

Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А.И.ВОЕЙКОВА»
(ФГБУ «ГГО»)

УДК 551.521
№ гос. регистр.
АААА-А18-118102990049-2
Инв.№



СВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУ «ГГО»,
д-р физ.-мат. наук
В.М.Катцов

« 20 / 19 » г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики
Российской Федерации и Республики Беларусь
по теме:

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО АДАПТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ
ЭКОНОМИКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СЦЕНАРИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
И ФОРМИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАССИВОВ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО
КЛИМАТИЧЕСКОГО СПРАВОЧНИКА ПО БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ
(промежуточный, этап №3)

Руководитель темы
ВНС, зав. лабораторией отдела
динамической метеорологии
и климатологии, канд. геогр. наук

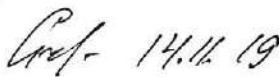
В. В. Стадник

подпись, дата

Санкт-Петербург 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, ВНС, зав.
лабораторией отдела динамической
метеорологии и климатологии,
канд. геогр. наук


 14.11.19

подпись, дата

В.В. Стадник (редактирование
отчета, введение, раздел 1.3,
заключение)

Исполнители темы:

ВНС отдела динамической
метеорологии и климатологии,
канд. физ.-мат. наук

 14.11.19

подпись, дата

Е.И. Хлебникова (раздел 1.1)

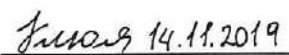
ВНС отдела динамической
метеорологии и климатологии,
канд. геогр. наук

 14.11.19

подпись, дата

Е.М. Акентьева (раздел 1.2)

ВНС отдела динамической
метеорологии и климатологии,
канд. геогр. наук

 14.11.2019

подпись, дата

М.В. Клюева (введение, раздел
1.2)

ВНС отдела динамической
метеорологии и климатологии,
канд. физ.-мат. наук

 14.11.2019

подпись, дата

И.М. Школьник (раздел 1.1)

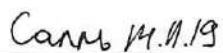
СНС отдела динамической
метеорологии и климатологии,
канд. геогр. наук

 14.11.19

подпись, дата

И.Н. Шанина (раздел 1.3)

СНС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

И.А. Салль (раздел 1.1)

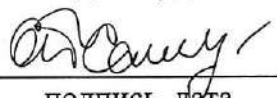
СНС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

С.В. Ефимов (раздел 1.1)

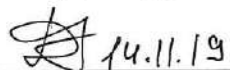
НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

Е.П. Самойлова (раздел 1.3)

НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

Д.В. Фасолько (раздел 1.2)

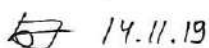
НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

Е.О. Гобарова (раздел 1.1)

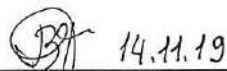
НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

А.В. Байдин (раздел 1.1,
Приложение А)


НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19

подпись, дата

В.А. Задворных (раздел 1.3)

НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.2019
подпись, дата

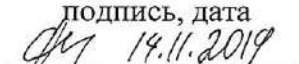
Ю.Л. Рудакова (раздел 1.1)

НС отдела динамической
метеорологии и климатологии

 14.11.19
подпись, дата

А.А. Пикалева (раздел 1.1,
Приложение А)

Нормоконтролер

 14.11.2019
подпись, дата

Е.Н. Разова

Соисполнители: ОТЧЕТ НИР
Формирование специализированных массивов
метеорологической информации для создания
электронного климатического справочника по
Смоленской области (промежуточный, этап №3)

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»
(разделы 2,3)

РЕФЕРАТ

Отчет 85 стр., 26 рис., 41 табл., 52 источника.

АНСАМБЛЕВЫЕ РАСЧЕТЫ, РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ, СЦЕНАРНЫЙ ПРОГНОЗ, АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, АТОМНАЯ И ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ЭЛЕКТРОННЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

В рамках данного отчета для разработки рекомендаций по адаптации энергетической отрасли экономики применительно к сценариям изменения климата рассмотрены региональные климатические изменения на территории субъектов России, граничащих с Республикой Беларусь, которые могут оказать воздействие на функционирование энергетической отрасли к середине и концу XXI в.

Проведен анализ особенностей функционирования тепловой и атомной энергетики в условиях изменения режима температуры и увлажнения в районах расположения электростанций.

Сформулированы предложения по адаптации атомной и тепловой энергетики к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям на территории областей, сопредельных с Республикой Беларусь.

Рассмотрена возможность использования возобновляемых источников энергии на территории Псковской, Смоленской и Брянской областей.

Подготовлены специализированные массивы данных высокого качества по основным метеорологическим параметрам таблиц регионального климатического справочника Брянской области. Созданы массивы данных различного временного разрешения – срочного, суточного, месячного.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| РЕФЕРАТ..... | 4 |
| ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ..... | 7 |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ..... | 8 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 10 |
| 1 Оценка влияния изменений климата на энергетическую отрасль для европейской территории Российской Федерации, сопредельной с Республикой Беларусь, применительно к сценариям изменения климата в XXI веке..... | 11 |
| 1.1 Ожидаемые изменения климатических воздействий на функционирование объектов энергетики для территории субъектов Российской Федерации, граничащих с Республикой Беларусь..... | 11 |
| 1.2 Климатические аспекты функционирования объектов энергетики на европейской территории Российской Федерации, сопредельной с Республикой Беларусь, в условиях меняющегося климата..... | 37 |
| 1.2.1 Структура энергетической отрасли Псковской, Смоленской и Брянской областей..... | 37 |
| 1.2.2 Специализированные климатические характеристики, используемые при проектировании и эксплуатации АЭС и ТЭС..... | 39 |
| 1.2.3 Влияние изменений температурного режима и режима увлажнения на функционирование АЭС и ТЭС..... | 40 |
| 1.2.4 Опасные явления на территории Псковской, Смоленской и Брянской областей... | 49 |
| 1.2.5 Влияние метеорологических факторов на линии электропередач..... | 52 |
| 1.3 Рекомендации по адаптации энергетической отрасли к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям на территории областей, сопредельных с Республикой Беларусь..... | 56 |
| 1.3.1 Технологическая адаптация..... | 57 |
| 1.3.2 Поведенческая адаптация..... | 60 |
| 1.3.3 Институциональная адаптация..... | 61 |
| 1.3.4 Возобновляемые источники энергии..... | 62 |
| 1.3.4.1 Солнечная энергетика..... | 62 |
| 1.3.4.2 Ветровая энергетика..... | 67 |
| 1.3.4.3 Биоэнергетика..... | 68 |

| | |
|--|----|
| 2 Программное обеспечение для формирования базы данных статистических характеристик электронного климатического справочника Брянской области..... | 71 |
| 3 Формирование специализированных массивов метеорологической информации для создания электронных климатических справочников по Брянской области..... | 73 |
| 3.1 Каталог метеорологических станций..... | 73 |
| 3.2 Специализированные массивы срочного разрешения | 74 |
| 3.3 Специализированные массивы суточного разрешения..... | 75 |
| 3.4 Специализированные массивы месячного разрешения..... | 75 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 79 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 81 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ | |

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

АИСОРИ – общее название семейства программных продуктов, предназначенных для эффективной работы с архивами Государственного фонда данных о состоянии природной среды (Госфонд);

Гроза – комплексное атмосферное явление, при котором многократные электрические заряды между облаками или между облаком и землей (молнии) сопровождаются звуковым явлением – громом. Различают грозы фронтальные и внутримассовые [1];

Маршрутные снегомерные периодические снегомерные наблюдения на различных съемки – элементах ландшафта – лес, поле, балка [1].

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете использованы следующие обозначения и сокращения:

- АИСОРИ – автоматизированная информационная система обработки режимной информации;
- АИСОРИ-Вебрь – специализированная технология для работы с архивами Госфонда;
- АЭС – Атомная электростанция;
- АЯ – атмосферные явления;
- ВМО – Всемирная метеорологическая организация;
- ВОСХОД – архив результатов основных 8-ми срочных метеорологических наблюдений на станциях бывшего СССР за период 1966 - 1976 гг. включительно;
- ВРП – валовой региональный продукт;
- Госфонд – Государственный фонд данных о состоянии природной среды;
- ГРЭС – Государственная районная электростанция;
- ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» – Государственное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»
- ЕЦУС – Единый центр управления сетями;
- КПД – Коэффициент полезного действия;
- ЛЭП – Линия электропередач;
- МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменениям климата;
- МЧС – Министерство по чрезвычайным ситуациям
- НИР – научно-исследовательская работа
- НПЯ – неблагоприятные погодные явления;
- ООЯ – Особо опасные атмосферные явления;
- ОЯ – Опасные атмосферные явления;
- ПДЗВ – поясное декретное зимнее время;
- РКМ – региональные климатические модели;
- Росстат – Федеральная служба государственной статистики;
- РСБД – режимно-справочный банк данных;
- РЭС – район электрических сетей;

- СНиП – Строительные нормы и правила;
- СУТКИ.76 – архив обобщений на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период 1966 - 1976 гг. включительно;
- СУТКИ-ТМ1-77.83– архив обобщений на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период 1977 – 1983 гг. включительно;
- СУБД – система управления базами данных;
- ТМ1-СУТКИ – архив обобщений на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период от начала работы станций до 1965 г. включительно;
- ТМС – архив содержит результаты 8-ми срочных метеорологических наблюдений на станциях бывшего СССР с 1984 года включительно по настоящее время;
- ТМСМ – архив содержит месячные выводы по результатам наблюдений, производимых на метеорологических станциях с 1984 года по настоящее время;
- ТМСС – архив обобщений на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период от 1984 г. по настоящее время;
- ТЭС – Тепловая электростанция;
- ТЭЦ– Теплоэлектроцентраль;
- РСР 8.5 – сценарий изменений климата при сравнительно высоких выбросах парниковых газов.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетика является базовой отраслью экономики, обеспечивающей электрической и тепловой энергией потребности народного хозяйства и населения. Устойчивое развитие и надежное функционирование отрасли во многом определяют энергетическую безопасность страны, и являются важными факторами ее успешного экономического развития. Вопросы энергетики являются тем более важными из-за климатических особенностей России.

Изменения климата в последние десятилетия обусловили необходимость учета климатических условий при планировании, организации производств и размещении энергетических объектов, а также выработки адаптационных мер для минимизации ущерба от неблагоприятных погодных условий и изменений климата.

Целью третьего этапа НИР является анализ климатических воздействий на объекты энергетики (атомной и тепловой), определение адаптационных мер в связи с высокой уязвимостью энергетической инфраструктуры к изменениям окружающей среды.

В задачи третьего этапа НИР входит:

- получение вероятностных оценок ожидаемых изменений специализированных климатических показателей, которые можно рассматривать как информационную основу для разработки адаптационных мероприятий;
- анализ климатических аспектов функционирования ТЭС и АЭС на европейской территории Российской Федерации, сопредельной с Республикой Беларусь, в условиях меняющегося климата;
- анализ климатических условий для использования возобновляемых источников энергии на территории сопредельных с Республикой Беларусь – Псковской, Смоленской и Брянской областей;
- рекомендации по адаптации энергетической отрасли рассматриваемых областей к изменению и изменчивости климата.

В рамках третьего этапа НИР продолжается работа по созданию регионального климатического справочника – подготовка специализированных массивов данных высокого качества по основным метеорологическим параметрам для Брянской области.

1 Оценка влияния изменений климата на энергетическую отрасль для территории субъектов Российской Федерации, граничащих с Республикой Беларусь, применительно к сценариям изменения климата в XXI веке

1.1 Ожидаемые изменения климатических воздействий на функционирование объектов энергетики для территории субъектов Российской Федерации, граничащих с Республикой Беларусь

Изменения климата влияют на условия добычи первичных энергоресурсов, производство энергии, ее передачу и потребление, оказывая тем самым существенное воздействие на весь энергетический комплекс. Получение количественных оценок изменения климатического воздействия на функционирование объектов энергетической отрасли является первоочередной задачей климатологического обоснования мер по адаптации [1], [2]. Если в конце XX – начале XXI вв. в качестве основного инструмента получения научно-обоснованной информации о будущем климате в тех или иных регионах рассматривались глобальные климатические модели [3],[4], то в последние годы для построения сценарных прогнозов изменений климата и анализа соответствующих климатических воздействий, все чаще привлекаются ансамблевые расчеты с использованием региональных моделей [5]. Такая тенденция связана с относительно высоким пространственным разрешением этих моделей и лучшим (по сравнению с глобальными моделями) воспроизведением экстремальных событий в сочетании с количественным описанием неопределенностей оценок, обусловленных влиянием собственной изменчивости климатической системы в мезомасштабном диапазоне.

В рамках данного этапа исследования рассматриваются региональные климатические изменения на территории субъектов России, граничащих с Республикой Беларусь, которые могут оказать воздействие на функционирование энергетической отрасли к середине и концу XXI в. В основу анализа положены результаты ансамблевых расчетов с использованием высокоразрешающей системы моделей, разработанной в ФБГУ «ГГО» [6] и реализованной для территории Союзного государства применительно к сценарию антропогенного воздействия МГЭИК RCP8.5 [7].

Анализ изменения климатических воздействий на рассматриваемую отрасль экономики предполагает привлечение специальных климатических индексов, вариация которых отражает то или иное влияние на рассматриваемые объекты. При получении перспективных оценок изменений климата особое внимание обычно уделяется индексам, рекомендованным экспертами ВМО для изучения изменений климата по данным о температуре воздуха и количестве осадков суточного разрешения. Наибольшее

распространение имеет набор ключевых индексов, предложенных группой экспертов по обнаружению изменений климата и индексам. Эти показатели, а также расширенный набор индексов, сформированный группой экспертов по специализированным климатическим индексам, ориентированы, в основном, на диагностические исследования в разных регионах земного шара, обеспечивающие возможность последующего анализа современных и будущих изменений рассматриваемых климатических показателей в глобальном масштабе [8]. Однако при разработке адаптационных программ на национальном уровне необходимо дополнительно учитывать региональные климатические особенности, а также сложившуюся практику использования климатической информации для прикладных целей [9], [10].

В обобщающих докладах для территории России [4], [11] приведены количественные оценки изменения отдельных показателей термического режима и режима увлажнения, отражающие важные позитивные и негативные эффекты воздействия климатических изменений на функционирование энергетического комплекса в рассматриваемом регионе. В настоящем разделе представлены результаты анализа ожидаемых изменений для широкого круга специализированных показателей, перечень которых был сформирован с учетом выполненных ранее исследований и рекомендаций ВМО, а также имеющегося опыта климатического обслуживания на региональном уровне.

На предыдущем этапе выполнения проекта были получены важные результаты, касающиеся изменения различных индикаторов термического режима холодного периода. На данном этапе, наряду с количественными оценками ожидаемого уменьшения энергопотребления в холодный период года, преимущественное внимание уделяется оценкам показателей, отражающим негативное влияние ожидаемого потепления в теплый период года.

Далее анализируются климатические изменения следующих показателей термического режима:

- 1 – число дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С (дни);
- 2 – число дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 30 °С (дни);
- 3 – максимальная непрерывная продолжительность периода с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С (дни);
- 4 – средняя температура наиболее жаркой 5-дневки (°С);
- 5 – средняя температура наиболее жаркой 30-дневки (°С);
- 6 – дефицит тепла (°С×сут);
- 7 – дефицит холода (°С×сут).

Для описания воздействия режима увлажнения используются показатели, рассчитываемые по данным о количестве осадков суточного разрешения:

- 1 – максимальная непрерывная продолжительность сухого периода (период с суточными суммами осадков $P < 1$ мм) для теплого сезона (дни);
- 2 – максимальная непрерывная продолжительность периодов с количеством осадков меньше 1 мм и суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С (дни);
- 3 – число дней с количеством осадков больше 10мм для теплого сезона (дни);
- 4 – число дней с количеством осадков больше 20мм для теплого сезона (дни);
- 5 – годовой максимум осадков (мм).

По результатам массовых ансамблевых расчетов была выполнена сравнительная оценка анализируемых показателей для конца XX в. (1990-1999 гг.), а также для двух периодов XXI в. (2050-2059 гг. и 1981-2000 гг.). Для каждого 10-летнего периода было проведено 50 экспериментов. Таким образом, в основу для сравнения климатических характеристик температуры воздуха суточного разрешения для современного и будущего климатов были положены 500-летние совокупности.

В контексте адаптации к изменениям климата для оптимизации принимаемых решений на региональном уровне существенно знать не только средние изменения различных показателей. Важно представлять, с какой вероятностью на выбранном временном интервале можно ожидать то или иное значение рассматриваемого индикатора. Проведенные массовые ансамблевые расчеты (500 годовых реализаций) дают возможность оценить будущие изменения рассматриваемых показателей в вероятностном аспекте.

Анализ таблиц 1-7 показывает, что уже в середине XXI в. при довольно жестком сценарии антропогенного воздействия (RCP8.5) медианные оценки отклонений, рассматриваемых показателей термического режима теплого периода года, от базовых норм будут положительными. При этом в холодный период года дефицит тепла ожидается значительно меньше базовых значений. В то же время, на фоне собственной изменчивости климатической системы в середине XXI в. могут отмечаться значения рассматриваемых показателей теплого периода меньше базовых норм конца XX в. В наибольшей степени это проявляется на изменении пороговых температурных показателей (числа дней с температурой выше заданного уровня, а также непрерывной продолжительности таких периодов), в особенности, на территории Псковской области.

Региональные изменения показателей увлажнения (таблицы 8-12) под воздействием антропогенного потепления также сопровождаются трансформацией вероятностных распределений, при этом квантили уровней 5 % и 25 % в середине XXI в.

оказываются меньше «нормы» для конца XX в. Однако для осадков характерен более высокий вклад естественной изменчивости, что отражается на менее уверенном диагностировании знака ожидаемых изменений [12]. На юге рассматриваемого региона (в Брянской области) лучше проявляется ожидаемое увеличение продолжительности сухих периодов, в то время как на севере (в Псковской области) более отчетливо выявляется рост максимумов осадков.

К концу века (2090 -2099 гг.) наметившиеся тенденции в изменении термического режима и режима увлажнения обнаруживаются вполне отчетливо (таблицы 13-24). Особенно ярко это проявляется в изменении распределения таких показателей как дефицит тепла, дефицит холода и изменение температуры наиболее жаркой 30-дневки. Интересно также отметить, что на территории региона формируется две противоположные тенденции в изменении максимальной продолжительности сухих периодов. В северной части региона продолжительность сухих периодов теплого сезона уменьшается, а в южных районах (Смоленская и Брянская области) увеличивается.

В таблицах 25 и 26 для двух периодов (1981-2010 гг. и 1990-1999 гг.) приведены средние многолетние значения рассматриваемых специализированных показателей термического режима и режима увлажнения. Представленные в таблицах значения, рассчитанные по данным наблюдений, целесообразно использовать при интерпретации ожидаемых изменений и оценке средних многолетних значений анализируемых показателей в середине и конце XXI в. (таблицы 1-24).

Рисунки 1-12 дают детализированное представление о вероятностных распределениях специализированных показателей в середине и конце XXI в. для пунктов, соответствующих областным центрам в рассматриваемом регионе (Псков, Смоленск, Брянск). Полученные распределения позволяют охарактеризовать различные особенности ожидаемых изменений, в том числе оценить пороговые значения, соответствующие той или иной вероятности превышения. Обращает на себя внимание существенная асимметричность распределений для пороговых климатических характеристик, которая отражает возможность длительных неблагоприятных воздействий на объекты энергетики в будущем (например, волн тепла с температурой выше плюс 25 °С (рисунок 3)).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в теплое время года потепление оказывает негативное воздействие на энергетический комплекс. Увеличение температуры снижает эффективность теплового преобразования, и приводит к сокращению производства энергии на электростанциях.

Таблица 1 – Квантили распределения числа дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -5,2 | -1,9 | 2,0 | 9,8 | 26,7 |
| Псков | -7,8 | -3,0 | 2,2 | 12,2 | 30,2 |
| Пушкинские Горы | -8,6 | 2,6 | 11,6 | 21,9 | 39,9 |
| Великие Луки | -10,2 | 1,3 | 13,3 | 24,2 | 41,2 |
| Смоленск | -12,4 | 8,4 | 20,3 | 31,6 | 47,0 |
| Брянск | -8,9 | 12,1 | 22,9 | 32,2 | 44,6 |
| Красная Гора | -13,8 | 8,4 | 20,4 | 32,0 | 45,0 |
| Трубчевск | -14,0 | 9,4 | 22,2 | 33,4 | 47,3 |

Примечание: здесь и далее в таблицах 3-26 в качестве базовых использованы средние по ансамблю значения за 1990-1999 гг.

