветра в порыве $\Delta u_{макс}$	–	–	+
Интенсивность турбулентности ( $I = \sigma_u / \bar{u}$ )	+	–	+
Экстремальные отложения гололеда $D_{макс}; P_{макс}$	–	–	+

Примечания: 1. Здесь  $u_{ном}$  – скорость ветра, выше которой ВЭУ работает в номинальном режиме;  $u_{макс}$  – скорость ветра, при которой ВЭУ отключается.

2. Знак «+» означает необходимость использования информации, знак «-» отсутствие необходимости.

#### 4.2.3 Оценки природно-климатического и технического потенциалов энергии ветра

На практике использование энергии ветра производится с помощью ВЭУ, в которых кинетическая энергия ветрового потока преобразуется в механическую энергию вращения ветрового колеса, а затем в электрическую энергию генератора. Отметим, что в большинстве задач успешнее всего используются традиционные ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветроколеса. В настоящее время в большинстве экономически развитых стран наибольшее распространение получили установки с единичной мощностью от 100 кВт до 2 МВт. Широко применяются во многих странах ВЭУ датской фирмы MICON, основные параметры у которых следующие:

установочная (номинальная мощность)  $N_{ном} = 400$  кВт;

диаметр ветрового колеса (роторной системы)  $D = 31$  м;

высота башни  $H = 36$  м;

минимальная скорость ветра, при которой начинает вырабатываться электроэнергия

$U_0 = 4$  м/с;

расчетная скорость ветра, при которой мощность ВЭУ достигает установленной (номинальной) скорости  $U_{ном} = 15$  м/с;

максимальная скорость ветра, выше которой лопасти ВЭУ переводятся автоматически во флюгерное положение и установка перестает вырабатывать электроэнергию во избежание динамических перегрузок  $U_{макс} = 26$  м/с;

так называемая «буревая скорость» ветра, ниже которой конструкция ВЭУ гарантирована от разрушения вследствие действия ветровой нагрузки  $U_{бур} = 69\text{ м/с}$ .

В дальнейшем проведенные исполнителями расчеты будут основываться на перечисленных выше характеристиках установки MICON – 400.

Важно учитывать, что в диапазоне скоростей ветра от 4 до 15 м/с нарастание мощности ВЭУ происходит линейно с ростом скорости ветра, т.е. от 0 до 400 кВт, а в диапазоне скоростей от 15 до 26 м/с выработка энергии соответствует мощности установленной (400 кВт), при ветре свыше 26 м/с выработка равна нулю.

Ветроэнергетические ресурсы бывают трех видов:

теоретические ресурсы или природно-климатический ветроэнергетический потенциал;

технические ресурсы или технический ветроэнергетический потенциал;

экономические ресурсы или экономический ветроэнергетический потенциал.

Для оценки природно-климатического ветроэнергетического потенциала пользуются определением: средняя годовая удельная мощность ветрового потока через единицу площади ветроколеса, перпендикулярного направлению ветра [2,9]. В соответствии с этим определением природно-климатический потенциал энергии ветра  $N_e$  имеет размерность  $\text{Вт/м}^2$ .

Технические ветроэнергетические ресурсы – это та часть природно-климатических, которую возможно утилизировать с помощью современных технических средств ветроэнергетики. Технический ветроэнергетический потенциал определяется значением объема энергии, который можно получить с помощью ВЭУ с площади земной поверхности в 1  $\text{км}^2$ .

Обозначение и размерность технического потенциала энергии ветра:

$$Э_{\text{техн. уд.}} - \text{млн(кВт.ч)/км}^2 \cdot \text{год}$$

Экономический ветроэнергетический потенциал определяется как часть технического потенциала, которую можно реализовать с экономически оправданными затратами по отношению к традиционным энергоресурсам. Обычно экономический потенциал энергии ветра определяется в ходе разработки технико-экономического проекта конкретной ВЭУ в определенном районе.

Оценки технического и экономического ветроэнергетических потенциалов для обширных территорий представляются весьма затруднительным делом, так как площадь территорий, предназначенных для реального размещения ВЭУ и ВЭС, с учетом технического и экономического компонент ветроэнергетического потенциала, может быть определена на основе имеющихся у исполнителей исходных данных лишь грубо приближенно.

При расчете ветроэнергетического потенциала следует в первую очередь использовать данные т.н. «репрезентативных метеостанций» с классом открытости по шкале В.Ю. Милевского [ 13 ] не менее 7б, что соответствует применяемому в практике расчетов масштабу открытости М не менее 10 [13]. Расчет класса (масштаба) открытости поясним на примере метеостанции, расположенной на южном побережье Финского залива, которая «репрезентативна» для оценки компонент ветроэнергетического потенциала и пригодна при расчете выработки электроэнергии для практических целей. Данные расчета приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13

Повторяемость ветров на побережье юга Финского залива по румбам (%).