Таблица 2 – Квантили распределения числа дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 30 °С в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -0,5 | -0,2 | -0,2 | 0,5 | 3,8 |
| Псков | -1,2 | -0,5 | -0,1 | 1,1 | 5,9 |
| Пушкинские Горы | -3,1 | -0,5 | 2,6 | 7,6 | 16,8 |
| Великие Луки | -3,3 | -1,1 | 2,9 | 8,7 | 20,1 |
| Смоленск | -4,9 | 3,1 | 11,4 | 20,3 | 33,4 |
| Брянск | -4,4 | 9,6 | 19,7 | 29,7 | 43,5 |
| Красная Гора | -7,2 | 5,2 | 16,3 | 26,3 | 39,3 |
| Трубчевск | -8,4 | 3,1 | 15,6 | 26,6 | 40,8 |

Таблица 3 – Квантили распределения максимальной непрерывной продолжительности периода с суточной максимальной температурой больше плюс 25 °С (дни) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -2,4 | -1,2 | 0,7 | 3,6 | 10,6 |
| Псков | -3,0 | -1,6 | 1,0 | 4,2 | 10,9 |
| Пушкинские Горы | -3,0 | 0,0 | 2,3 | 6,4 | 16,3 |
| Великие Луки | -3,8 | 0,3 | 3,6 | 7,5 | 19,0 |
| Смоленск | -5,7 | 1,8 | 8,1 | 16,6 | 34,3 |
| Брянск | -5,8 | 4,3 | 12,6 | 24,7 | 44,5 |
| Красная Гора | -5,4 | 2,6 | 11,6 | 21,8 | 39,6 |
| Трубчевск | -7,1 | 1,2 | 11,9 | 23,8 | 47,7 |

Таблица 4 – Квантили распределения средней температуры (°С) наиболее жаркой 5-дневки в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -1,3 | 0,2 | 1,5 | 3,0 | 5,1 |
| Псков | -1,5 | 0,1 | 1,4 | 3,1 | 5,2 |
| Пушкинские Горы | -1,5 | 0,4 | 1,9 | 3,4 | 5,7 |
| Великие Луки | -1,6 | 0,6 | 2,1 | 3,7 | 6,1 |
| Смоленск | -1,4 | 1,1 | 2,3 | 3,6 | 5,3 |
| Брянск | -0,3 | 1,6 | 2,7 | 3,9 | 5,6 |
| Красная Гора | -1,0 | 1,3 | 2,5 | 3,6 | 5,3 |
| Трубчевск | -1,3 | 1,3 | 2,8 | 4,3 | 6,1 |

Таблица 5 – Квантили распределения средней температуры (°С) наиболее жаркой 30-дневки в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -0,5 | 0,7 | 1,7 | 2,9 | 4,7 |
| Псков | -0,7 | 0,6 | 1,7 | 2,7 | 4,7 |
| Пушкинские Горы | -0,6 | 0,9 | 2,0 | 3,2 | 5,0 |
| Великие Луки | -0,8 | 0,9 | 2,2 | 3,7 | 5,5 |
| Смоленск | -0,8 | 1,3 | 2,5 | 3,6 | 5,4 |
| Брянск | -0,2 | 1,7 | 2,8 | 3,8 | 5,4 |
| Красная Гора | -0,7 | 1,3 | 2,6 | 3,7 | 5,4 |
| Трубчевск | -0,9 | 1,4 | 2,9 | 4,1 | 5,8 |

Таблица 6 – Квантили распределения дефицита тепла (°С×сут) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|--------|--------|--------|-------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -1212,6 | -801,0 | -487,5 | -238,5 | 184,9 |
| Псков | -1201,2 | -792,8 | -482,9 | -194,8 | 162,7 |
| Пушкинские Горы | -1178,9 | -790,6 | -443,2 | -178,6 | 224,3 |
| Великие Луки | -1210,0 | -756,0 | -447,9 | -144,9 | 216,8 |
| Смоленск | -1114,4 | -749,2 | -434,4 | -144,2 | 261,5 |
| Брянск | -1080,7 | -704,1 | -426,7 | -136,0 | 267,8 |
| Красная Гора | -1106,5 | -729,2 | -435,2 | -147,7 | 291,8 |
| Трубчевск | -1099,1 | -723,4 | -435,8 | -150,5 | 274,9 |

Таблица 7 – Квантили распределения дефицита холода (°С×сут) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -16,3 | 5,4 | 37,1 | 82,6 | 170,2 |
| Псков | -21,0 | 5,0 | 42,1 | 93,2 | 198,1 |
| Пушкинские Горы | -26,4 | 32,9 | 91,5 | 162,8 | 282,3 |
| Великие Луки | -38,4 | 29,3 | 95,1 | 174,5 | 296,1 |
| Смоленск | -45,3 | 79,5 | 175,5 | 270,5 | 405,5 |
| Брянск | -21,0 | 130,7 | 242,8 | 349,2 | 482,1 |
| Красная Гора | -64,3 | 100,5 | 206,3 | 310,3 | 447,0 |
| Трубчевск | -57,8 | 103,7 | 211,3 | 333,0 | 466,6 |

Таблица 8 – Квантили распределения максимальной непрерывной продолжительности сухого периода (дни) для теплого сезона (май-сентябрь) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -8,4 | -4,9 | -1,0 | 3,6 | 13,2 |
| Псков | -7,8 | -4,1 | -1,2 | 2,9 | 11,0 |
| Пушкинские Горы | -9,0 | -5,5 | -1,0 | 5,0 | 14,5 |
| Великие Луки | -6,0 | -2,9 | -0,1 | 3,9 | 11,2 |
| Смоленск | -8,4 | -4,4 | -0,4 | 3,7 | 14,8 |
| Брянск | -9,2 | -4,8 | 0,1 | 6,8 | 16,6 |
| Красная Гора | -8,2 | -4,2 | -0,3 | 4,3 | 14,2 |
| Трубчевск | -6,8 | -3,1 | -0,1 | 4,4 | 14,4 |

Таблица 9 – Квантили распределения максимальной непрерывной продолжительности периода с суточным количеством осадков меньше 1 мм и суточной максимальной температурой выше плюс 25 °С (дни) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -2,2 | -1,1 | 0,8 | 3,0 | 8,8 |
| Псков | -2,8 | -1,5 | 0,5 | 3,5 | 9,3 |
| Пушкинские Горы | -3,0 | -0,1 | 2,0 | 5,0 | 12,9 |
| Великие Луки | -3,0 | -0,3 | 1,9 | 5,2 | 9,9 |
| Смоленск | -3,6 | 0,1 | 3,1 | 6,9 | 15,1 |
| Брянск | -4,3 | 0,0 | 4,0 | 9,7 | 19,9 |
| Красная Гора | -3,9 | -0,2 | 2,9 | 6,9 | 13,9 |
| Трубчевск | -3,9 | -0,6 | 2,9 | 6,0 | 14,1 |

Таблица 10 – Квантили распределения числа дней с осадками больше 10 мм в теплый период (апрель-октябрь) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -3,6 | -0,6 | 1,8 | 4,6 | 8,8 |
| Псков | -3,1 | -0,2 | 1,9 | 4,0 | 8,0 |
| Пушкинские Горы | -2,6 | -0,6 | 1,3 | 3,3 | 7,0 |
| Великие Луки | -3,4 | -1,2 | 1,1 | 3,7 | 7,1 |
| Смоленск | -3,2 | -0,8 | 1,2 | 3,2 | 6,8 |
| Брянск | -3,3 | -1,3 | 0,4 | 1,9 | 5,5 |
| Красная Гора | -3,0 | -0,9 | 1,0 | 2,8 | 6,0 |
| Трубчевск | -4,4 | -1,7 | 0,6 | 3,3 | 6,7 |

Таблица 11 – Квантили распределения числа дней с осадками больше 20 мм в теплый период (апрель-октябрь) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -1,1 | -0,1 | 0,5 | 1,9 | 3,9 |
| Псков | -1,1 | -0,3 | 0,3 | 1,3 | 3,3 |
| Пушкинские Горы | -1,0 | -0,5 | 0,3 | 1,2 | 2,5 |
| Великие Луки | -1,5 | -0,5 | 0,2 | 1,2 | 2,8 |
| Смоленск | -1,2 | -0,6 | 0,1 | 1,1 | 3,1 |
| Брянск | -1,1 | -0,6 | 0,1 | 0,9 | 2,4 |
| Красная Гора | -1,0 | -0,6 | 0,2 | 1,2 | 2,9 |
| Трубчевск | -1,8 | -0,8 | 0,2 | 1,2 | 3,2 |

Таблица 12 – Квантили распределения годового максимума осадков (мм) в 2050-2059 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -8,7 | -3,2 | 2,1 | 10,6 | 40,1 |
| Псков | -8,3 | -3,3 | 2,7 | 9,8 | 29,3 |
| Пушкинские Горы | -8,8 | -3,9 | 1,6 | 7,8 | 23,5 |
| Великие Луки | -10,3 | -5,1 | 0,1 | 7,4 | 25,7 |
| Смоленск | -10,4 | -5,2 | 0,1 | 6,9 | 27,7 |
| Брянск | -9,0 | -4,2 | 0,8 | 8,5 | 25,8 |
| Красная Гора | -10,4 | -5,2 | -0,3 | 7,1 | 28,3 |
| Трубчевск | -11,0 | -4,6 | 1,6 | 9,7 | 28,6 |

Таблица 13 – Квантили распределения числа дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -3,2 | 0,7 | 10,4 | 23,9 | 45,1 |
| Псков | -5,3 | 1,0 | 12,3 | 26,4 | 45,7 |
| Пушкинские Горы | -6,0 | 13,0 | 26,6 | 39,6 | 56,6 |
| Великие Луки | -9,2 | 11,4 | 26,3 | 40,3 | 57,6 |
| Смоленск | -3,8 | 22,0 | 36,5 | 47,3 | 61,3 |
| Брянск | 8,1 | 28,1 | 37,1 | 46,9 | 58,1 |
| Красная Гора | 1,2 | 23,8 | 35,3 | 45,2 | 59,2 |
| Трубчевск | -1,3 | 25,5 | 38,4 | 48,5 | 59,9 |

Таблица 14 – Квантили распределения числа дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 30 °С в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -0,5 | -0,2 | 0,0 | 2,4 | 11,5 |
| Псков | -0,9 | -0,5 | -0,1 | 3,8 | 15,1 |
| Пушкинские Горы | -1,5 | 1,6 | 7,6 | 15,7 | 32,6 |
| Великие Луки | -1,9 | 0,9 | 8,7 | 18,7 | 34,7 |
| Смоленск | -3,9 | 11,4 | 24,4 | 38,4 | 58,3 |
| Брянск | 6,6 | 26,6 | 37,8 | 50,7 | 67,5 |
| Красная Гора | -0,2 | 19,2 | 31,8 | 46,1 | 62,3 |
| Трубчевск | -4,0 | 18,6 | 32,6 | 46,1 | 63,1 |

Таблица 15 – Квантили распределения максимальной непрерывной продолжительности периода с суточной максимальной температурой выше плюс 25 °С (дни) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -1,4 | -0,2 | 2,8 | 7,8 | 20,7 |
| Псков | -2,0 | 0,2 | 3,2 | 8,3 | 22,1 |
| Пушкинские Горы | -2,6 | 2,3 | 7,3 | 14,2 | 29,0 |
| Великие Луки | -2,9 | 2,8 | 7,6 | 15,5 | 34,2 |
| Смоленск | -2,7 | 8,5 | 19,1 | 34,3 | 61,6 |
| Брянск | 0,6 | 16,8 | 32,6 | 52,6 | 76,3 |
| Красная Гора | -1,1 | 13,3 | 27,7 | 42,8 | 72,6 |
| Трубчевск | -2,1 | 14,8 | 29,5 | 45,9 | 72,7 |

Таблица 16 – Квантили распределения средней температуры (°С) наиболее жаркой 5-дневки в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | 0,2 | 1,6 | 3,0 | 4,5 | 7,6 |
| Псков | -0,1 | 1,4 | 2,9 | 4,4 | 7,3 |
| Пушкинские Горы | -0,8 | 1,8 | 3,4 | 5,0 | 7,7 |
| Великие Луки | -0,7 | 2,1 | 3,8 | 5,5 | 8,0 |
| Смоленск | -0,3 | 2,9 | 4,3 | 5,8 | 7,7 |
| Брянск | 1,6 | 3,4 | 4,9 | 6,2 | 8,1 |
| Красная Гора | 0,8 | 3,2 | 4,5 | 5,9 | 7,7 |
| Трубчевск | 0,3 | 3,4 | 5,0 | 6,7 | 8,3 |

Таблица 17 – Квантили распределения средней температуры (°С) наиболее жаркой 30-дневки в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | 1,0 | 2,3 | 3,3 | 4,7 | 7,1 |
| Псков | 0,9 | 2,2 | 3,2 | 4,5 | 7,0 |
| Пушкинские Горы | 0,5 | 2,4 | 3,7 | 4,9 | 7,0 |
| Великие Луки | 0,3 | 2,5 | 4,0 | 5,5 | 7,7 |
| Смоленск | 0,4 | 3,1 | 4,4 | 5,9 | 8,0 |
| Брянск | 1,6 | 3,6 | 4,8 | 6,2 | 8,1 |
| Красная Гора | 1,3 | 3,3 | 4,6 | 5,9 | 7,9 |
| Трубчевск | 0,8 | 3,6 | 5,0 | 6,6 | 8,4 |

Таблица 18 – Квантили распределения дефицита тепла (°С×сут) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|---------|---------|--------|--------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -2121,7 | -1642,4 | -1295,6 | -987,0 | -526,6 |
| Псков | -2114,2 | -1658,7 | -1302,5 | -968,7 | -510,4 |
| Пушкинские Горы | -2152,0 | -1605,4 | -1261,2 | -927,3 | -458,3 |
| Великие Луки | -2199,6 | -1596,6 | -1265,7 | -927,4 | -442,1 |
| Смоленск | -2124,5 | -1565,3 | -1223,0 | -865,3 | -393,6 |
| Брянск | -2013,2 | -1537,3 | -1204,8 | -872,0 | -391,8 |
| Красная Гора | -2067,9 | -1566,0 | -1218,4 | -872,4 | -360,0 |
| Трубчевск | -2042,3 | -1534,7 | -1207,3 | -883,4 | -387,5 |

Таблица 19 – Квантили распределения дефицита холода ($^{\circ}\text{C}\times\text{сут}$) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | 9,6 | 56,6 | 110,7 | 200,2 | 343,9 |
| Псков | 13,3 | 63,3 | 132,2 | 215,7 | 364,0 |
| Пушкинские Горы | 11,7 | 117,1 | 215,9 | 315,7 | 496,0 |
| Великие Луки | -1,8 | 114,4 | 220,5 | 332,4 | 511,0 |
| Смоленск | 29,5 | 224,8 | 346,6 | 487,4 | 690,7 |
| Брянск | 136,4 | 342,2 | 461,6 | 608,4 | 800,0 |
| Красная Гора | 88,3 | 276,0 | 397,2 | 550,6 | 758,8 |
| Трубчевск | 67,0 | 284,7 | 429,2 | 579,0 | 791,4 |

Таблица 20 – Квантили распределения максимальной непрерывной продолжительности сухого периода (дни) для теплого сезона (май – сентябрь) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -8,3 | -4,8 | -0,8 | 4,0 | 14,2 |
| Псков | -7,9 | -4,1 | -0,4 | 4,1 | 14,8 |
| Пушкинские Горы | -10,0 | -5,0 | -0,6 | 5,0 | 18,5 |
| Великие Луки | -6,1 | -3,0 | 0,2 | 4,8 | 14,0 |
| Смоленск | -8,4 | -4,2 | 0,6 | 6,6 | 16,6 |
| Брянск | -8,4 | -4,1 | 0,9 | 8,8 | 22,6 |
| Красная Гора | -7,3 | -3,6 | 0,7 | 5,9 | 17,2 |
| Трубчевск | -6,6 | -2,2 | 1,4 | 6,2 | 16,2 |

Таблица 21 – Квантили распределения максимальной непрерывной продолжительности периода с суточным количеством осадков меньше 1 мм и суточной максимальной температурой выше плюс 25 $^{\circ}\text{C}$ (дни) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -1,2 | -0,1 | 2,0 | 6,8 | 15,8 |
| Псков | -2,0 | -0,3 | 2,3 | 6,2 | 14,0 |
| Пушкинские Горы | -2,1 | 1,2 | 5,0 | 10,0 | 19,0 |
| Великие Луки | -2,4 | 1,3 | 3,6 | 6,6 | 15,6 |
| Смоленск | -2,3 | 2,1 | 6,0 | 11,1 | 20,9 |
| Брянск | -2,0 | 3,6 | 7,8 | 13,9 | 26,9 |
| Красная Гора | -2,1 | 2,1 | 5,1 | 10,2 | 21,1 |
| Трубчевск | -2,6 | 1,8 | 5,4 | 10,1 | 18,1 |

Таблица 22 – Квантили распределения числа дней с осадками больше 10 мм в теплый период (апрель-октябрь) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -2,6 | 0,6 | 3,6 | 6,5 | 11,6 |
| Псков | -2,1 | 0,8 | 2,9 | 6,0 | 10,9 |
| Пушкинские Горы | -1,8 | 0,3 | 2,2 | 4,4 | 8,2 |
| Великие Луки | -3,3 | -0,2 | 2,7 | 4,8 | 9,8 |
| Смоленск | -2,8 | -0,8 | 1,2 | 4,0 | 8,2 |
| Брянск | -2,5 | -0,6 | 0,7 | 2,7 | 5,7 |
| Красная Гора | -2,9 | -0,6 | 1,4 | 3,1 | 6,7 |
| Трубчевск | -4,3 | -1,7 | 0,6 | 2,9 | 8,2 |

Таблица 23 – Квантили распределения числа дней с осадками больше 20 мм в теплый период (апрель-октябрь) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -1,1 | -0,1 | 1,3 | 2,9 | 5,5 |
| Псков | -1,1 | 0,0 | 0,9 | 2,0 | 4,3 |
| Пушкинские Горы | -0,9 | -0,5 | 0,5 | 1,5 | 3,5 |
| Великие Луки | -1,2 | -0,5 | 0,5 | 1,8 | 3,8 |
| Смоленск | -1,2 | -0,2 | 0,4 | 1,4 | 3,4 |
| Брянск | -0,9 | -0,4 | 0,2 | 1,1 | 2,6 |
| Красная Гора | -1,0 | -0,6 | 0,2 | 1,2 | 3,0 |
| Трубчевск | -1,8 | -0,7 | 0,3 | 1,5 | 4,0 |

Таблица 24 – Квантили распределения годового максимума осадков (мм) в 2090-2099 гг. (в отклонениях от базовых значений)

| Название станции | Вероятность, % | | | | |
|------------------|----------------|------|------|------|------|
| | 5 % | 25 % | 50 % | 75 % | 95 % |
| Гдов | -7,4 | -0,2 | 6,5 | 16,3 | 38,8 |
| Псков | -7,8 | -1,0 | 5,6 | 14,2 | 36,4 |
| Пушкинские Горы | -6,4 | -1,9 | 3,6 | 11,9 | 32,0 |
| Великие Луки | -8,4 | -2,9 | 2,0 | 10,5 | 34,4 |
| Смоленск | -9,3 | -2,8 | 3,5 | 11,4 | 34,3 |
| Брянск | -7,4 | -2,1 | 3,7 | 12,9 | 33,4 |
| Красная Гора | -8,7 | -2,3 | 3,6 | 13,4 | 34,7 |
| Трубчевск | -10,3 | -1,9 | 4,2 | 13,4 | 38,4 |

Таблица 25 - Средние многолетние значения климатических показателей температуры воздуха за 1981-2010 гг. и 1990-1999 гг.

- 1 – число дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С (дни);
 2 – число дней с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 30 °С (дни);
 3 – максимальная непрерывная продолжительность периода с суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С (дни);
 4 – средняя температура наиболее жаркой 5-дневки (°С);
 5 – средняя температура наиболее жаркой 30-дневки (°С);
 6 – дефицит тепла (°С×сут);
 7 – дефицит холода (°С×сут).

| Название станции | Показатели | | | | | | |
|------------------|------------|-----|------|------|------|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1981-2010 гг. | | | | | | | |
| Гдов | 16,6 | 1,1 | 5,9 | 21,4 | 18,8 | 3885 | 65 |
| Псков | 26,3 | 3,1 | 9,1 | 22,1 | 19,2 | 3862 | 85 |
| Пушкинские Горы | 23,7 | 2,4 | 7,3 | 22,1 | 19,0 | 3850 | 84 |
| Великие Луки | 27,1 | 2,7 | 8,7 | 21,8 | 19,0 | 3901 | 81 |
| Смоленск | 24,4 | 2,4 | 8,0 | 21,9 | 19,0 | 3967 | 83 |
| Брянск | 34,3 | 5,6 | 10,8 | 23,4 | 20,2 | 3845 | 140 |
| Красная Гора | 42,9 | 6,8 | 12,7 | 23,1 | 20,1 | 3620 | 138 |
| Трубчевск | 38,2 | 6,3 | 11,2 | 23,1 | 20,1 | 3778 | 133 |
| 1990-1999 гг. | | | | | | | |
| Гдов | 16,2 | 0,9 | 5,9 | 21,2 | 18,6 | 3867 | 61 |
| Псков | 27,6 | 3,0 | 8,2 | 21,7 | 18,9 | 3832 | 78 |
| Пушкинские Горы | 23,1 | 2,0 | 6,2 | 21,5 | 18,8 | 3828 | 77 |
| Великие Луки | 26,9 | 2,2 | 8,3 | 21,4 | 18,8 | 3882 | 77 |
| Смоленск | 23,6 | 1,9 | 7,1 | 21,7 | 18,7 | 4008 | 75 |
| Брянск | 31,4 | 4,3 | 10,6 | 23,4 | 20,1 | 3860 | 131 |
| Красная Гора | 39,5 | 6,2 | 11,3 | 22,8 | 19,7 | 3690 | 119 |
| Трубчевск | 34,7 | 5,0 | 9,4 | 23,1 | 19,8 | 3823 | 118 |

Таблица 26 - Средние многолетние значения климатических показателей осадков за 1981-2010 гг. и 1990-1999 гг.

- 1 – максимальная непрерывная продолжительность сухого периода для теплого сезона (дни);
 2 – максимальная непрерывная продолжительность периодов с количеством осадков меньше 1 мм и суточной максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С (дни);
 3 – число дней с количеством осадков больше 10 мм для теплого сезона (дни);
 4 – число дней с количеством осадков больше 20 мм для теплого сезона (дни);
 5 – годовой максимум осадков (мм).

| Название станции | Показатели | | | | |
|------------------|------------|-----|------|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1981-2010 гг. | | | | | |
| Гдов | 16,6 | 4,7 | 12,0 | 2,7 | 36,1 |
| Псков | 16,3 | 6,1 | 13,3 | 3,7 | 39,6 |
| Пушкинские Горы | 17,8 | 5,2 | 13,0 | 3,4 | 36,7 |
| Великие Луки | 16,9 | 6,3 | 12,4 | 3,3 | 38,2 |
| Смоленск | 16,4 | 5,7 | 14,5 | 4,2 | 40,9 |
| Брянск | 16,8 | 6,6 | 12,6 | 3,4 | 45,0 |
| Красная Гора | 15,9 | 8,0 | 12,7 | 4,1 | 46,2 |
| Трубчевск | 17,7 | 7,0 | 11,7 | 3,3 | 34,2 |
| 1990-1999 гг. | | | | | |
| Гдов | 16,3 | 4,3 | 11,1 | 2,0 | 36,0 |
| Псков | 17,4 | 6,5 | 13,1 | 3,8 | 40,9 |
| Пушкинские Горы | 18,0 | 5,1 | 13,0 | 3,1 | 38,2 |
| Великие Луки | 17,9 | 6,9 | 10,6 | 2,9 | 33,1 |
| Смоленск | 17,1 | 5,5 | 15,4 | 4,7 | 41,3 |
| Брянск | 15,0 | 6,6 | 12,7 | 3,2 | 43,0 |
| Красная Гора | 19,2 | 8,0 | 12,1 | 4,3 | 44,2 |
| Трубчевск | 16,8 | 7,1 | 13,8 | 3,0 | 33,8 |

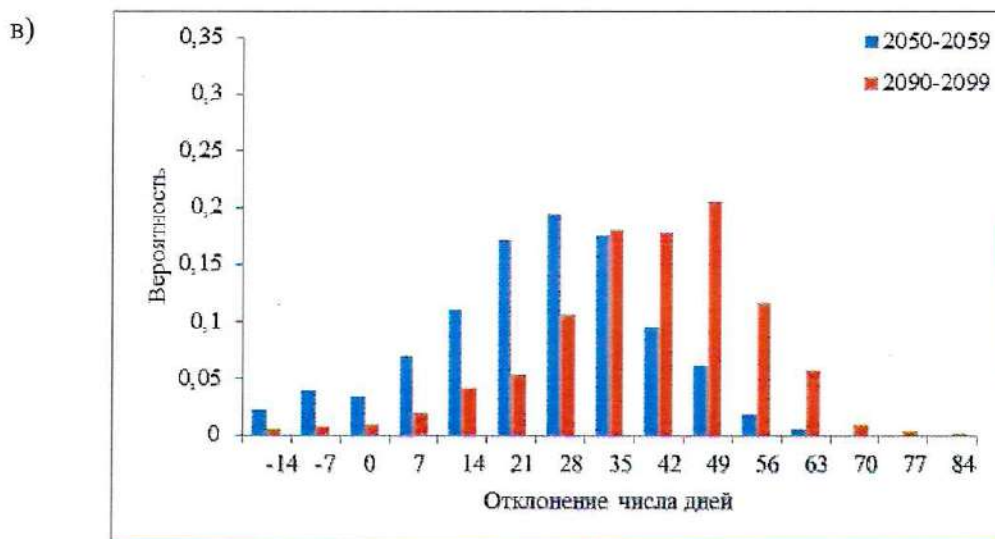
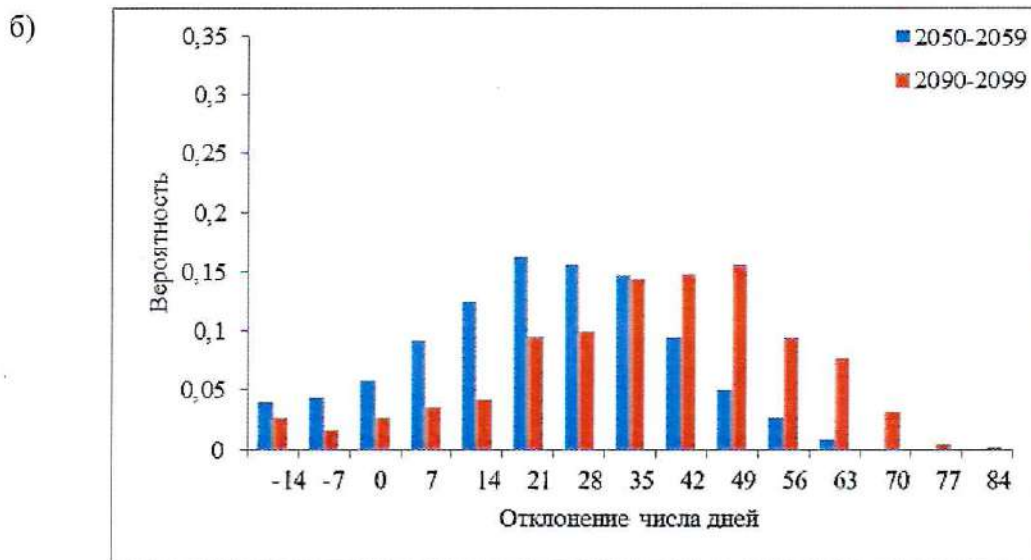
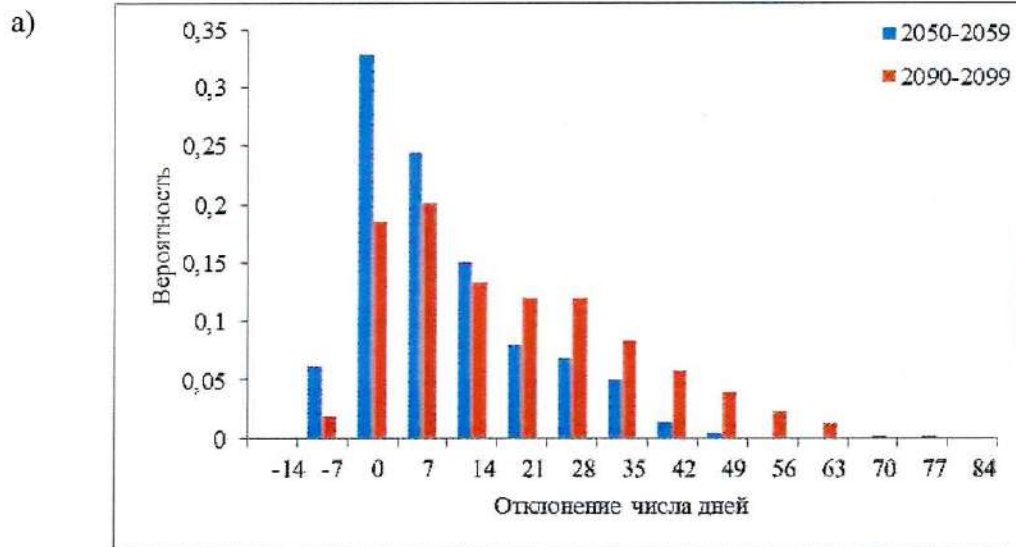
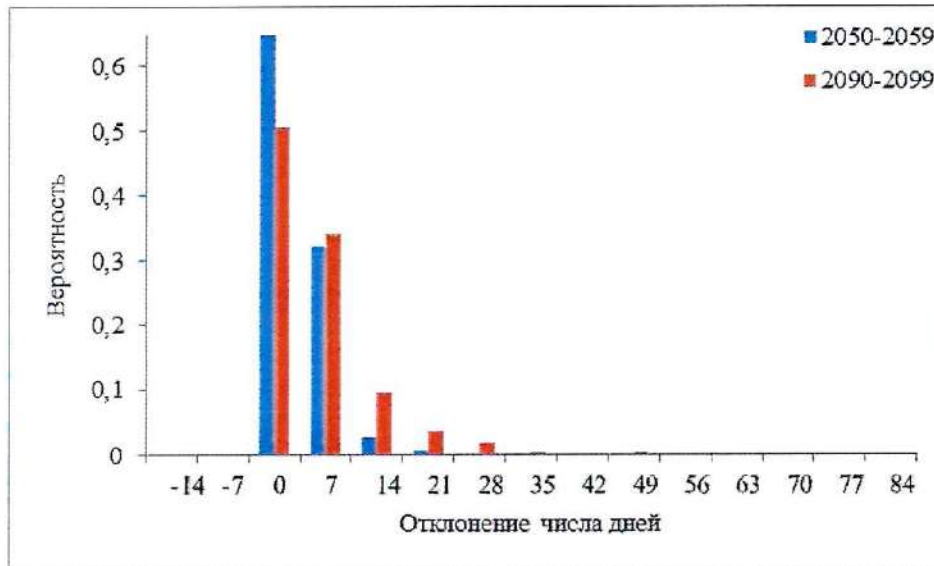
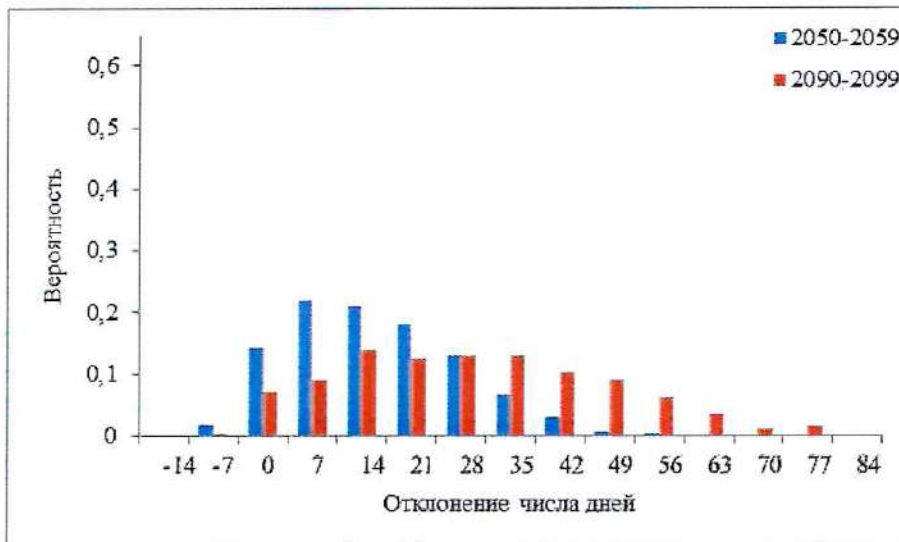


Рисунок 1 – Вероятностные распределения отклонений числа дней с максимальной температурой выше плюс 25 °С (дни) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

а)



б)



в)

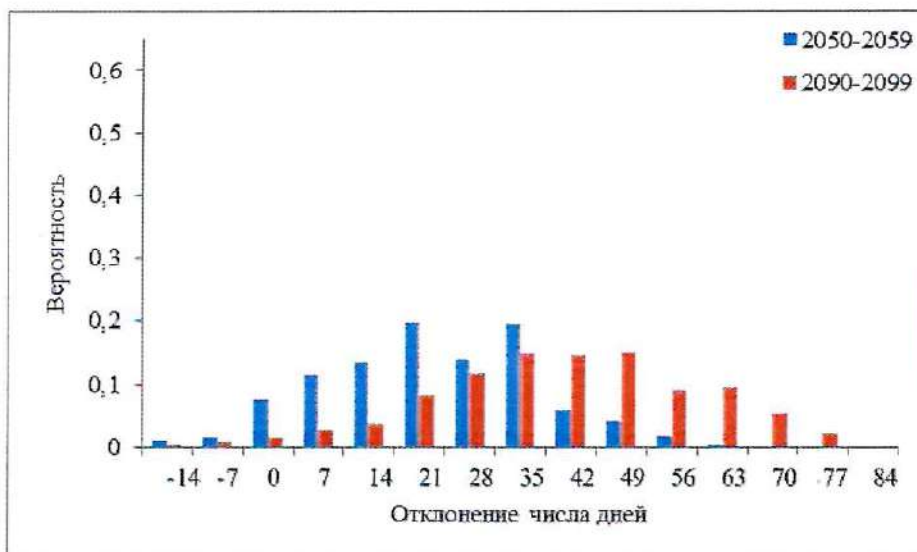


Рисунок 2 – Вероятностные распределения отклонений числа дней с максимальной температурой выше плюс 30 °С (дни) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

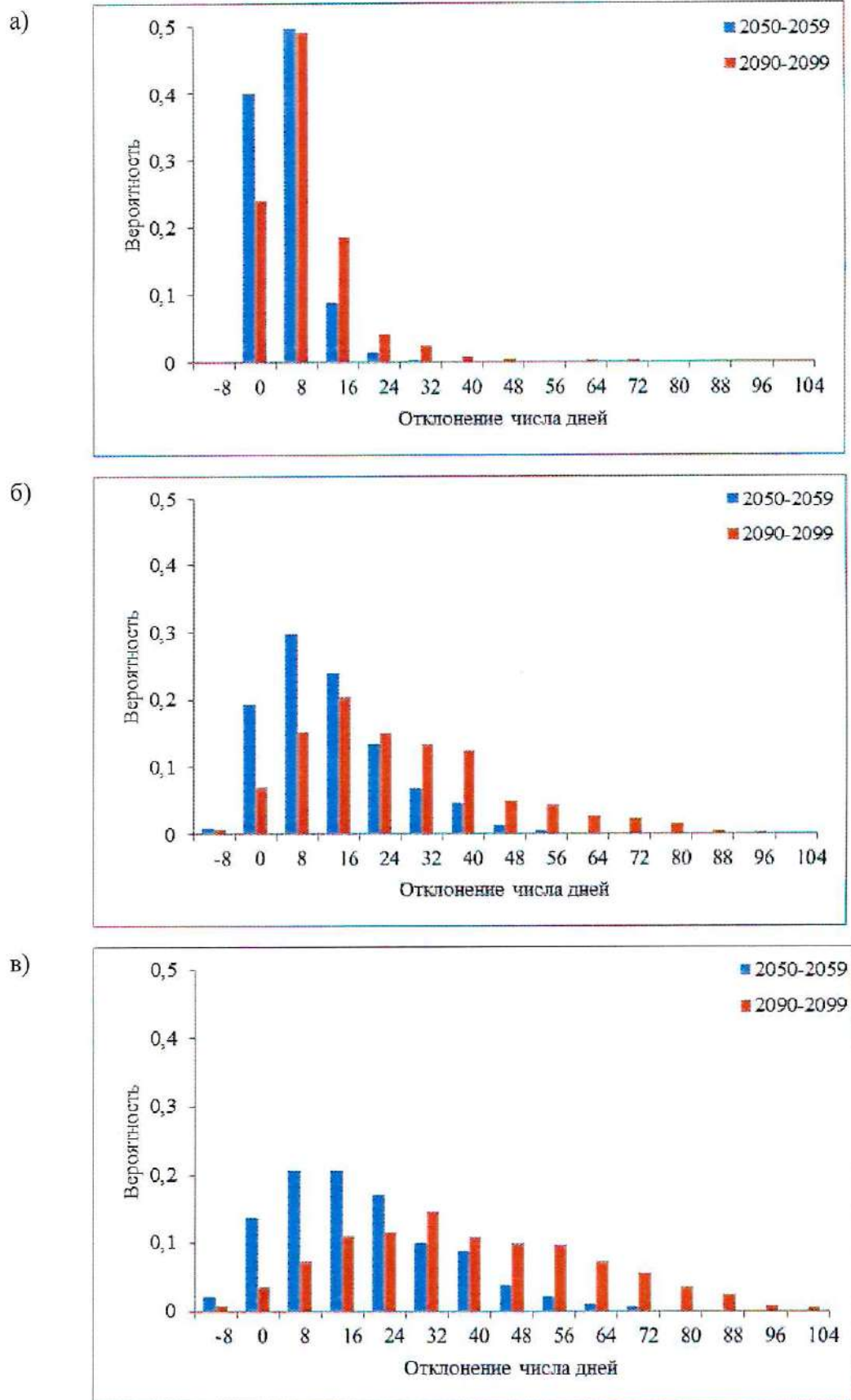


Рисунок 3 – Вероятностные распределения отклонений максимальной непрерывной продолжительности периода с максимальной температурой больше плюс 25 °С (дни) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.:
 а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

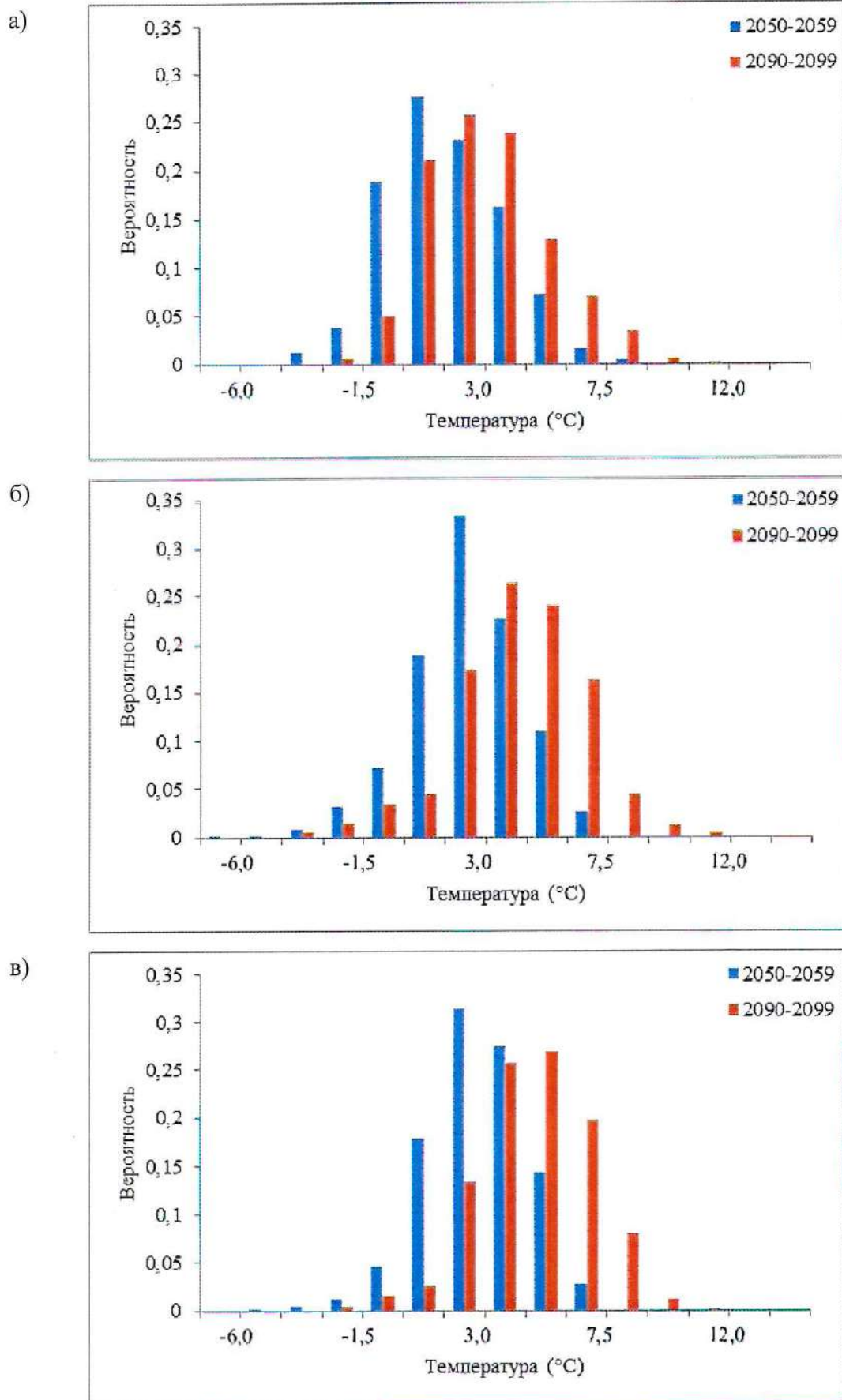


Рисунок 4 – Вероятностные распределения отклонений средней температуры наиболее жаркой 5-дневки (°C) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.:
 а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

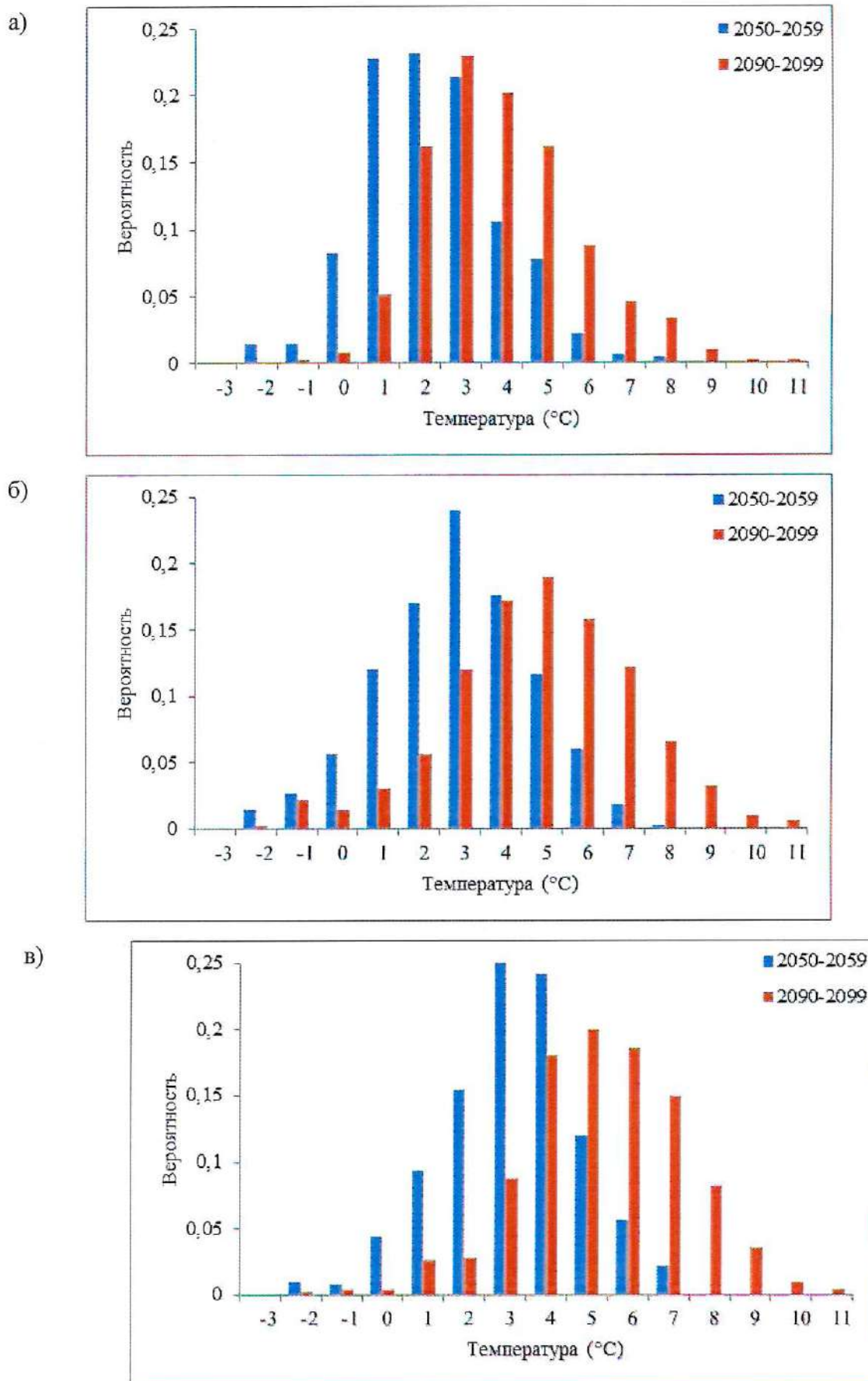


Рисунок 5 – Вероятностные распределения отклонений средней температуры наиболее жаркой 30-дневки (°C) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