румб	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	штиль
$K_M$	9б	9б	6б	7б	6б	6б	9б	9б	
М	16	16	7	10	7	7	16	16	
$\Delta f$	5	8	10	13	11	21	20	12	4

Из таблицы 3 находим осредненные по румбам значения класса открытости по Милевскому ( $K_M$ ) и масштабу открытости (М):

$$M = 16 \cdot 0,05 + 16 \cdot 0,08 + 7 \cdot 0,10 + 10 \cdot 0,13 + 7 \cdot 0,11 + 7 \cdot 0,21 + 16 \cdot 0,20 + 16 \cdot 0,12 = 11,44.$$

$$K_{M, \max} = 9 \cdot 0,05 + 9 \cdot 0,08 + 7 \cdot 0,10 + 7 \cdot 0,13 + 7 \cdot 0,11 + 7 \cdot 0,21 + 9 \cdot 0,20 + 9 \cdot 0,12 = 7,9;$$

Примечание: на основе разработок М.В. Кузнецова [7] для расчета ветроэнергетического потенциала рекомендовано использовать параметр  $K_{M, \max}$ . Этот параметр принимает следующие значения:

$K_{M, \max} = 9$  – для районов на открытом побережье моря или океана и для островов;

$K_{M, \max} = 8$  – для районов, находящихся в прибрежной зоне;

$K_{M, \max} = 7$  – для районов, относящихся к внутриматериковой зоне.

В упомянутой работе [7] рекомендовано пользоваться правилом, что если значение М из таблицы 3 больше, чем любое из приведенных выше значений  $K_{M, \max}$ , т.е. 9; 8 или 7, то в расчетах используется формула:

$$K_0 = M / K_{M, \max}; \quad (4)$$

В нашем случае  $M = 11,44$ , а наибольшее из  $K_{M, \max} = 9$ , и, таким образом,  $K_0 = 11,44 / 9 = 1,27$ .

Полученное значение для  $K_0 = 1,27$  и есть поправка на степень открытости для станции на южном открытом побережье Финского залива.

Поскольку высота оси роторной системы у ВЭУ MICON составляет 36 м, то необходимо ввести поправку для перехода от высоты анемометра (19м) к упомянутой высоте оси ветроколеса (роторной системы):

$$K_h = (z_h / z_{ан})^m ; (5)$$

где  $z_h$  – высота оси ветроколеса,  $m$  – параметр, зависящий от скорости ветра у земли, рельефа местности и температурной стратификации атмосферы.

Для условий суши в [13] рекомендовано использовать при определении « $m$ » данные таблицы 4.14.

Таблица 4.1 4

Коэффициент возрастания скорости ветра  $K_h$  с высотой для ровной открытой поверхности суши.

сезон	10	20	40	60	80	100	$m$
зима	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
весна	1	1,17	1,36	1,50	1,59	1,66	0,22
лето	1	1,18	1,40	1,55	1,67	1,76	0,24
осень	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
год	1	1,15	1,32	1,44	1,53	1,60	0,20

Примечание: данные таблицы 4.14 применимы, если ВЭУ расположена вблизи вершины или с наветренной стороны возвышенности.

Для условий открытого побережья зависимости параметра « $m$ » от определяющих факторов исследованы наиболее тщательно [2, 4,7,9,13].

Зависимость « $m$ » от скорости ветра рекомендуется принимать по данным таблицы 4.15 для условий открытых побережий водоемов.

Таблица 4.15

$U_{10}$ , м/с	0.0-3.0	3.1-4.0	4.1-5.0	5.1-6.0	6.1-11.5	12.1-12.5	13.1-15.0	>15.0
$m$	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.135	0.13	0.125

Для основного диапазона скорости ветра, когда ВЭУ работает с установленной мощностью, допустимо значение « $m$ » принимать равным 0.14.

В таблице 4.16 даны сведения о повторяемости скоростей ветра по градациям на уровне 10м для южного побережья Финского залива.

Таблица 4.16

Характеристики скорости ветра для южного побережья  
Финского залива.