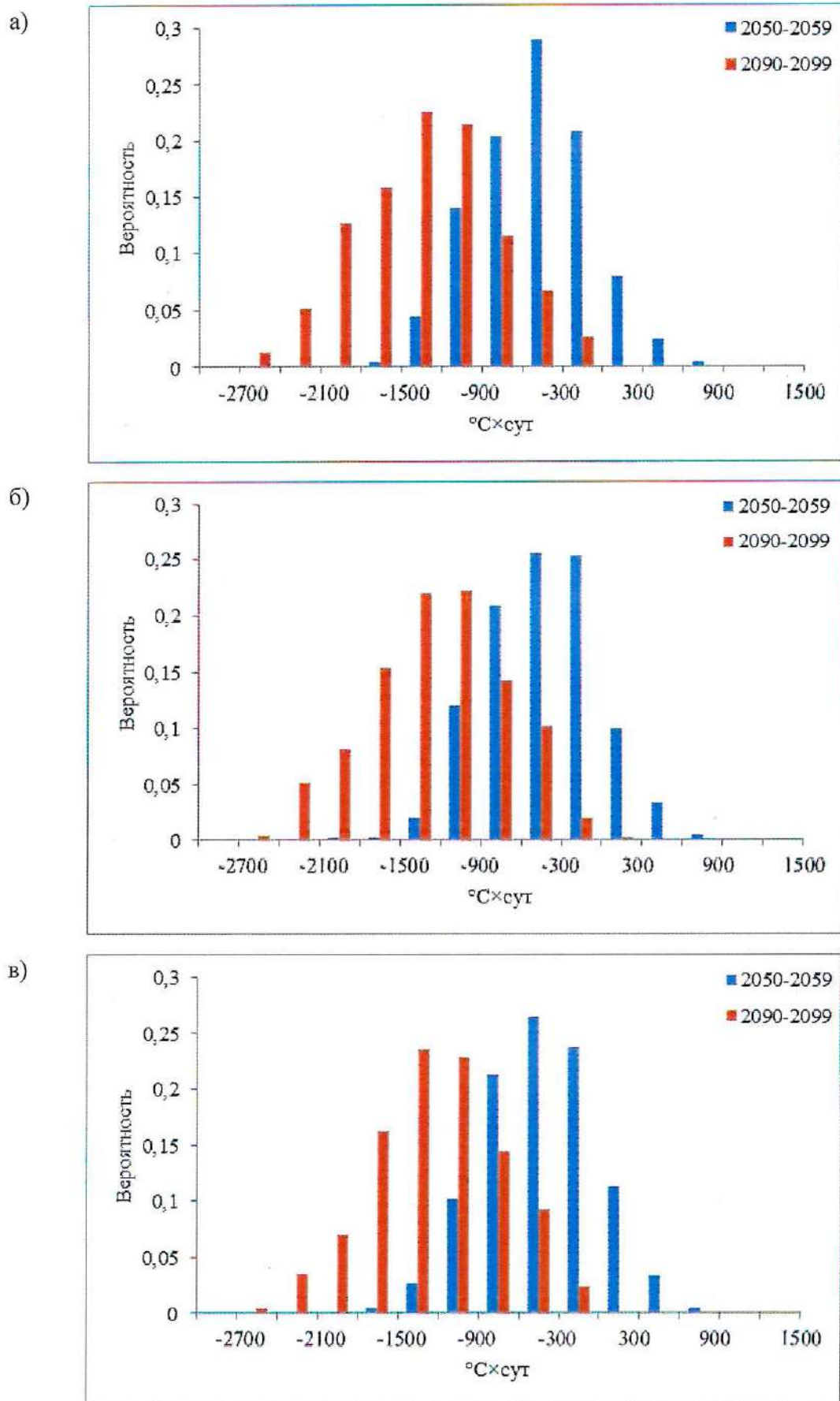


Рисунок 6 – Вероятностные распределения отклонений дефицита тепла ($^{\circ}\text{C}\times\text{сут}$) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.:
 а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

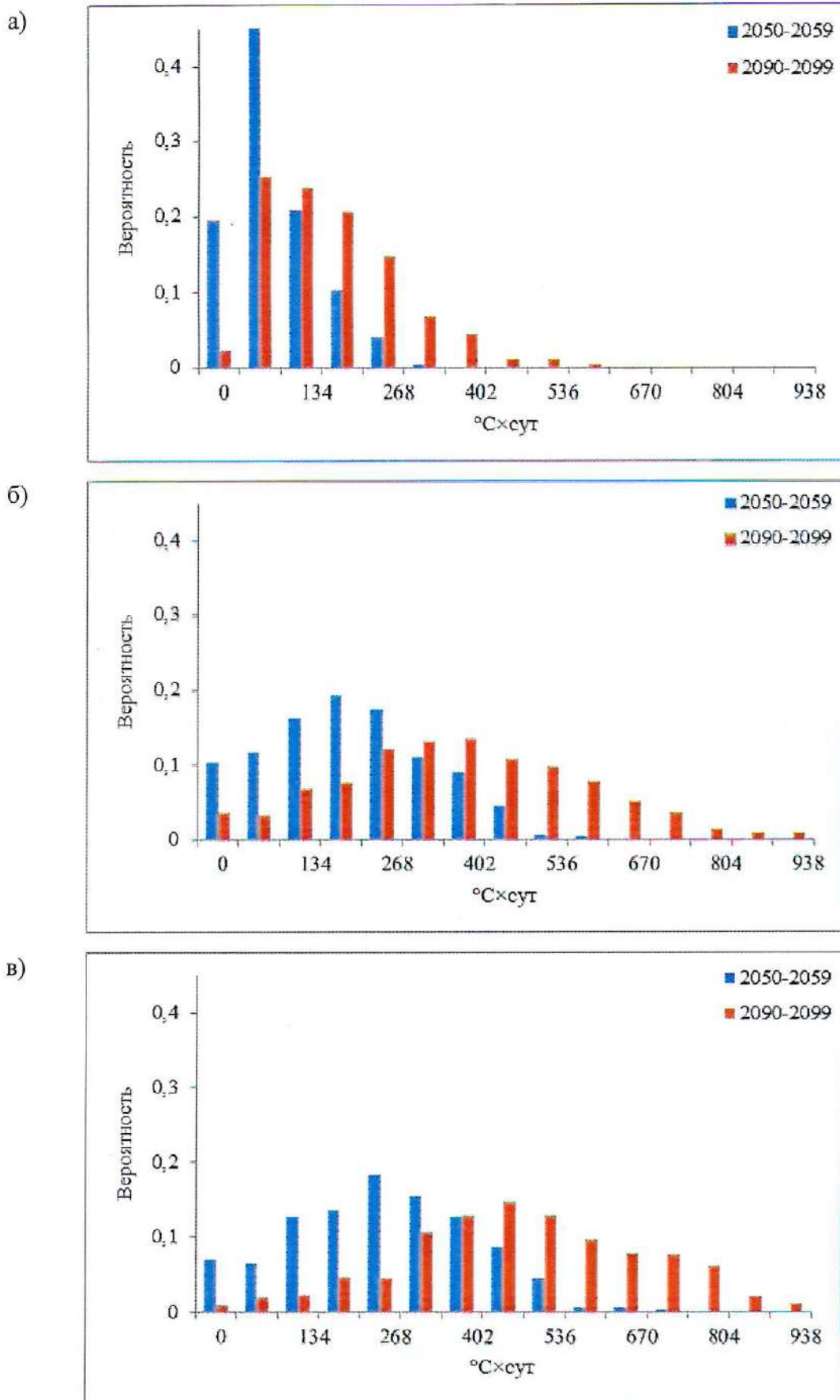


Рисунок 7 – Вероятностные распределения отклонений дефицита холода ($^{\circ}\text{C}\times\text{сут}$) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.:
 а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

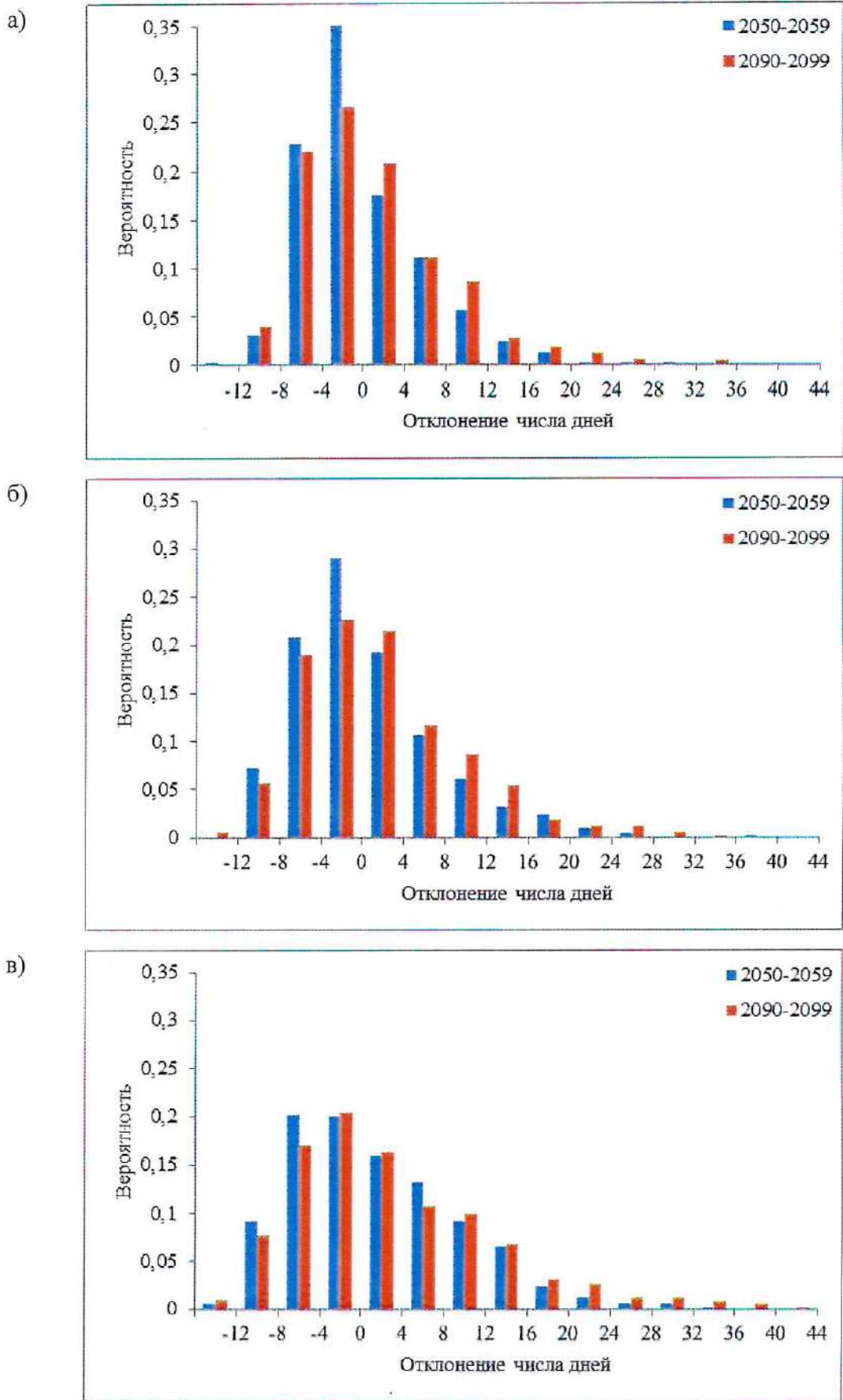


Рисунок 8 – Вероятностные распределения отклонений максимальной непрерывной продолжительности сухих периодов для теплого (май-сентябрь) сезона (дни) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

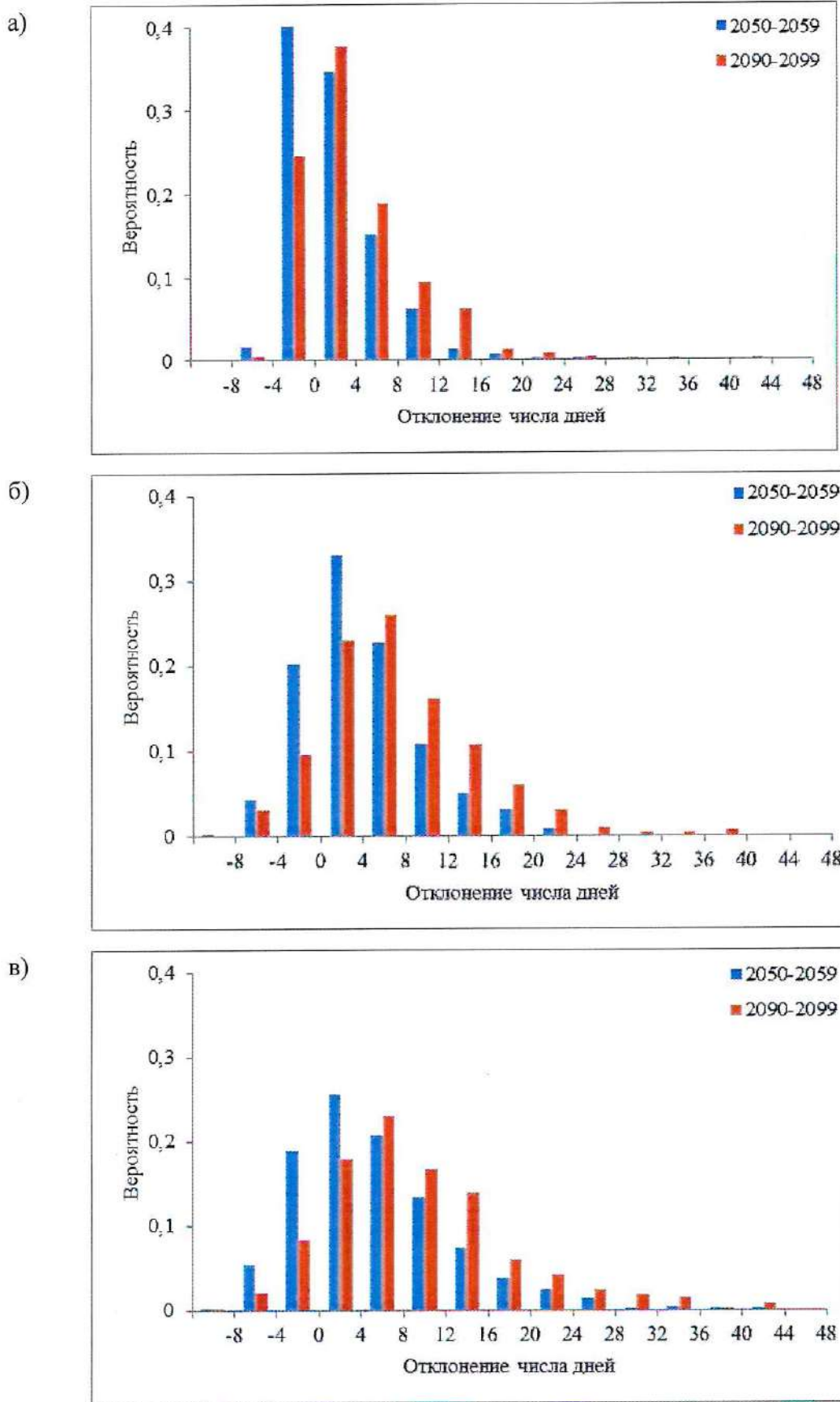


Рисунок 9 – Вероятностные распределения отклонений максимальной непрерывной продолжительности периодов с суточным количеством осадков меньше 1 мм и максимальной температурой выше плюс 25°С (дни) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

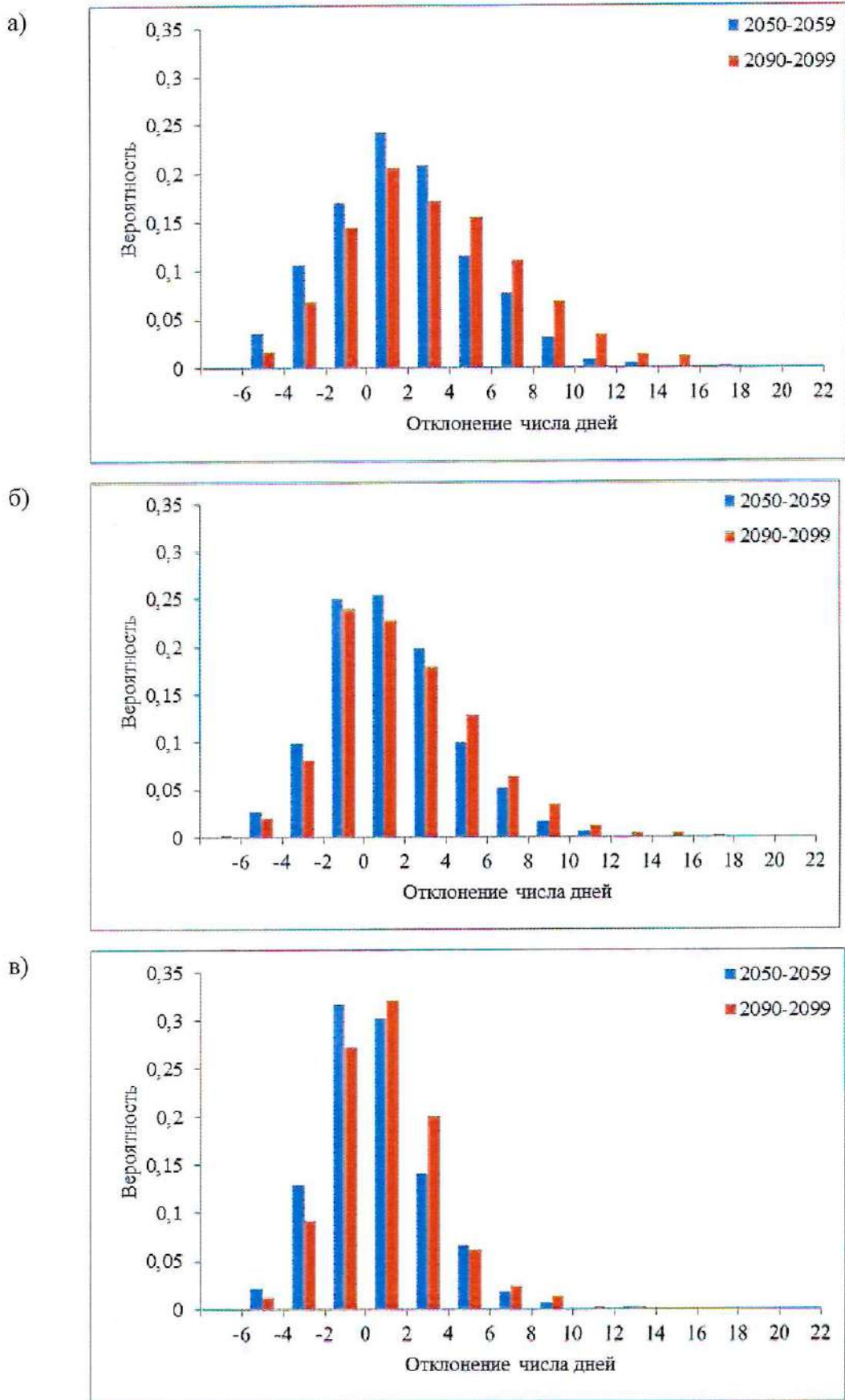


Рисунок 10 – Вероятностные распределения отклонений числа дней с осадками больше 10 мм для теплого (апрель-октябрь) периода (дни) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

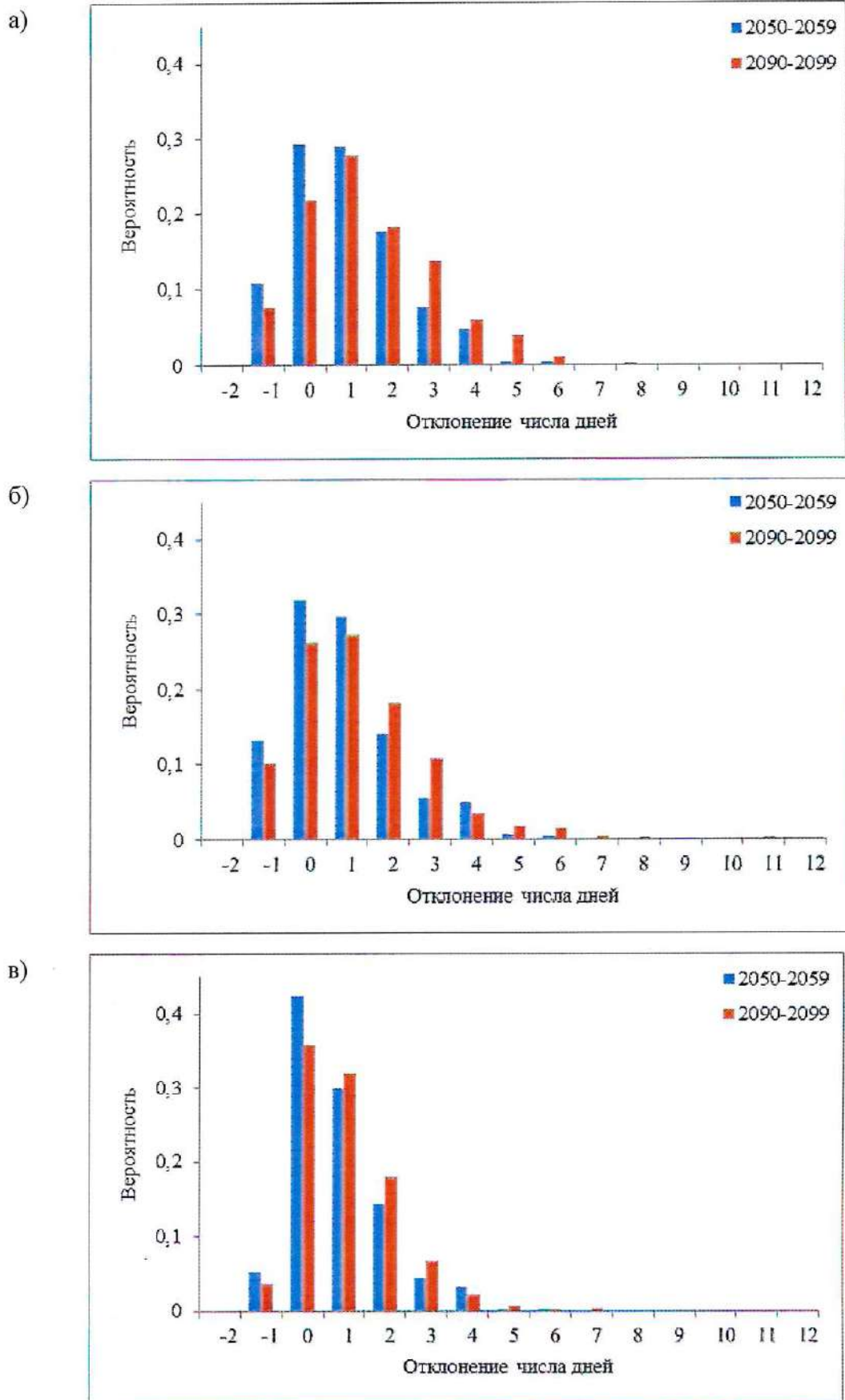


Рисунок 11 – Вероятностные распределения отклонений числа дней с осадками больше 20 мм для теплого периода (апрель-октябрь) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

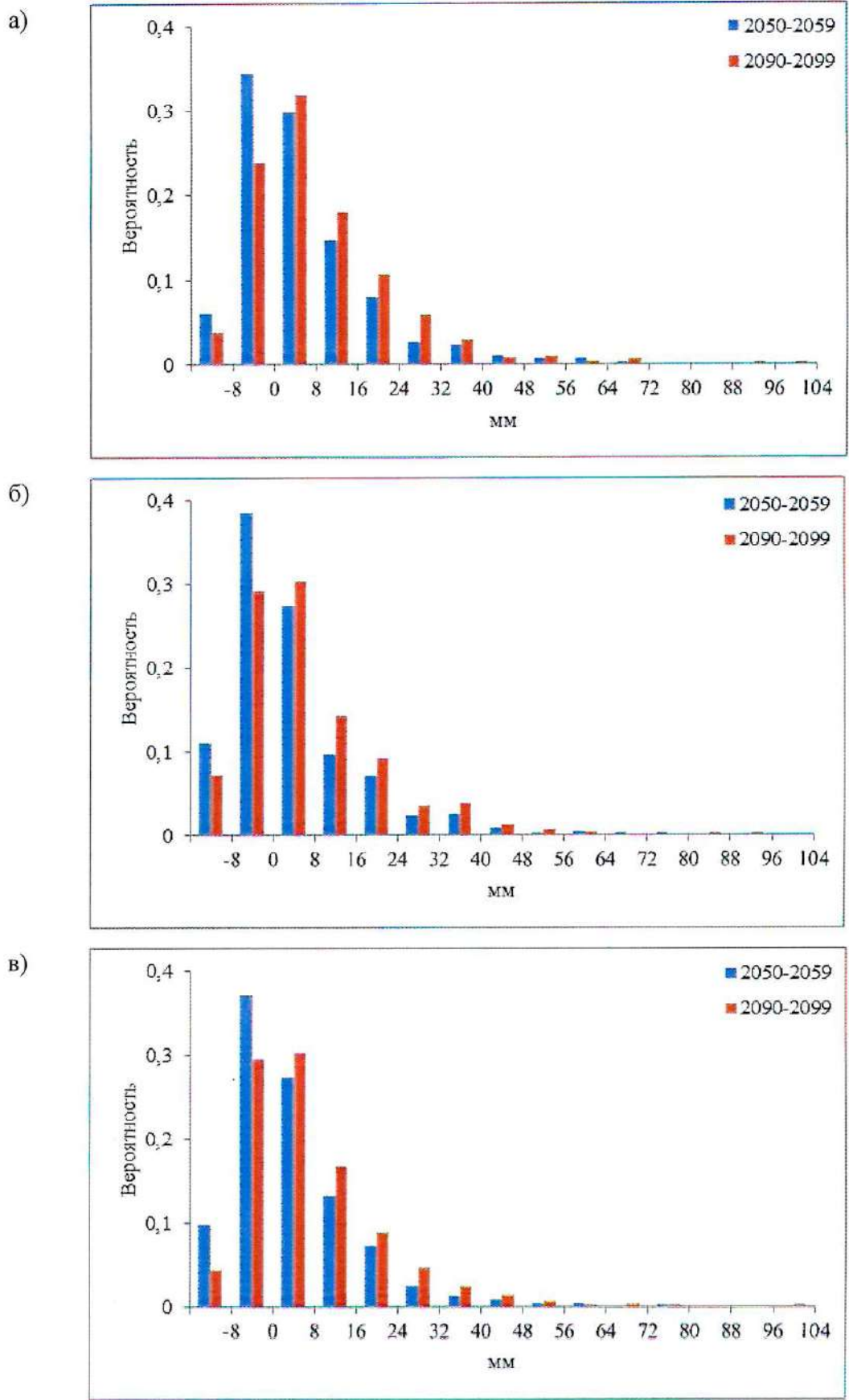


Рисунок 12 – Вероятностные распределения отклонений годового максимума осадков (мм) от средних значений за 1990-1999 гг. в середине и конце XXI в.: а) Псков; б) Смоленск; в) Брянск

В южных районах рассматриваемого региона (Брянская область) рост температуры в летний сезон сопровождается увеличением максимальной продолжительности периодов без осадков, что может привести к уменьшению доступности воды для охлаждения, и отразится на генерируемой мощности. Рост числа дней с экстремально высокими значениями температуры воздуха негативно повлияет также на процесс передачи электроэнергии, приводя к уменьшению исходной передаваемой мощности, а также росту потерь на ЛЭП.

В отличие от процесса генерации энергии, чувствительного к дефициту осадков, угрозу для нормальной передачи энергии представляют сильные дожди, приводящие к замыканиям в цепи. Согласно расчетным оценкам, в предстоящие десятилетия число дней с сильными осадками и годовые максимумы осадков будет увеличиваться на всей рассматриваемой территории.

Уменьшение дефицита тепла, отражающее изменение уровня энергопотребления на обогрев зданий, является хорошо выраженным. Однако при сохранении действующих технологий будет снижаться также эффективность и качество теплоснабжения городов. Как показано в [13], к середине XXI в. доля среднего числа дней с избыточным потреблением тепла («перетопом») на рассматриваемой территории может превысить 30 % от общей продолжительности отопительного периода. Ожидается также заметный рост такого показателя как дефицит холода, который может рассматриваться как индекс климатически обусловленного энергопотребления в летнее время. Согласно сценарию RCP8.5 в Брянске уже к середине XXI в. значение этого индекса, аналогичного показателю градусо-суток отопительного периода, может превысить среднее значение для конца XX в. более чем на $500\text{ }^{\circ}\text{C}\times\text{сут}$.

Вероятностные оценки ожидаемых изменений специализированных климатических показателей можно рассматривать как информационную основу для анализа рисков и разработки адаптационных мероприятий в энергетической отрасли.

1.2 Климатические аспекты функционирования объектов энергетики на европейской территории Российской Федерации, сопредельной с Республикой Беларусь, в условиях меняющегося климата

1.2.1 Структура энергетической отрасли Псковской, Смоленской и Брянской областей

Энергетика Псковской, Смоленской, Брянской областей представлена в основном тепловыми электростанциями и Смоленской АЭС. Основным производителем электроэнергии в Псковской области является работающая на природном газе Псковская ГРЭС мощностью 440 МВт. Высоковольтные ЛЭП связывают Псковскую ГРЭС

с Белоруссией, Латвией и Литвой. В Смоленской области функционирует Смоленская АЭС (3000 МВт), Смоленская ГРЭС (630 МВт) и две ТЭС – Дорогобужская (90 МВт) и Смоленская (275 МВт). Топливом для них служит природный газ и уголь. На территории Брянской области расположена Брянская ГРЭС (38 МВт) и Клинцовская ТЭС (12 МВт).

Важную роль в стабильном снабжении потребителей электроэнергией в рассматриваемых регионах играют филиалы ПАО «Россети», крупнейшего оператора энергетических сетей в России: «Россети Северо-Запад» и «Россети Центр». В настоящее время эти операторы проводят модернизацию электросетевой инфраструктуры с применением цифровых технологий. Предполагается реализация проектов по созданию цифрового района электрических сетей ("Цифровой РЭС") и Единого центра управления сетями (ЕЦУС). "Цифровой РЭС" позволит автоматизировать и повысить надежность управления подстанциями, сократить время перебоев в энергоснабжении при ликвидации аварий и плановых отключениях. ЕЦУС объединит управление основной и распределительной сетью региона.

В условиях наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений учет воздействия климатических условий на объекты производства и передачи энергии становится одним из решающих факторов надежного обеспечения электрической и тепловой энергией всех категорий потребителей.

В энергетической отрасли климатические условия и их изменения влияют на:

- функционирование и технико-экономические показатели всех типов электростанций. Изменение климата вызовет необходимость корректировки эксплуатации электростанций;
- количество потребляемой энергии. Изменение климата может существенно изменить тепло- и энергопотребление в регионе;
- необходимость своевременного учета и прогнозирования энергетической продукции, специфика которой заключается в том, что ее практически невозможно накапливать и сохранять;
- экологические последствия деятельности объектов энергетики.

В данном разделе основное внимание уделяется анализу особенностей функционирования тепловой и атомной энергетики в условиях изменения режима температуры и увлажнения в районах расположения электростанций.

1.2.2 Специализированные климатические характеристики, используемые при проектировании и эксплуатации АЭС и ТЭС

Климатическая информация в тепловой энергетике используется, прежде всего, при выборе места для проектирования и строительства энергетических объектов. Учёт нормативных климатических показателей обеспечивает надёжность и долговечность функционирования узлов и агрегатов станции [13], [14]. При задании проектной мощности ТЭС на базе паросиловых установок обязательным условием является учёт расчётных температур воздуха: температуры наиболее холодных и наиболее жарких суток и пятидневки обеспеченностью 0,98 самой жаркой декады и т.д. [15],[16]. Важной расчётной климатической характеристикой является также непрерывная продолжительность с обеспеченностями 90 %, 95 % и 99 % различных сочетаний температуры с относительной влажностью ($R > 50 \%$, $t > 20^{\circ}\text{C}$; $R > 80 \%$, $t > 20^{\circ}\text{C}$; $R > 80 \%$, $t > 30^{\circ}\text{C}$) [17].

При проектировании градирен (теплообменных аппаратов, применяемых для охлаждения оборотной воды) согласно СНиП 2.04.02-84 [18] учитываются значения среднесуточных температур атмосферного воздуха по сухому и влажному термометрам (или относительной влажности воздуха) по многолетним наблюдениям при обеспеченности от 1% до 10 % за летний период года. Выбор обеспеченности зависит от категории водопотребителя.

Атомные станции относятся к опасным объектам и поэтому при их строительстве следование нормативным документам является строго обязательным. Прежде всего, необходимым элементом обеспечения надёжности и безопасности объектов использования ядерной энергии является учёт экстремальных метеорологических воздействий в соответствии с принятой в нормах МАГАТЭ классификацией “экстремальных метеорологических переменных” и “экстремальных метеорологических явлений” [19].

Одним из самых крупных объектов на АЭС и ТЭС являются системы охлаждения энергоблоков, в значительной степени зависящие от температуры, влажности наружного воздуха, от наличия и температуры охлаждающей воды. Поэтому в нормативных документах по строительству объектов атомной и тепловой энергетике большое внимание уделяется климатическим характеристикам, отражающим температурный режим и режим увлажнения в районах расположения электростанций.

Процессы охлаждения энергоагрегатов на АЭС во многом схожи с процессами на ТЭС. Однако риски, связанные с возникновением аварийных ситуаций и их возможными последствиями, повышают требования к необходимой климатической

информации. При проектировании и эксплуатации АЭС показатели обеспеченности берутся с большим запасом. Так, при выборе площадки размещения станции к неблагоприятным факторам по метеорологическим условиям согласно требованиям действующих нормативных документов относятся: ураганы, тайфуны, смерчи, экстремальные температуры воздуха, гололед, удары молнии, снежные лавины и экстремальные ветровые и снеговые нагрузки обеспеченностью 0,01 % (повторяемостью 1 раз в 10 000 лет) [14].

Основные расчетные характеристики гидрологического режима для водных объектов, обеспечивающих работу атомных станций, включают максимальные наблюдаемые и расчетные расходы воды, уровни дождевых паводков и весеннего половодья (до обеспеченности 0,01 %), минимальные наблюдаемые и расчетные зимние и летне-осенние среднемесячные и среднесуточные расходы и уровни (различной обеспеченности, включая 97 %), средний годовой сток различной обеспеченности, включая 97 %, внутригодовое распределение стока по сезонам и месяцам за характерные годы 50 %, 95 % и 97 % обеспеченности; расчетные максимальные расходы стока обеспеченностью до 0,01 %.

Важность качественной климатической информации для безопасного функционирования АЭС подтверждается актуализированным документом, подготовленным ВМО [21]. В этом документе подробно рассматриваются статистические распределения, используемые для расчета климатических характеристик различной повторяемости. Подчеркивается, что для надежного расчета вероятностей экстремальных значений метеорологических величин необходимо использовать ряды наблюдений не менее 100 лет и при наличии более ранних данных об опасных явлениях, содержащихся в исторических источниках, также принимать их во внимание.

1.2.3 Влияние изменений температурного режима и режима увлажнения на функционирование АЭС и ТЭС

Влияния климатических изменений существенно сказывается на функционировании АЭС и ТЭС. Снабжение ТЭС и АЭС топливом и водой, рассеивание выбросов, эффективность охлаждения энергоблоков в значительной степени определяется климатическими факторами. Например, увеличение сумм осадков может привести к дополнительному намоканию угля на открытых топливных складах, что на 1%–3 % уменьшает тепловую экономичность энергоустановок. На эффективность работы газотурбинных установок оказывают заметное влияние колебания температуры воздуха. Так, рост температуры воздуха на 5 °С уменьшает выработку энергии на 1%–4 % [24], [28]. Большое влияние оказывают изменения повторяемости и интенсивности

опасных погодных явлений (смерчей, ливней, экстремальных температур, скоростей ветра и т.д.), что может нанести ущерб агрегатам электростанций и подвергнуть опасности окружающие населенные пункты [20].

Влияние климата на производство энергии, вырабатываемой на ископаемом топливе, в основном связано с эффективностью цикла генерации и требованиями к системам охлаждения энергоблоков.

Эффективность и надежность термодинамических циклов изменяется в зависимости от условий окружающей среды, таких как температура воздуха и воды, давление, влажность, а также в зависимости от оптимальности выбора системы охлаждения. Рост температуры повышает удельный объем потребления воздуха и энергии в компрессоре, и уменьшает генерацию вырабатываемой энергии. Это вызвано тем, что более высокая температура воздуха снижает эффективность сжигания топлива из-за недостаточной концентрации кислорода. Зависимость располагаемой мощности ТЭС от температуры наружного воздуха рассчитана В.А.Калатузовым [22] (рисунок 13).

Кроме температуры окружающей среды, влияющей на эффективность турбин, котлов и генераторных установок, важной проблемой является достаточное количество и качество воды, используемой в большинстве систем охлаждения агрегатов электростанций, что делает их крайне уязвимыми в условиях ограниченности водных ресурсов.

Высокие значения температуры воды создают ограничения для систем охлаждения на АЭС и ТЭС, и могут стать причиной возникновения рисков для их нормальной работы. При повышении температуры воды на 5 °С эффективность работы АЭС в среднем падает на 1 % [23].

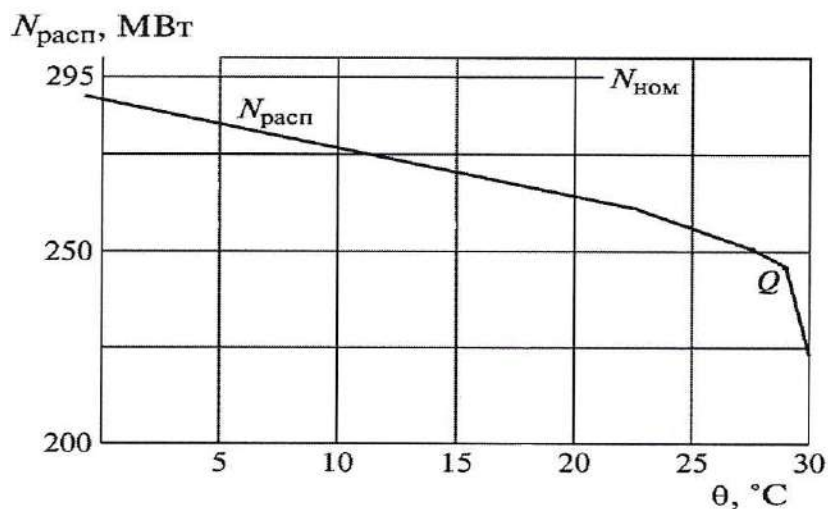


Рисунок 13 – Зависимость располагаемой мощности ТЭС ($N_{расп}$, МВт) от температуры воздуха, θ °С [22]

С изменением климата генерация электроэнергии на основе угля будет все в большей степени связана с необходимостью улавливания и хранения двуокси углерода, что увеличит спрос на воду для его очистки и сжатия. При этом количество воды, потребляемой на 1 кВт электричества, возрастет почти на 80 % [24]. В результате для электростанции мощностью 550 МВт потребуется дополнительно 125 МВт мощности для улавливания и хранения углекислого газа. Кроме того, повышение температуры воздуха может также повысить температуру воды и отрицательно повлиять на эффективность охлаждения установки, что, в свою очередь, также ведет к увеличению спроса на водные ресурсы.

Изменения в доступности воды могут иметь последствия для строительства новых и эксплуатации уже существующих энергоустановок, которые будут все в большей степени конкурировать с другими водопользователями (сельское хозяйство, ЖКХ, предприятия обрабатывающей промышленности и т.д.). Поэтому местоположение новых электростанций должно быть тщательно проанализировано при принятии решений об их строительстве.

Примером воздействия изменений температурного режима на производство электроэнергии на ТЭС и АЭС может служить ситуация, сложившаяся летом 2010г. на европейской территории России. В условиях аномальной жары, когда высокие температуры наружного воздуха держались не только в дневные, но и в ночные часы, повышалась температура циркуляционной воды на входе в конденсаторы турбин от 35 °С до 38 °С, а по некоторым ТЭЦ до 40 °С. В результате снижалась максимальная мощность генерирующего оборудования. Кроме того, повышение температуры охлаждающей воды привело к тяжелым условиям работы систем газо- и маслоохлаждения турбин. Из-за жары и засухи в этот период гидростанции Волжско-Камского каскада, вырабатывающие значительную долю электричества в европейской части России, работали с минимальной нагрузкой, что еще больше увеличило нагрузку на атомные и тепловые электростанции. В результате на некоторых АЭС ЕТР произошли аварийные остановки энергоблоков. Анализ метеорологических параметров в период аварийных остановок энергоблоков показал, что в районах расположения АЭС сложились экстремальные погодные условия. Так, температура наиболее жаркой пятидневки, являющейся важным показателем температурного режима для систем охлаждения, превысила эту характеристику относительно периода 1961–1990 гг. на 5–10 °С. Надо отметить, что к аварийным ситуациям привели не только аномальные погодные условия, но и человеческий фактор, т.к. персонал АЭС не был готов к оперативным действиям в экстремальных условиях.

Как указывалось выше, одним из важнейших факторов, влияющих на производство энергии на АЭС и ТЭС является термический режим, который влияет на условия охлаждения энергоблоков.

Рассмотрим климатические факторы, отражающие критические состояния окружающей среды, при которых могут возникнуть занормативные состояния систем охлаждения агрегатов электростанций. К ним относятся:

– максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года (Consecutive dry days – CDD);

– продолжительность самой длинной волны тепла в году (волна тепла – не менее 3-х последовательных суток с минимальной и максимальной температурой воздуха выше 90 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки) (Heat wave duration – HWD);

– число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки (5TX5TN).

Для оценок наблюдаемых изменений перечисленных специализированных климатических параметров на европейской территории Российской Федерации, сопредельной с Республикой Беларусь, использовался находящийся в открытом доступе массив суточных данных ВНИИГМИ–МЦД по температуре воздуха и осадкам с 1936 по 2018 гг. В качестве базового был принят период 1971–2000 гг.. После проверки исходных данных на однородность [25] были отобраны массивы данных на метеостанциях Псков, Смоленск и Брянск. На рисунках 14 - 22 представлены изменения перечисленных выше параметров для этих трех метеостанций. Красной штриховой линией на всех рисунках обозначена линия локально взвешенной полиномиальной регрессии.

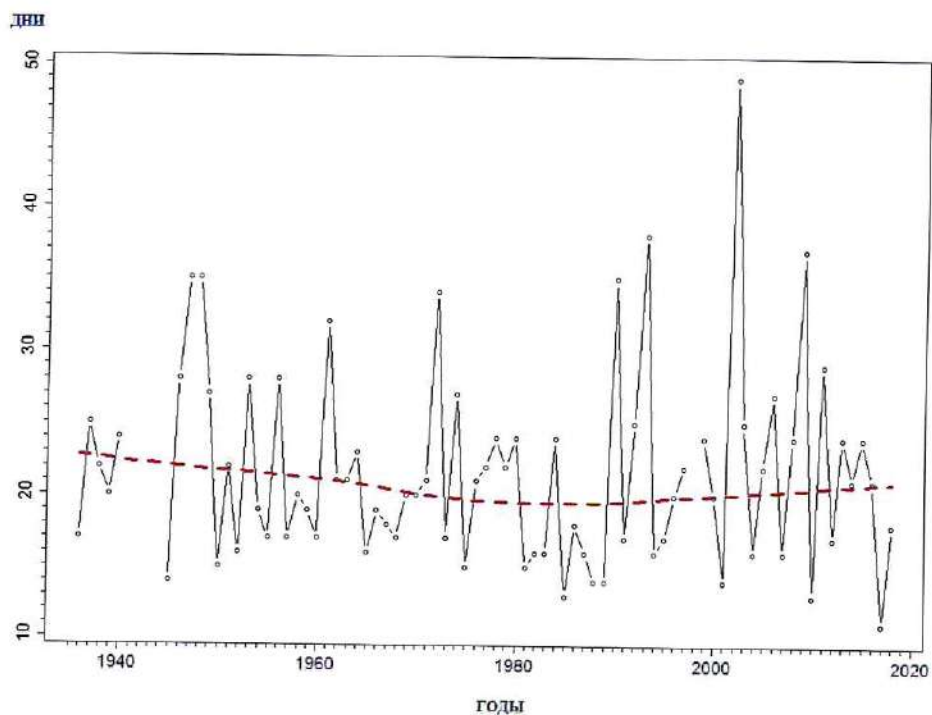


Рисунок 14 – Максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года. Псков.