Градации скорости для высоты 10 м (м/с)	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20
f(u)	0.119	0.216	0.274	0.202	0.106	0.043	0.027	0.010	0.002	0.0003
F(u)	0.119	0.335	0.609	0.811	0.917	0.960	0.987	0.997	0.999	0.9993

В строке f(u) – приведены значения дифференциальной, а в строке F(u) – интегральной повторяемости скорости ветра по градациям в соответствии с верхней строкой таблицы 6. Последняя строка в таблице 6 получается из предпоследней путем суммирования:

$$F(u) = \sum \Delta f_i ; (6)$$

Данные таблицы 6 служат основой для расчета природно-климатического потенциала энергии ветра в конкретном пункте. Пример расчета упомянутой характеристики  $N_e$  приведен в таблице 4.17.

Таблица 4.17

Градации скорости U на высоте z=19 м (м/с)	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20
середина градации U (м/с)	0.5	2.5	4.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	19
$K_0$	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
$K_{h=36}$	1.14	1.14	1.12	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08
$K_0 \cdot K_h \cdot U$ (м/с)	0.72	3.6	6.4	9.0	10.8	14.5	17.3	20.1	22.6	26.1
$\Delta f(u)$	0.119	0.216	0.274	0.202	0.106	0.043	0.027	0.01	0.002	0.0003
$\Delta f \cdot (K_0 \cdot K_h \cdot U)^3$	0.04	10.1	75	147	134	140	140	81	23	5.3

Просуммировав значения в нижней строке таблицы 7 получаем цифру  $\approx 755 \text{ вт/м}^2$ .

Поскольку мощность ветрового потока зависит от плотности воздуха  $\rho$ , кгс/м<sup>4</sup>, то окончательно удельная мощность  $N_e$ , вт/м<sup>2</sup> рассчитывается:



$$N_e = 0.613 \Sigma K_o \cdot K_h \cdot \Delta f = 755 \cdot 0.613 \approx 463 \text{ Вт/м}^2$$

Данное значение и представляет собой величину природно-климатического ресурса, приходящегося на  $1\text{ м}^2$  ветроколеса, расположенного перпендикулярно направлению ветрового потока.

Переходя к определению технических ветроэнергоресурсов, в первую очередь необходимо определить так называемый «коэффициент использования» энергии ветра установкой MICON – 400. (Указанный коэффициент  $K_{\text{исп}}$  определяется по данным из приведенной ниже таблицы 4.18).

Общее выражение для  $K_{\text{исп}}$  имеет вид:

$$K_{\text{исп}} = T_{\text{исп}} / T_{\text{год}}; \quad (7)$$

$T_{\text{исп}}$  – годовое число часов использования установленной мощности ВЭУ, а  $T_{\text{год}}$  – общее число часов в году.

Уместно упомянуть, что коэффициент  $K_{\text{исп}}$  изменяется от 0.1-0.15 для местности с невысокой средней годовой скоростью ветра (до 3-4 м/с) до 0.2 – 0.4 и более для местностей со средней годовой скоростью от 5м/с и выше.

Таблица 4.18

Данные для определения технического ветроэнергopotенциала установки MICON – 400. Южное побережье Финского залива.

Интервал скорости ветра $U, \text{ м/с}$	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20
Середина интервала $U, \text{ м/с}$	0.5	2.5	4.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	19
$K_o$	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
$K_h$	1.14	1.14	1.12	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08
$U \cdot K_o \cdot K_h, \text{ м/с}$	0.72	3.6	6.4	9.0	10.8	14.5	17.3	20.1	22.6	26.1
$N, \text{ кВт}$	0	0	50	150	250	400	410	400	400	400
$N=N/N_{\text{ном}}$	0	0	0.125	0.375	0.625	1.0	1.025	1.0	1.0	1.0
$\Delta f$	0.119	0.216	0.274	0.202	0.106	0.043	0.027	0.01	0.002	0.0003
$N \cdot \Delta f$	0	0	0.0342	0.078	0.066	0.043	0.028	0.01	0.002	0.0003

Примечание: значения  $N, \text{ кВт}$  определяются по эмпирической кривой зависимости вырабатываемой мощности от скорости ветра на высоте 36м, т.е. от  $U \cdot K_o \cdot K_h$ .