Коэффициент линейного тренда = - 0,006;
ошибка тренда = 0,033; р - значение = 0,859

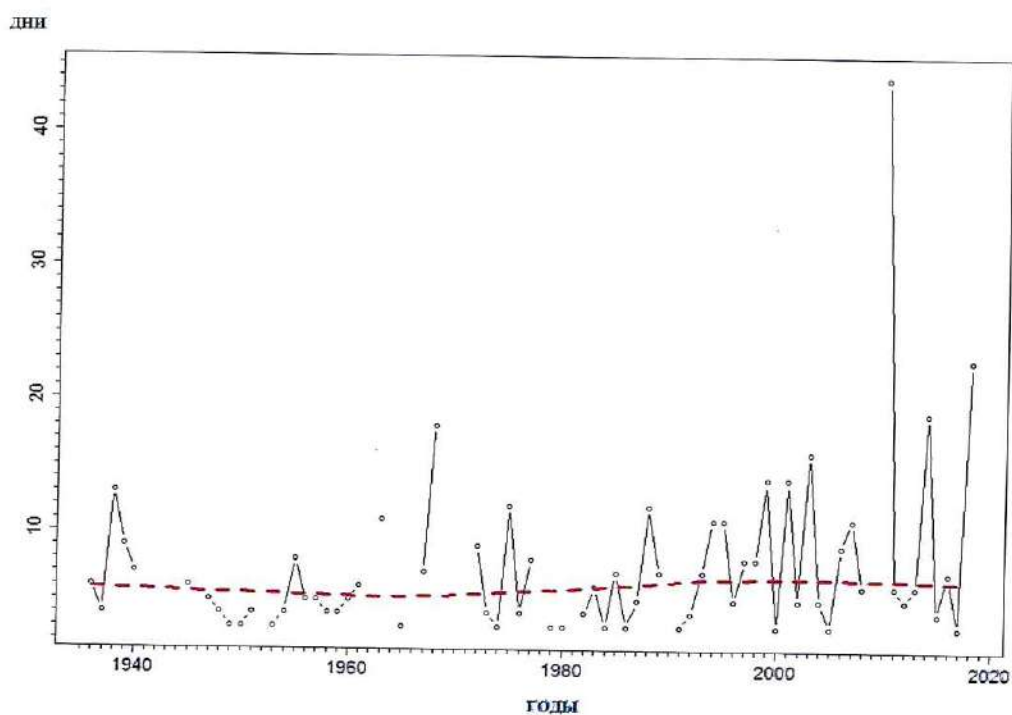


Рисунок 15 – Продолжительность самой длинной волны тепла в году, дни. Псков
Коэффициент линейного тренда = 0,072; ошибка тренда = 0,03; р - значение = 0,022

ЧИСЛО ПЕРИОДОВ

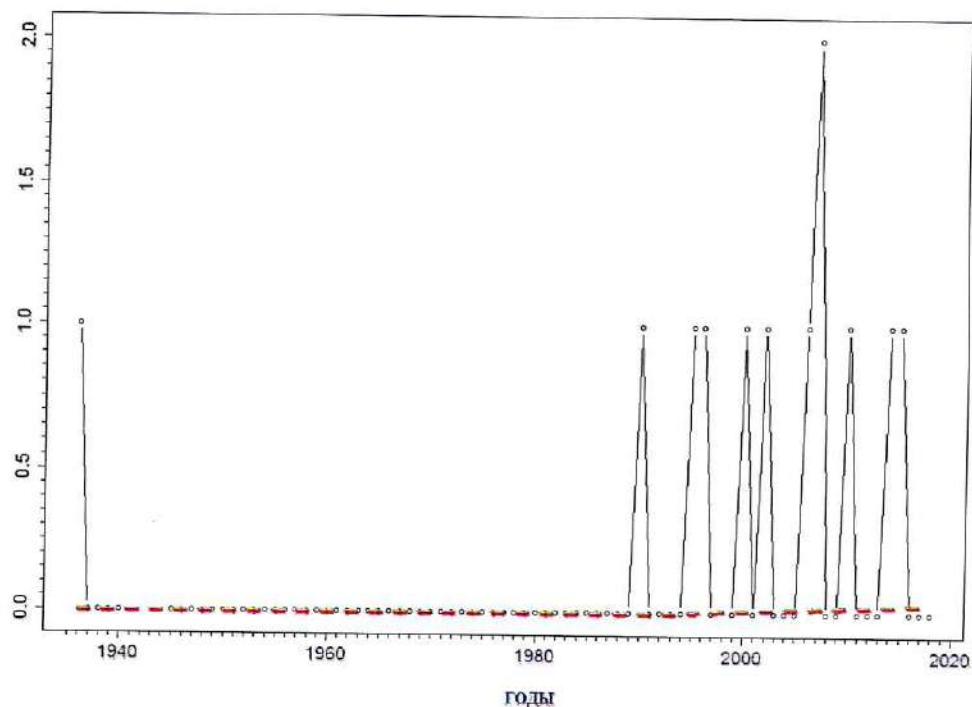


Рисунок 16 – Число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки. Псков.

Коэффициент линейного тренда = 0,006;
ошибка тренда = 0,002; р - значение = 0,003

ДНИ

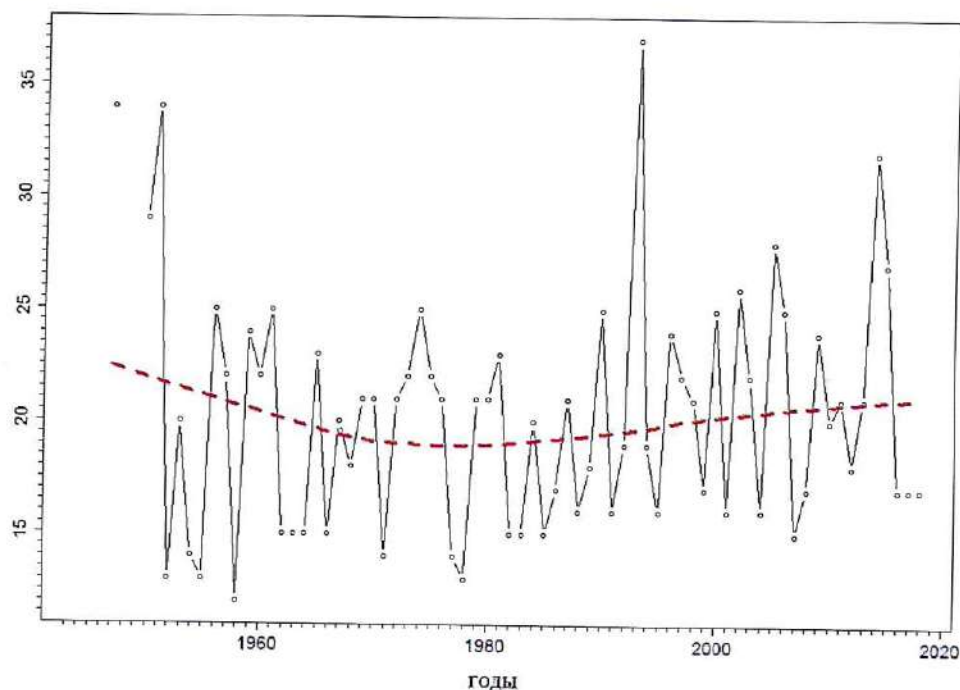


Рисунок 17 – Максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года. Смоленск.

Коэффициент линейного тренда = 0,005;
ошибка тренда = 0,032; р - значение = 0,882

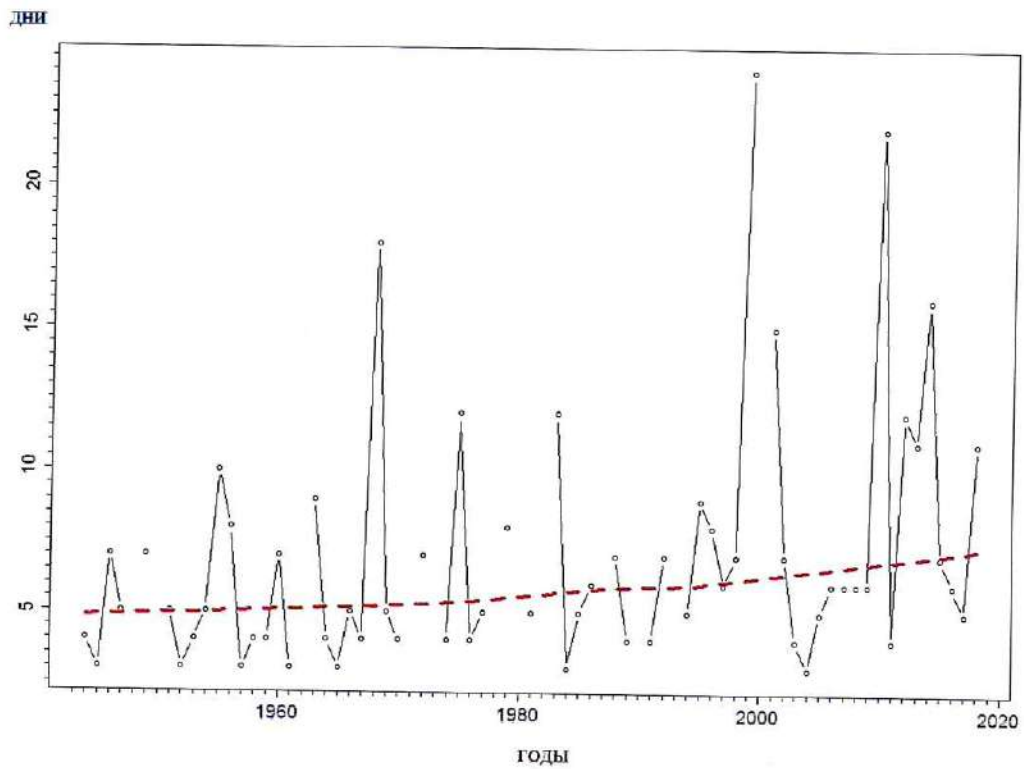


Рисунок 18 – Продолжительность самой длинной волны тепла в году, дни. Смоленск.
 Коэффициент линейного тренда = 0,062;
 ошибка тренда = 0,023; р - значение = 0,01

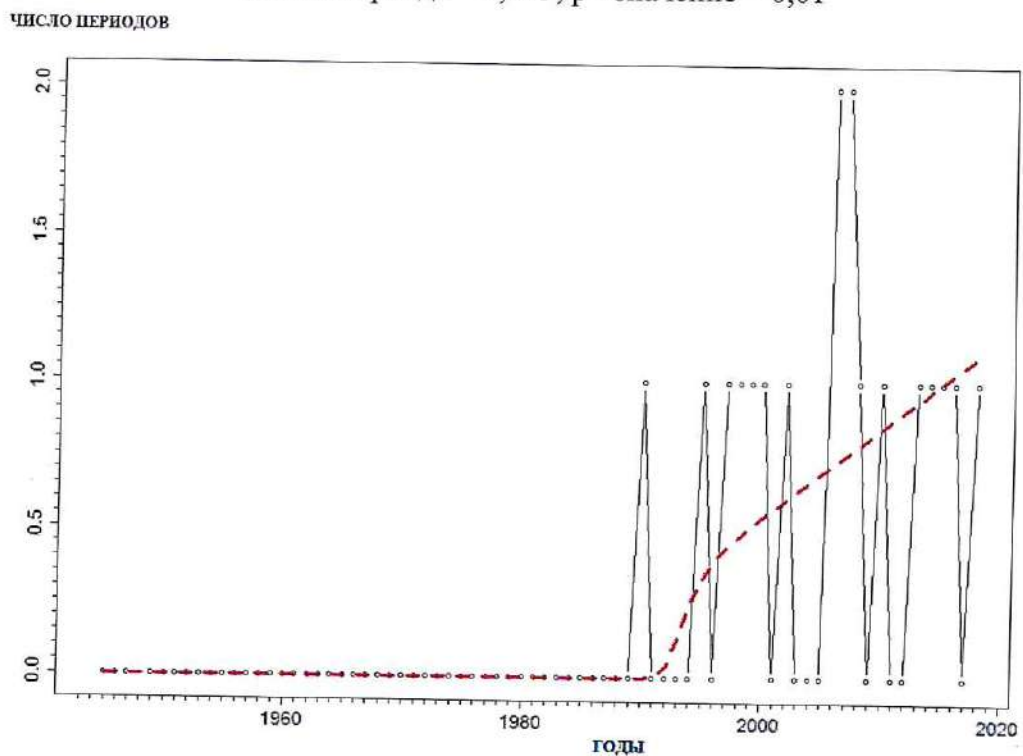


Рисунок 19 – Число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки. Смоленск.
 Коэффициент линейного тренда = 0,013;
 ошибка тренда = 0,002; р - значение = 0

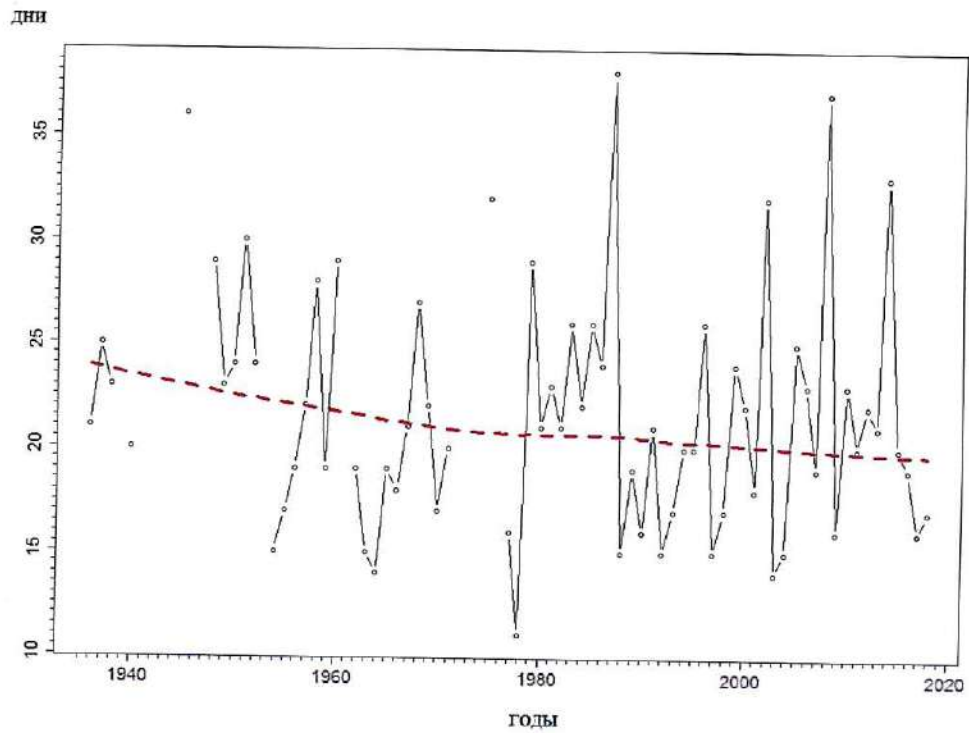


Рисунок 20 – Максимальное годовое число последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года. Брянск.
 Коэффициент линейного тренда = - 0,029;
 ошибка тренда = 0,03; р - значение = 0,333

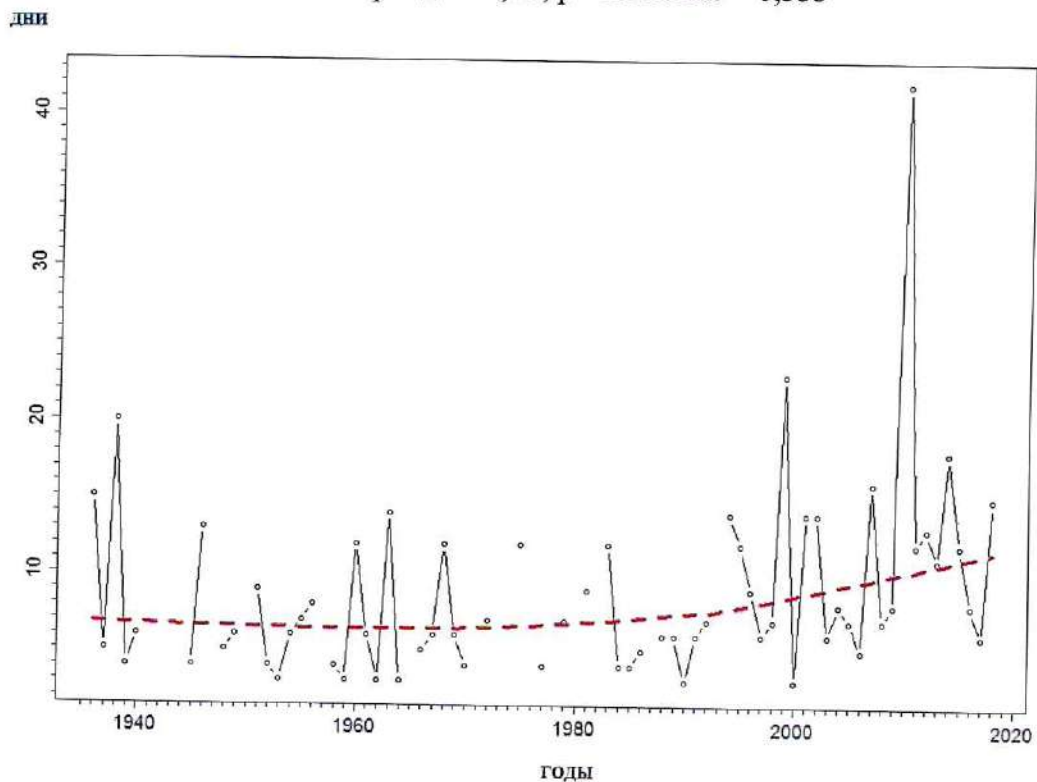


Рисунок 21 – Продолжительность самой длинной волны тепла в году, дни. Брянск.
 Коэффициент линейного тренда = 0,07;
 ошибка тренда = 0,03; р - значение = 0,021

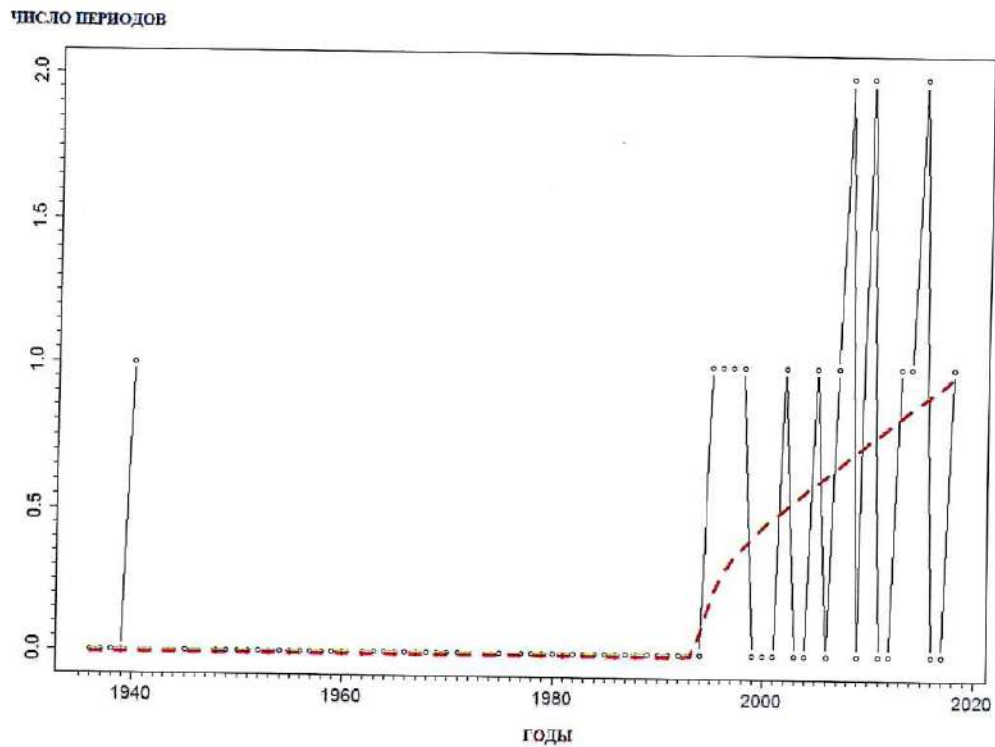


Рисунок 22 – Число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки. Брянск.

Коэффициент линейного тренда = 0,01;
ошибка тренда = 0,002; р - значение = 0

При сравнении представленных графиков были выявлены следующие основные закономерности:

- изменение максимального годового числа последовательных сухих (с осадками менее 1 мм) дней в течение теплого периода года на всех трех метеостанциях не является значимым. Ошибка тренда превышает коэффициент тренда и показатель значимости тренда; (р-значение) колеблется в пределах от 0,333 до 0,859 при допустимом значении 0,05;

- увеличение продолжительности самой длинной волны тепла в году является значимым на всех рассматриваемых метеостанциях, т.к. величина р-значения находится в пределах от 0,01 (Смоленск) до 0,022 (Псков). Значения коэффициентов линейного тренда на трех станциях довольно близки – от 0,072 (Псков) до 0,062 (Смоленск);

- число периодов, когда последовательно отмечались сутки (не менее 5) с максимальной и минимальной температурой воздуха выше 95 % обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки, значимо возрастает на всех трех станциях. Наиболее существенный рост этой характеристики отмечается в Смоленске

и Брянске при минимальном р-значении, равном 0. Надо отметить, что до 1990 года такие периоды в Смоленске вообще не наблюдались.

Таким образом, из трех рассматриваемых областей наибольшие риски для систем охлаждения АЭС и ТЭС характерны для Брянской и Смоленской областей. Учитывая, что к середине XXI века увеличение непрерывной продолжительности, интенсивности и повторяемости волн тепла прогнозируется на территории всех трех областей (раздел 1.1), можно утверждать, что указанный тип рисков для производства электрической и тепловой энергии будет возрастать. Надо также отметить, что в этих районах риски бесперебойной работы систем охлаждения энергоблоков электростанций, связанные с высокими температурами воздуха и охлаждающей воды, становятся еще более значимыми из-за увеличения потребления энергии на кондиционирование в летний период. Следовательно, возникает настоятельная необходимость в разработке адаптационных мер, способствующих безаварийной и эффективной работе АЭС и ТЭС.

1.2.4 Опасные явления на территории Брянской, Смоленской и Псковской областей

Отличительной особенностью современного климата является тот факт, что при сравнительно небольших по величине изменениях средних значений наблюдаются значительные изменения статистики экстремумов. Энергетика является наиболее уязвимой сферой экономики. С точки зрения влияния изменчивости климата на энергетику и население рассматриваемой территории, наиболее опасны два типа экстремальных явлений: кратковременные аномалии, превосходящие определенные пороговые значения (сильная жара/холод, сильный ветер, смерч, сильный снегопад, гололед, гроза и т.д.), и длительные периоды, в течение которых метеорологическая переменная или комплекс переменных выходит за заданный уровень: волны тепла и холода, природные пожары.

На территории рассматриваемых областей ежегодно отмечаются опасные и особо опасные гидрометеорологические явления (ОЯ и ООЯ). Максимальное число опасных явлений за период с 1991 по 2018 гг. было зарегистрировано в 1991 году. Наиболее часто опасные явления наблюдаются в Брянской области (рисунок 23). Более 70 % ОЯ приходится на теплый период (апрель–октябрь) года.

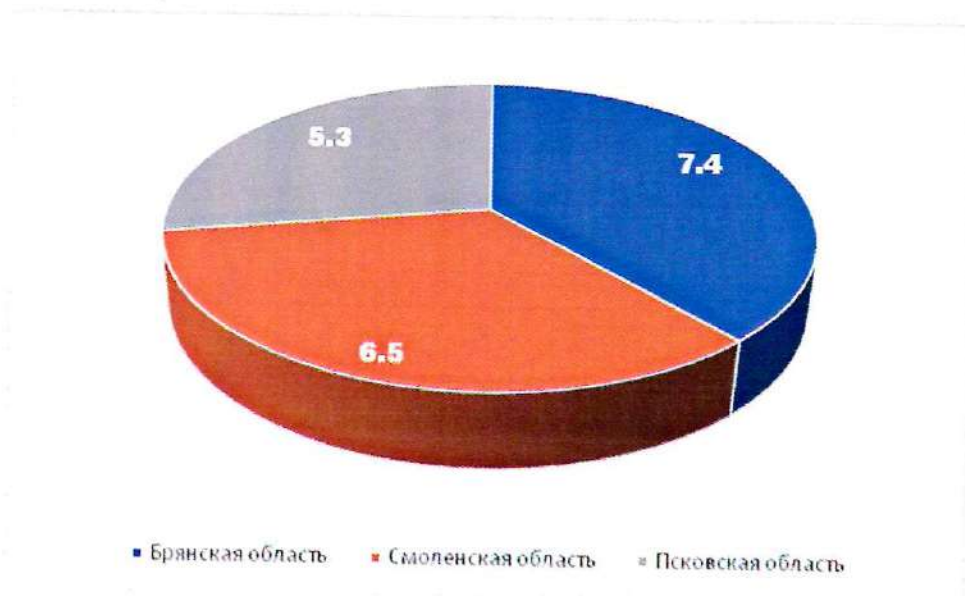


Рисунок 23 – Среднее число случаев с ООЯ за год, нанесшими экономический ущерб

Для всех рассматриваемых областей наибольшую опасность для энергетики представляют сильные ветры (рисунок 24). Около 30 % повторяемости чрезвычайных ситуаций связано с этим ОЯ. Они наносят самый большой ущерб, так как развиваются очень быстро и неожиданно, их практически невозможно прогнозировать и, соответственно, к ним трудно заранее подготовиться. Инфраструктура электросетевого хозяйства страдает от ветра более всего: обрыв проводов, поломка опор, к числу самых распространённых и дорогостоящих аварий относится падение опор, обрыв и свалывание проводов, отключение электроэнергии, что составляет 50 % от последствий в других секторах – ЖКХ, транспортном и аграрном.





Рисунок 24 – Повторяемость различных видов особо опасных явлений на территории а) Смоленской; б) Брянской; в) Псковской областей

По данным Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС) наиболее разрушительными для России являются наводнения, лесные пожары и аномальная жара. На приграничных с Беларусью областях во все сезоны происходит увеличение числа дней с аномально высокими температурами воздуха. Температурный режим летнего сезона

характеризуется повышенной повторяемостью волн тепла и наибольшими значениями их суммарной продолжительности и интенсивности. С 90-х годов XX века началось интенсивное увеличение числа дней с аномально высокими температурами. Так, в 2001–2010 гг. существенно возросло среднее число жарких дней по сравнению с предыдущим десятилетием (1991–2000 гг.). Максимальная продолжительность волн тепла значительно увеличилась (на 10-20 дней) на Европейской территории России южнее 60° с.ш., куда входят и рассматриваемые области, сопредельные с республикой Беларусь. Основной вклад в эти изменения внесла длительная жара 2010 года.

Для энергетики эта ситуация сказывается, прежде всего, на сокращении производства энергии на электростанциях, и процессе ее передачи вплоть до полного прекращения подачи из-за перегрева линий электропередач.

1.2.5. Влияние метеорологических факторов на линии электропередач

Линии электропередач (ЛЭП) являются частью электрической сети, и предназначены для передачи электроэнергии на большие расстояния. Различают воздушные и кабельные линии электропередач. Наиболее распространены воздушные линии (ВЛ), прокладка которых происходит на открытом воздухе с помощью высоковольтных проводов, так как по сравнению с кабельными линиями они экономически более выгодны. Электрические сети Псковской, Брянской и Смоленской областей имеют связь с энергосистемой Беларуси.

Электроэнергетический комплекс Псковской области обслуживается Псковской региональной энергетической системой, входящей в Объединенную энергосистему Северо-Запада. Общая протяженность ЛЭП напряжением 110 кВ и выше на территории Псковской области на конец 2018 года составляла 3021,71 км. По данным на 2018 год наблюдалось увеличение потребления электрической энергии в Псковской области. Это в значительной степени связано с климатическими факторами – более низкие температуры в зимний период и увеличение пасмурных дней.

Смоленская энергосистема является избыточной по производству и поэтому имеет возможность поставлять электроэнергию на оптовый рынок. Основная передача электрической энергии осуществляется в Брянскую, Калужскую, Рязанскую, Тверскую энергосистемы, а также в энергосистему Республики Беларусь. С 2012 года отмечается увеличение потребления электроэнергии. По данным на 2017 год общая протяжённость ЛЭП напряжением 110 кВ и выше составляет 3 262,6 км.

Энергосистема Брянской области входит в объединенную энергосистему Центра (ОЭС Центра). Брянская область относится к числу энергодефицитных регионов. С 2011 года наблюдается незначительное увеличение потребления электроэнергии. По данным

на 2017 год общая протяжённость ЛЭП напряжением 110 кВ и выше в Брянской области составляет 3 759,6 км.

Строительство и проектирование ЛЭП определяются правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [31], а также различными строительными правилами (СП). При проектировании воздушных линий электропередач (ВЛ) особенно важно учитывать климатические нагрузки и воздействия (гололедная и ветровая нагрузки, грозовая активность). Точное определение расчетных климатических параметров влияет на стоимость строительства и безопасность эксплуатации ВЛ.

Воздушные линии электропередач чаще других элементов энергосистемы подвергаются влиянию гроз. Для расчета грозозащитных мероприятий необходимо знать параметры, которые характеризуют грозовую деятельность.

В таблице 27 приведены среднее число дней в году с грозой и средняя годовая продолжительность гроз. Эти параметры определяют интенсивность грозовой деятельности.

Таблица 27 – Климатические характеристики гроз

| Название метеостанции | Высота, м | Республика, область | Среднее число дней в году | Средняя годовая продолжительность, ч |
|-----------------------|-----------|---------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Псков | 43 | Псковская обл. | 19,71 | 54,63 |
| Великие Луки | 97 | Псковская обл. | 18,1 | 41,53 |
| Смоленск | 236 | Смоленская обл. | 22,35 | 50,27 |
| Рославль | 219 | Смоленская обл. | 23,57 | 63,23 |
| Брянск | 214 | Брянская обл. | 24,78 | 45,14 |
| Трубчевск | 177 | Брянская обл. | 24,02 | 58,86 |

При проектировании ВЛ важно так же верно оценить величину гололедных и ветровых нагрузок.

В результате образования гололедно-изморозевых отложений создаются гололедные нагрузки, которые особенно опасны для стабильного энергоснабжения и эксплуатации ЛЭП, так как эти отложения создают весовую нагрузку на провода. На обледенелый провод действует так же ветровая нагрузка, которая зависит от скорости ветра при гололеде и размеров отложения. Таким образом, при усилении ветра возрастает результирующая гололедно-ветровая нагрузка. Под действием веса гололедных отложений провода скручиваются, вибрируют (начинается «пляска»), что уменьшает прочность проводов и приводит к обрыву ВЛ. Основными нормативными документами

для учета гололедных и ветровых нагрузок при проектировании приняты ПУЭ-7 [31] и СП «Нагрузки и воздействия» [30].

В таблице 28 приведено среднее число с гололедными отложениями для двух периодов. Очевидно, что за последние годы наблюдается значительное уменьшение числа дней с гололедом для всех выбранных метеостанций, причем в Брянске среднегодовое число дней уменьшилось более чем в 2 раза.

Таблица 28 – Среднее число дней с гололедом

| Название станции | Месяц | | | | | | | | | | | | Год |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|----|-------|
| | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | |
| 1966-1991 гг. | | | | | | | | | | | | | |
| Псков | . | . | . | 0,46 | 1,50 | 3,50 | 3,12 | 1,54 | 0,46 | 0,15 | . | . | 10,73 |
| Великие Луки | . | . | . | 0,08 | 1,04 | 1,75 | 1,13 | 0,79 | 0,13 | 0,13 | . | . | 5,04 |
| Смоленск | . | . | . | 0,69 | 3,58 | 6,42 | 3,96 | 2,96 | 1,50 | 0,27 | . | . | 19,38 |
| Брянск | . | . | . | 0,42 | 3,54 | 8,19 | 4,85 | 2,69 | 1,88 | 0,35 | . | . | 21,92 |
| Трубчевск | . | . | . | 0,33 | 0,79 | 3,79 | 1,79 | 1,17 | 0,46 | 0,04 | . | . | 8,38 |
| 1992-2017 гг. | | | | | | | | | | | | | |
| Псков | . | . | . | 0,15 | 1,27 | 2,42 | 2,19 | 0,77 | 0,27 | . | . | . | 7,08 |
| Великие Луки | . | . | . | , | 0,47 | 1,12 | 1,12 | 0,47 | 0,06 | . | . | . | 3,24 |
| Смоленск | . | . | 0,08 | 0,27 | 2,62 | 6,50 | 4,35 | 2,62 | 0,77 | 0,15 | . | . | 17,35 |
| Брянск | . | . | . | 0,12 | 2,54 | 3,77 | 2,35 | 1,46 | 0,58 | 0,08 | . | . | 10,88 |
| Трубчевск | . | . | . | 0,04 | 1,32 | 2,36 | 0,96 | 1,00 | 0,44 | 0,12 | . | . | 6,24 |

Нормативным климатическим показателем гололедной нагрузки служит толщина стенки гололеда, рассчитанная с повторяемостью раз в 5 лет (согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия») [30]. В таблице 29 представлена расчетная толщина стенки гололеда различной повторяемости. Наблюдаемая тенденция к уменьшению числа дней с гололедными отложениями не означает уменьшение гололедной нагрузки. Напротив, для территорий Псковской, Смоленской и Брянской расчетная толщина стенки гололеда увеличилась в сравнении с данными, приведенными в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» 2011 года. Номер гололедного района на рассматриваемых территориях увеличился.

Таблица 29 – Максимальная толщина стенки гололеда различной обеспеченности, мм

| Название станции | Высота, м | Республика, область | Максимальная толщина стенки гололеда, возможная раз в | |
|------------------|-----------|---------------------|---|--------|
| | | | 5 лет | 50 лет |
| Псков | 43 | Псковская обл. | 5,1 | 9 |
| Великие Луки | 97 | Псковская обл. | 7,5 | 14,3 |
| Смоленск | 236 | Смоленская обл. | 6,4 | 10,0 |
| Брянск | 214 | Брянская обл. | 6,7 | 12,4 |
| Трубчевск | 177 | Брянская обл. | 5,3 | 9,8 |

Воздушные линии электропередач в значительной степени подвержены ветровому воздействию. На рисунке 25 показана межгодовая изменчивость максимальной скорости ветра и максимальной из средних скоростей ветра 10 минутного осреднения.

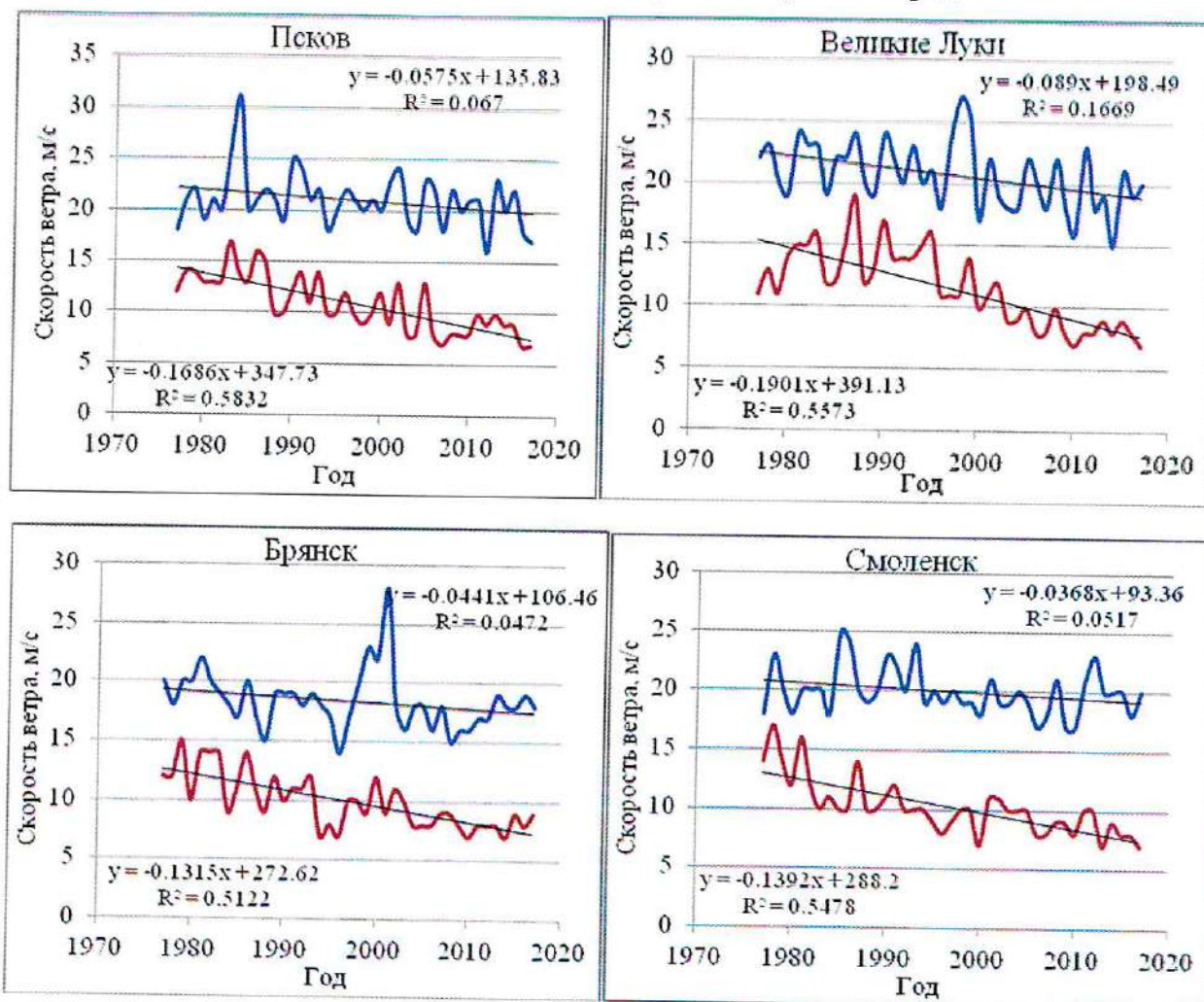


Рисунок 25 – Межгодовая изменчивость скорости ветра:

- Максимальная скорость ветра (порыв), м/с;
- Максимальная из средних (10 минутное осреднение) скоростей ветра, м/с

Обе эти характеристики имеют тенденцию к уменьшению. Наибольшую значимость имеет тренд максимальной из средних скоростей ветра 10 минутного осреднения, когда доля трендовой составляющей для выбранных метеостанций превышает 50 %.

Ветровое давление воздействует на провода, тросы и опоры ВЛ. Создавая поперечную нагрузку на провода и тросы, ветер увеличивает их натяжение. Давление ветра может вызвать поломку и падение опор. Ветровая нагрузка, согласно СП 20.13330.2016 [30], определяется по формуле:

$$W_0 = 0.43 * V_{50}^2$$

где V_{50} – скорость ветра на уровне 10 м над земной поверхностью, определяемая с 10-мин интервалом осреднения и с периодом повторения 50 лет.

Таблица 30 – Ветровая нагрузка на линии электропередач, кПа

| Название станции | Высота н.у.м., м | Республика, область | Ветровая нагрузка, к Па |
|------------------|------------------|---------------------|-------------------------|
| Псков | 43 | Псковская обл. | 0,13 |
| Великие Луки | 97 | Псковская обл. | 0,16 |
| Смоленск | 236 | Смоленская обл. | 0,18 |
| Брянск | 214 | Брянская обл. | 0,22 |

Таким образом, условия работы воздушных линий электропередач во многом зависят от климатических условий. Ветровые и гололедные нагрузки, интенсивность грозовой деятельности являются основными факторами при выборе материалов и типа конструкции.

1.3 Рекомендации по адаптации энергетической отрасли к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям на территории областей, сопредельных с Республикой Беларусь

Высокая уязвимость энергетической инфраструктуры к изменениям окружающей среды обусловлена, главным образом, ее длительным сроком службы, особенно в случаях, когда на этапе проектирования не учитывались воздействия, связанные с возможными климатическими изменениями. АЭС и ТЭС, как правило, сложнее адаптируются к изменениям климата, тогда как объекты с более коротким сроком службы (например, многие агрегаты возобновляемых источников энергии (ВИЭ)), могут быть заменены с меньшими затратами в связи с изменившимися условиями среды.

В этом разделе сформулированы предложения по адаптации для широкого спектра систем производства электроэнергии. Эти предложения основаны на результатах анализа нормативно-правовой базы и климатической информации, использованной в работе и полученной при выполнении НИР.

Наблюдаемые и ожидаемые в будущем изменения климатических характеристик создают риски для устойчивого функционирования энергоблоков ТЭС и АЭС. Для повышения надежности и эффективности этих систем необходим комплексный подход к адаптации, который включает технологические, поведенческие и институциональные меры.

1.3.1 Технологическая адаптация

Технологическая адаптация включает модернизацию и замену существующих систем электроснабжения, интеграцию энергоэффективных инфраструктур и технологий в систему энергоснабжения. Ключевые направления по снижению уязвимости систем электроснабжения в электроэнергетике сформулированы в таблице 31.

Таблица 31 – Основные меры по адаптации системы энергоснабжения и обеспечению ее надежности

| Основные направления | Мероприятия по обеспечению надежности, устойчивости и адаптации объектов системы электроснабжения |
|--|---|
| Техническое перевооружение и реконструкция электрических сетей | Использование современных энергоэффективных электрических агрегатов и технологий |
| | Более широкое применение передвижных электростанций и подстанций |
| | Строительство подстанций закрытого исполнения и минимальных размеров |
| | Освоение подземного пространства для размещения электросетевого хозяйства |
| Повышение управляемости процессов передачи и распределения электроэнергии | Применение схем с минимальным временем восстановления электроснабжения потребителей при возникновении аварийных режимов |
| | Постепенный переход к активно-адаптивным распределительным сетям (smartgrid) |
| | Установка на электростанциях автономных источников генерации для пуска электростанции при потере связи с энергосистемой и автономного электроснабжения пиковых водогрейных котлов в аварийных режимах |
| Совершенствование принципов построения топологии сетей для повышения их пропускной способности | Выполнение низковольтных линий изолированными проводами, более устойчивыми к природным катаклизмам |
| | Применение сверхпроводящих кабелей |

Продолжение таблицы 31

| | |
|---|--|
| Основные направления | Мероприятия по обеспечению надежности, устойчивости и адаптации объектов системы электроснабжения |
| | Применение высокотемпературных проводов воздушных линий |
| Повышение энергоэффективности при генерации тепловой и электрической энергии и при их потреблении | Разработка инвестиционных программ по внедрению централизованного хладоснабжения на базе тригенерации (процесс совместной выработки электричества, тепла и холода), применения термотрансформаторов и других видов установок |
| | Внедрение цифровых технологий в системах управления технологическими процессами и режимами |
| | Развитие ВИЭ на основе комплексной оценки эффективности таких источников для повышения гибкости системы энергоснабжения |
| | Внедрение аккумуляторов тепла и холода во всех элементах системы энергоснабжения |
| Повышение эффективности управления производством и потреблением энергии | Специальная подготовка персонала для работы в условиях воздействия экстремальных климатических явлений, основанная на подходах экологического и энергетического менеджмента |
| | Повышение уровня производственной культуры и технологической дисциплины |
| | Разработка стратегии повышения потребительской ценности централизованной системы теплоснабжения на основе совершенствования организационно-экономических механизмов управления ею |
| | Создание стимулирующих механизмов для формирования финансовых резервов с целью покрытия убытков от климатических воздействий |

К технологической адаптации можно также отнести оптимальный выбор технологий для снижения уязвимости энергетических объектов. Так, например, уязвимость электростанций к изменению и изменчивости климата может быть значительно уменьшена при правильно выбранном типе используемой системы охлаждения АЭС и ТЭС. Выбор системы охлаждения и источников водоснабжения электростанции следует проводить на основе комплексного анализа гидрологических, геологических и климатических данных с учетом требований охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, надежности и экономичности работы электростанции, стоимости и сроков строительства. Предпочтение следует отдавать

оборотным системам с наливными и отсеченными водоёмами-охладителями. Если площадь проектируемого водоёма-охладителя недостаточна для проектной мощности новой или расширяемой электростанции, следует рассматривать комбинированные системы, сочетающие водоём, брызгальные установки над акваторией и другие гидроохладители [16]. В этой связи наибольшее распространение (до 70 %) получили системы обратного охлаждения с градирнями башенного типа. Градирни, являясь компактными и рациональными гидроохладителями, позволяют размещать электрические станции на значительном расстоянии от крупных источников воды, на территории городов, вблизи потребителей электроэнергии. При отводе избыточного тепла через градирню, вода используется многократно, и требуется лишь небольшое ее добавление для восполнения потерь, сопутствующих охлаждающим устройствам.

Для электростанций с пиковыми режимами нагрузок, размещаемых в районах с высокими температурами и влажностью воздуха, следует рассматривать целесообразность применения вентиляторных градирен. Количество градирен должно быть, как правило, не менее двух.

Необходимо отметить, что функциональная уязвимость систем энергоснабжения от погодных-климатических воздействий является причиной и экономической уязвимости (таблица 32) [28].

Таблица 32 – Функциональная и экономическая уязвимость систем энергоснабжения от погодных-климатических воздействий

| Функциональная уязвимость | Экономическая уязвимость |
|---|--|
| Угроза перерывов в энергоснабжении и снижение его надежности вследствие аварийных ситуаций при производстве и транспортировке | Повышение потерь энергии при транспортировке и распределении свыше нормативного уровня |
| Угроза снижения энергетической безопасности топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в условиях аномального температурного режима | Снижение энергетической эффективности производителей энергии, в том числе за счет нерасчетных режимов работы |
| Рост потерь и аварийных ситуаций с ростом электрических (тепловых) нагрузок | Убыточность производства энергии вследствие повышения себестоимости |
| Угроза неспособности поставить энергоресурсы в необходимом потребителю объеме, в соответствии с его графиком потребления | Угроза снижения выручки из-за оплаты отклонений от торгового графика на оптовом рынке электроэнергии |

Учитывая эту зависимость, при внедрении новых технологий необходимо проводить детальные экономические оценки затрат и получаемых выгод от инноваций.