Суммируя значения  $N \cdot \Delta f$  в последней строке таблицы 8, получаем общий коэффициент использования ВЭУ MICON-400 для данных условий местности. Он составляет: 0.262.

$$\text{Таким образом } T_{\text{исп}} = T_{\text{год}} \cdot K_{\text{исп}} = 8760 \cdot 0.262 = 2295 \text{ ч.}$$

Плотность технического ветроэнергopotенциала определяется годовой выработкой ВЭУ, т.е. произведением  $N_{\text{ном}} \cdot T_{\text{исп}}$ , а также размером площади, занимаемой ВЭУ на местности. Размер площади, занимаемой ВЭУ, состоящей в пределах ветрового парка, рассчитывается по формуле:  $S_{\text{ВЭУ}} = C_1 \cdot C_2 \cdot D^2$  (8);

где  $D$  – диаметр ветроколеса,

$C_1$  и  $C_2$  – расстояния между соседними ВЭУ в составе ветрового парка. Причем значение «С» зависит от ориентировки ряда ВЭУ по отношению к господствующему направлению ветра. Если ряд ВЭУ расположен перпендикулярно преобладающему направлению ветра, то значение  $C_1$  принимается равным двукратному диаметру ветроколеса, т.е.  $C_1 = 2D$ . Если ряд ВЭУ расположен в направлении господствующего ветра, то значение  $C_2 = 10D$ . В нашем случае, когда роза ветров на южном побережье Финского залива носит выраженный асимметричный характер (преобладают ветры западного квадранта), то представляется оправданным применение формулы:

$$\mathcal{E}_{\text{техн.уд.}} = N_{\text{ном}} \cdot T_{\text{исп}} / 2 \cdot 10 \cdot D^2 = 400 \cdot 2295 / 20 \cdot 31^2 = 400 \cdot 2295 / 20 \cdot 961 = 47,8$$

млн.кВт·ч/км<sup>2</sup> (8)

Таким образом, выработка с площади 1км<sup>2</sup> при использовании ВЭУ MICON-400 и условия выраженного господствующего направления ветра составит вышеприведенное значение  $\mathcal{E}_{\text{техн.уд.}} \approx 47,8$  млн. кВт·ч.

К примеру, если в составе ветрового парка имеется 40 установок MICON – 400, то общая выработка электроэнергии с 40км<sup>2</sup> составит  $47,8 \cdot 40 \approx 1912$  млн. кВт·ч в году или  $\approx 1,9$  млн. МВт·ч. Это и будет годовая выработка указанной ВЭС (ветрового парка) за год.

#### **Список использованных источников**

- 1 Атлас ветрового и солнечного климатов России. – Изд. ГГО, 1997, - 173с.
- 2 Атлас ветров России. /Авторы: Старков А.Н., Ландберг Л., Безруких П.П., Борисенко М.М. / - М., «Можайск-Терра», 2000, - 560с.
- 3 Борисенко М.М., Кравченко И.К., Прахов А.Н. Оценки ресурсов энергии ветра и возможности их использования. В сб.: «Климатические ресурсы и методы их использования для прикладных целей». Гидрометеиздат, СПб, 2005, с. 47-60.
- 4 Борисенко М.М. Практические рекомендации по ветроэнергетике Северо-Запада. Изд. «Президент-Нева», в кн. Академия Энергетики, 2006, N 4 (12), с. 56-59.
- 5 Мещерская А.В. и др. Мониторинг скорости ветра на водосборе Волги и Урала в XX веке. /Авторы: Мещерская А.В., Гетман И.Ф., Борисенко М.М., Шевкунова Э.И./ «Метеорология и гидрология», 2004, № 3, с. 83-97.

- 6 Борисенко М.М. Перспектива использования энергии ветра как реальной альтернативы традиционным источникам топлива. В сб.: Вопросы охраны атмосферы от загрязнения. Информационный бюллетень №1 (29) НТК Атмосфера при ГГО им. А.И. Воейкова, СПб, 2004, с. 66-76.
- 7 Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики ч.I, Определение ветроэнергетических ресурсов региона СПб, Изд. СПбГПУ, 2004, - 59 с.
- 8 Муругов В.П., Пинов А.Б. Стратегия развития возобновляемой энергетики в сельском хозяйстве России. В сб. научных трудов по материалам Международной конференции «Современные проблемы нетрадиционной энергетики», СПб, Изд. СПбГТУ, 1996, с. 41-46.
- 9 Руководящий документ. Методические указания. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок. РД 52.04.275-89., М.,1991, - 90 с.
- 10 Мазурова.Н.Н., Борисенко М.М. Климатические исследования ветроэнергетических ресурсов России. В сб. научных трудов по материалам Международной конференции «Современные проблемы нетрадиционной энергетики», СПб, Изд. СПбГТУ, 1996, с. 11-14.
- 11 Лятхер В.М. Ветровые электростанции большой мощности. Обзорная информация: вып. 1 – М.,Информэнерго, 1987, - 72 с.
- 12 Безруких П.П. Экономика и возможные масштабы развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии. /РАН. Институт народнохозяйственного прогнозирования: Материалы семинара, 26 марта 2002 г. М., 2002.
- 13 Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов, Л., Гидрометеиздат, 1989, - 80с.