При разработке методов технологической адаптации необходимо принимать во внимание структуру и динамику потребления энергии, учитывая, что ТЭС и АЭС предоставляют потребителям как тепловую, так и электрическую энергию. Суммарный отпуск тепла от ТЭС за последние 20 лет сократился в России в 1,5 раза [29], а отпуск электроэнергии при этом постоянно возрастает. Прежде жилищный фонд потреблял около 6–7 Гкал тепла и 550–600 кВт·ч электричества на человека в год. В целом сегодня ЖКХ городов и городских поселений потребляет меньше тепла (4,5–5,5 Гкал на человека в год) и больше электричества (850–950 кВт·ч на человека в год) [28]. Учитывая ожидаемые климатические изменения, можно предполагать, что теплопотребление еще упадет, а электропотребление значительно вырастет. При этом суммарное потребление топлива населением в быту почти не растет, и держится на уровне 1–1,1 т у.т. (в средней полосе страны на человека в год). На эту цифру влияют в первую очередь климат и наличие ТЭЦ, а структура потребления изменяется. Кроме того, в последнее время существенно меняются параметры наружного воздуха в течение отопительного периода, растет амплитуда их колебаний. Довольно существенно растут нормативы тепловой защиты, определяемые как общими рамочными нормами актуализированной версии СНиП «Тепловая защита зданий» [СП 50.13330.2012], так и утверждаемыми на региональном уровне территориальными строительными нормами. Таким образом, совокупно, изменяющийся климат и современная тепловая защита дают сокращение потребности в тепловой энергии примерно на 26–37 %.

1.3.2 Поведенческая адаптация

Поведенческая адаптация охватывает большой спектр возможных действий по обновлению планов аварийного, эксплуатационного и технического обслуживания секторов экономики и подготовки кадров с целью минимизации риска в эксплуатации. Изменяя и улучшая методы управления, можно экономически эффективно снизить уязвимость агрегатов электростанций без каких-либо изменений в технологии. Поведенческая адаптация включает также большой набор мер по экономии электроэнергии и контролю потребления электроэнергии конечными пользователями. Адаптация конечных пользователей может значительно повлиять на уязвимость энергосистем в период тепловых волн, т.к. многие системы электроснабжения сталкиваются с отключением электроэнергии именно из-за повышенного спроса. Так, например, смарт-счетчики могут отмечать потребление энергии ежечасно и позволять пользователю отслеживать его. Эта информация может стимулировать пользователей

экономить электроэнергию и снижать собственные затраты, а также обнаруживать неисправное оборудование, которое потребляет значительное количество электроэнергии и заменять его.

1.3.3 Институциональная адаптация

Институциональная адаптация относится к действиям, предпринимаемым руководителями всех уровней, и развитию межсекторального сотрудничества. Правительства и учреждения на международном, национальном, региональном и местном уровнях анализируют социально-экономические условия при принятии конкретных стратегий, и в итоге определяют успех или неудачу адаптации.

На национальном уровне органы управления могут устанавливать стандарты эффективности для сектора электроэнергетики, актуализировать строительные нормы, предоставлять качественную климатическую информацию с учетом метеоданных последних лет, а также ожидаемых климатических изменений, разрабатывать планы по управлению чрезвычайными ситуациями.

На региональном и местном уровнях органы управления контролируют планы землепользования, которые дают им возможность изменять существующую инфраструктуру, заменять уязвимые системы и выбирать области для новых объектов по выработке электроэнергии.

Одна из важнейших институциональных мер – это диверсификация энергетических систем. Наличие альтернативных способов производства энергии может снизить уязвимость сектора в целом к определенному климатическому воздействию. Поэтому вопросы энергетической безопасности (не только в контексте изменения климата) тесно связаны с уровнем диверсификации энергетической системы. Расширение спектра типов и видов электростанций в составе региональной энергосистемы и использование централизованных и децентрализованных энергоресурсов поможет увеличить доступность системы и ее устойчивость к изменчивым климатическим условиям.

При подготовке качественной климатической информации с целью обеспечения надежного функционирования АЭС и ТЭС очень важна роль гидрометслужбы. В условиях климатических изменений необходимо проведение дополнительных гидрометеорологических исследований в районе расположения электростанций. Так, например, в случае регистрации в районе размещения АЭС рекордных значений гидрометеорологических параметров, входящих в проектные основы, необходимо проводить проверки не превышения проектных значений этих параметров. При выявлении превышений принятых в проекте значений следует проанализировать необходимость

принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности АЭС. Кроме того, целесообразны следующие мероприятия:

– актуализация нормативных документов для проектирования и эксплуатации АЭС и ТЭС, содержащих климатические характеристики, с целью учета климатической информации за последнее 30-летие;

– организация мониторинга повторяемости и интенсивности опасных явлений погоды, прежде всего смерчей, как одного из самых опасных метеорологических ОЯ для генераторов энергии, прежде всего, для АЭС;

– учет возможного снижения мощности энергоблоков АЭС и ТЭС в летний период при планировании развития энергетической отрасли в районах наибольших климатических рисков (например, создание независимых энергоносителей, в том числе на базе ВИЭ).

1.3.4 Возобновляемые источники энергии

В связи с изменением климата и стремлением регионов к энергетической и экологической безопасности наметилась новая тенденция развития энергетики, выражающаяся в увеличении доли децентрализованного производства электрической и тепловой энергии за счет экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Солнечные и ветровые ресурсы полностью или частично доступны по всему земному шару и могут использоваться децентрализованно как на местном, так и на региональном уровне.

Для оценки солнечных и ветровых энергетических ресурсов региона необходимо определить природные ресурсы солнечной и ветровой энергии, потенциальные ресурсы (принципиально доступные для практического использования) и технические ресурсы (количество электрической или тепловой энергии, которое можно получить с использованием существующих средств преобразования) [26].

1.3.4.1 Солнечная энергетика

Основными характеристиками солнечных энергетических ресурсов в заданном районе являются продолжительность солнечного сияния, количество прямой и суммарной солнечной радиации, поступающей на земную поверхность.

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 Псковской, Смоленской и Брянской областей создают перспективу практического использования солнечной энергии.

Вследствие достаточно большой повторяемости облачной погоды на рассматриваемой территории годовая продолжительность солнечного сияния составляет от 1750 до 1800 часов (таблица 33), что меньше значения, заведомо благоприятного для использования солнечной энергии (более и равно 2 000 часов) [26].

Таблица 33– Продолжительность солнечного сияния, часы

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|----|-----|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Псков | 38 | 61 | 149 | 182 | 236 | 296 | 280 | 236 | 158 | 82 | 30 | 22 | 1802 |
| Смоленск | 45 | 67 | 131 | 177 | 245 | 286 | 267 | 225 | 160 | 83 | 36 | 20 | 1742 |
| Брянск | 42 | 69 | 124 | 163 | 256 | 279 | 277 | 235 | 168 | 93 | 36 | 26 | 1758 |

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что данный регион не является перспективным для широкого использования гелиотехнических устройств, особенно для получения электрической энергии. Однако, как будет показано ниже, здесь вполне целесообразно использование солнечных установок среднего и малого масштаба (гелиотеплиц, солнечных кипятильников, солнечных насосов) и, особенно, солнечных коллекторов для отопления и горячего водоснабжения.

В таблице 34 приводятся результаты расчета природных ресурсов солнечной энергии, (месячных и годовых сумм суммарной солнечной радиации при средних условиях облачности, поступающей в данном регионе на земную поверхность), характеризующих валовой теоретический потенциал солнечной энергии.

Таблица 34 – Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, МДж/м²

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|-----|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Псков | 47 | 104 | 274 | 385 | 548 | 610 | 583 | 437 | 262 | 123 | 41 | 25 | 3439 |
| Смоленск | 76 | 141 | 297 | 401 | 569 | 646 | 605 | 492 | 317 | 148 | 57 | 40 | 3749 |
| Брянск | 70 | 146 | 296 | 405 | 560 | 635 | 608 | 496 | 330 | 178 | 70 | 48 | 3842 |

Основой для всех расчетов при моделировании работы солнечных энергетических систем является количество солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности. Именно эту величину целесообразно рассматривать как гелиоресурсы, принципиально доступные для технического использования (таблицы 34 и 35).

Таблица 35 – Суммарная солнечная радиация, поступающая на неподвижную поверхность, наклоненную на оптимальный для года угол, МДж/м²

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Псков | 97 | 192 | 438 | 470 | 586 | 622 | 606 | 489 | 351 | 191 | 77 | 55 | 4175 |
| Смоленск | 135 | 212 | 416 | 465 | 575 | 633 | 593 | 517 | 415 | 227 | 87 | 68 | 4342 |
| Брянск | 120 | 218 | 403 | 470 | 571 | 597 | 596 | 526 | 429 | 271 | 106 | 79 | 4386 |

Таблица 36 – Суммарная солнечная радиация, поступающая на поверхность, следящую за солнцем, МДж/м²

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Псков | 110 | 215 | 529 | 601 | 806 | 885 | 857 | 647 | 432 | 219 | 81 | 57 | 5439 |
| Смоленск | 163 | 262 | 535 | 602 | 819 | 917 | 877 | 728 | 523 | 262 | 101 | 80 | 5870 |
| Брянск | 151 | 273 | 515 | 591 | 795 | 889 | 863 | 729 | 538 | 310 | 125 | 96 | 5875 |

Анализ таблиц 35 и 36 показывает, что наибольшее количество суммарной радиации поступает на следящую за солнцем поверхность. Использование следящей системы увеличивает годовой приход радиации в среднем на 40 % по сравнению с неподвижной поверхностью, наклоненной на оптимальный для года угол.

Перспективу практического использования солнечной энергии в Псковской, Смоленской и Брянской областях можно проиллюстрировать по результатам расчета возможной выработки электрической и тепловой энергии с помощью современных средств преобразования солнечной энергии – фотоэлектрических батарей, использование которых возможно круглый год, и установок коллекторного типа, используемых в безморозный период.

Таблица 37 – Удельная месячная и годовая выработка энергии фотоэлектрической батареей с КПД 15 % (поверхность, следящая за солнцем), кВт×ч/м²

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Псков | 5 | 16 | 42 | 43 | 60 | 60 | 59 | 47 | 30 | 16 | 5 | 4 | 387 |
| Смоленск | 7 | 20 | 41 | 46 | 58 | 64 | 61 | 51 | 37 | 19 | 7 | 6 | 417 |
| Брянск | 7 | 21 | 39 | 43 | 56 | 62 | 60 | 51 | 38 | 22 | 9 | 7 | 415 |

Таблица 38 – Удельная месячная и годовая выработка энергии фотоэлектрической батареей, КПД=15 % (неподвижная поверхность, наклоненная на угол, оптимальный для года), кВт×ч/м²

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Псков | 4 | 15 | 33 | 35 | 42 | 44 | 42 | 34 | 25 | 14 | 5 | 4 | 296 |
| Смоленск | 6 | 16 | 32 | 34 | 41 | 44 | 41 | 36 | 30 | 16 | 6 | 5 | 308 |
| Брянск | 5 | 17 | 30 | 34 | 40 | 42 | 41 | 37 | 30 | 20 | 7 | 6 | 309 |

Таблица 39 – Удельная месячная и годовая выработка тепловой энергии плоским солнечным коллектором (неподвижная поверхность, наклоненная на угол, оптимальный для года), кВт×ч/м²

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | Сумма за год |
|--------------|--------|----|-----|-----|-----|------|----|----|--------------|
| | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | |
| Псков | 38 | 60 | 98 | 116 | 117 | 90 | 53 | 13 | 585 |
| Смоленск | 32 | 59 | 100 | 118 | 114 | 96 | 63 | 18 | 600 |
| Брянск | 33 | 65 | 103 | 118 | 123 | 105 | 73 | 31 | 652 |

Как видно из таблицы 37, максимальной выработки полезной энергии можно достичь, используя гелиоприемник со следящей за солнцем системой, однако высокая стоимость таких установок не способствует их широкому применению.

К реальным на данный момент технически реализуемым гелиоресурсам следует отнести энергию, вырабатываемую солнечными установками, гелиоприемник которых представляет собой неподвижную поверхность. Обычно используют наклон приемной поверхности на угол, равный широте места или рассчитывают оптимальный угол, позволяющий получить наибольшее количество солнечной энергии за год. Годовая выработка энергии фотоэлектрической батареей с КПД, равным 15 %, составит в этом случае около 300 кВт×ч/м².

В настоящее время наиболее распространено использование солнечной энергии для целей отопления и горячего водоснабжения с применением систем коллекторного типа. Такие установки в регионе Псковской, Смоленской и Брянской областей позволяют получить до 600-650 кВт×ч/м² тепловой энергии за год.

Оценить эффективность работы солнечного коллектора можно, определив долю солнечной энергии в покрытии энергетической нагрузки, так называемый коэффициент замещения.

В таблице 40 приведены результаты расчета коэффициента замещения нагрузки горячего водоснабжения f и удельной теплопроизводительности установки q . Использование солнечной установки предполагалось в режиме сезонного горячего водоснабжения в период с мая по сентябрь. Расчеты проводились для различной площади коллектора, количество потребителей горячей воды – четыре человека, суточная норма расхода воды - 100 литров на человека. При расчете были использованы теплотехнические характеристики солнечного коллектора «Радуга М», разработанного в МГТУ им. Н. Э. Баумана совместно с ЦАГИ им. Н. Е. Жуковского. Площадь одного модуля составляет 1,5 м². Как видно из таблицы 7, использование солнечного коллектора с площадью 6 м² позволяет покрыть нагрузку горячего водоснабжения за счет энергии

солнца в рассматриваемом регионе Псковской, Смоленской и Брянской областей практически на 60 %.

Таблица 40 – Коэффициент замещения нагрузки горячего водоснабжения f (%) и удельная теплопроизводительность q (кВт×ч/м²) при различной площади коллектора

| Станция | 1 м ² | | 1,5 м ² | | 3 м ² | | 6 м ² | |
|----------|------------------|-----|--------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|
| | f | q | f | q | f | q | f | q |
| Псков | 11 | 433 | 16 | 425 | 31 | 401 | 55 | 356 |
| Смоленск | 12 | 461 | 17 | 452 | 33 | 426 | 58 | 377 |
| Брянск | 12 | 477 | 18 | 468 | 34 | 440 | 60 | 389 |

Ограниченное использование гелиоустановок связано в значительной мере с экономическими причинами. Стоимость установок находится в пределах от 30 до 90 тыс.руб. Срок окупаемости - около 7 лет. Однако перспективы использования энергии Солнца в России связываются именно с выработкой тепловой энергии на базе плоских солнечных коллекторов.

Для эффективного планирования развития солнечной энергетики необходимо оценить возможные изменения прихода солнечной радиации в XXI веке в связи с глобальными климатическими изменениями.

Рассмотрим результаты изменения поступления суммарной солнечной радиации, полученные по ансамблю 31 модели CMIP5 RCP 4.5 [27] для трех периодов 2011-2030 гг., 2041-2060 гг. и 2080-2099 гг. по отношению к базовому периоду 1981-2000 гг.

В начале XXI в (2011-2030 гг.) на территории сопредельных с Белоруссией областей прогнозируется рост годового прихода суммарной радиации до 4 %. В середине века (2041-2060 гг.) увеличение прихода суммарной радиации достигнет 6 %. К концу века (2081-2099гг.) практически вся территория Европейской части страны будет в зоне довольно слабой положительной аномалии (от 2 до 4 %).

Проиллюстрируем влияние происходящих климатических изменений на примере изменения удельной выработки тепловой энергии солнечными коллекторами, которая напрямую зависит не только от количества солнечной радиации, поступающей на его приемную поверхность, но и температуры окружающего воздуха. Как показывают расчеты, в течение всех трех рассмотренных периодов изменение эффективности выработки энергии тепловыми коллекторами будет происходить, главным образом, в соответствии с изменением поступающей на приемную поверхность солнечной радиации. В первые десятилетия XXI в возможно небольшое увеличение удельной выработки на сопредельных с территорией Белоруссии областях (от 20 до 40 кВт×ч/м²).

К середине XXI столетия и особенно к его концу, согласно модельному прогнозу,

рост температуры будет более интенсивный, что положительно скажется на работе солнечных коллекторов. В Псковской, Смоленской и Брянской областях производительность работы солнечного коллектора увеличится более, чем на 50-60 кВт·ч с каждого квадратного метра установки.. Приведенные оценки возможных изменений не учитывают прогресса в технологии приемных поверхностей.

1.3.4.2 Ветровая энергетика

Энергия ветра, которая может быть использована ветроэнергетическими установками, характеризуется средней годовой удельной мощностью ветрового потока на высоте h , проходящего через единицу площади ветроколеса, перпендикулярного направлению ветра и имеет размерность Вт/м². Мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра и изменяется во времени соответственно скорости. Согласно выполненному в ГГО фоновому районированию России по удельной мощности ветрового потока на высоте 100 м [26], можно отметить, что на территории сопредельных с Белоруссией областей ветровой потенциал (мощность ветрового потока) не превышает 100-150 Вт/м², что позволяет использование ветродвигателей небольшой мощности (от 5 до 6 кВт). Благоприятные условия для использования энергии ветра обуславливают высокий ветроэнергетический потенциал (средняя скорость ветра более 5 м/с); относительная высокая продолжительность рабочих скоростей от 9 до 25 м/с; повторяемость энергетических затиший ($v < 3$ м/с) не более 20-30 %; небольшие значения коэффициентов вариации (менее 0.3); отсутствие или малое число «буревых» (более 20 м/с) и «ураганных» (более 33 м/с) скоростей ветра.

Приведенные в таблице 41 данные указывают на низкий ветроэнергетический потенциал рассматриваемой территории. По данным наблюдений на сопредельных с Республикой Беларусь территориях России средняя годовая скорость ветра находится в диапазоне от 3,5 до 4,5 м/с. Во всей совокупности наблюдений скорости ветра менее 5 м/с в Смоленске имеют повторяемость 75 %, в Пскове и Брянске 85-93 %, а в 20-28 % случаев отмечаются так называемые «энергетические затишья» (скорость ветра от 0 до 1 м/с).

Таблица 41 – Энергетические характеристики ветра

| Метеостанция | Средняя годовая скорость ветра, м/с | Коэффициент вариации средней годовой скорости ветра | Градации скорости ветра, м/с | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------------|---|------------------------------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0-1 | 2-3 | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 10-11 | 12-13 | 14-15 | 16-17 | 18-21 |
| | | | Повторяемость, % | | | | | | | | | |
| Псков | 3,6 | 0,5 | 19,7 | 36,8 | 28,6 | 11,3 | 2,8 | 0,7 | 0,1 | 0,03 | | |
| Смоленск | 4,5 | 0,5 | 20,2 | 28,7 | 25,8 | 16,1 | 6,8 | 1,6 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,02 |
| Брянск | 4,3 | 0,8 | 26,3 | 48,5 | 18,4 | 5,1 | 1,3 | 0,4 | 0,1 | 0 | 0 | 0 |

Согласно модельным оценкам по ансамблю 25 МОЦАО CMIP5 (в % от значения базового периода 1991-2010 гг.) существенных изменений среднегодовой скорости ветра у поверхности земли ($h=10$ м) в ближайшие десятилетия (2021-2040 гг.) и середине XXI в (2041-2060 гг.), на большей части территории России не прогнозируется. По-прежнему ожидается небольшое снижение приземной скорости ветра в континентальной части России. Согласно модельным прогнозам, в отличие от осадков и температуры, изменение ветра мало по сравнению с естественной изменчивостью, а неопределенность прогнозируемых изменений ветра остается относительно высокой [27].

1.3.4.3 Биоэнергетика

Биомасса или биоресурсы — мощный потенциальный источник топлива и энергии. В России биоэнергетика находится на начальной стадии развития (доля биотоплива в российской малой энергетике составляет всего 0,5 %). Однако возможности для ее развития в Российской Федерации и, в частности, на территории областей, сопредельных с республикой Беларусь, огромны.

Ежегодно в России по разным отраслям народного хозяйства производится до 460 млн. тонн отходов биомассы (по сухому веществу), из них: 230 млн. тонн в сельскохозяйственном производстве; 130 млн. тонн в животноводстве и птицеводстве и 100 млн. тонн в растениеводстве; в городах — 70 млн. тонн (60 млн. тонн твердых бытовых отходов и 10 млн. тонн осадков сточных вод). Энергетический потенциал указанного количества отходов составляет 190 млн. т у.т., реально можно получать в год до 45 млн. т у.т. Переработка такого количества отходов только по биогазовым технологиям может дать до 80 млрд. куб. биогаза, что эквивалентно 56 млрд. куб.м. природного газа [27].

Как было отмечено в отчете по НИР 1 этапа "Определение требований ведущих отраслей экономики к климатическому обслуживанию", важнейшим сектором экономики в Псковской, Смоленской и Брянской областях является сельское хозяйство, в значительной степени специализирующееся на животноводстве. Переработка отходов сельскохозяйственного производства, и в первую очередь животноводства и птицеводства, может быть перспективным источником получения биотоплива.

Биогазовые установки и станции могут функционировать круглогодично в любое время суток, где есть органические отходы или доступная энергетическая биомасса. Реализация и внедрение биогазовых технологий в народное хозяйство требует крупных разовых инвестиций, но они окупаются за очень короткий срок и далее работают на накопление капитала.

Выводы: в рамках данного этапа исследования рассмотрены региональные климатические изменения на территории субъектов России, граничащих с Республикой Беларусь, которые могут оказать воздействие на функционирование энергетической отрасли к середине и концу XXI в. В основу анализа положены результаты ансамблевых расчетов с использованием высокоразрешающей системы моделей, разработанной в ГГО и реализованной для территории Союзного государства применительно к сценарию антропогенного воздействия МГЭИК RCP8.5.

Анализ климатических изменений термического режима и режима увлажнения показал, что в середине XXI в. на юге рассматриваемого региона (в Брянской области) лучше проявляется ожидаемое увеличение продолжительности сухих периодов, в то время как на севере (в Псковской области) более отчетливо выявляется рост максимумов осадков.

К концу века наметившиеся тенденции в изменении термического режима и режима увлажнения обнаруживаются вполне отчетливо. Особенно ярко это проявляется в изменении распределения таких показателей как дефицит тепла, дефицит холода и изменение температуры наиболее жаркой 30-дневки. Отмечается, что на территории региона формируется две противоположные тенденции в изменении максимальной продолжительности сухих периодов. В северной части региона продолжительность сухих периодов теплого сезона уменьшается, а в южных районах (Смоленская и Брянская области) увеличивается.

Влияния климатических изменений существенно сказывается на функционировании АЭС и ТЭС. Одним из важнейших факторов, влияющих на производство энергии на АЭС и ТЭС, является термический режим, который влияет на условия охлаждения энергоблоков.

Анализ климатических факторов, отражающих критические состояния окружающей среды, при которых могут возникнуть «занормативные» состояния систем охлаждения агрегатов электростанций, показал, что наибольшие риски для систем охлаждения АЭС и ТЭС характерны для Брянской и Смоленской областей.

Для энергетической инфраструктуры всех рассматриваемых областей большую опасность представляют сильные ветры. Около 30 % повторяемости чрезвычайных ситуаций связано с этим опасным явлением.

Воздушные линии электропередач чаще других элементов энергосистемы подвергаются влиянию гололедных и ветровых нагрузок. По данным расчетов с использованием современной метеорологической информации (по 2017-2018 гг) наблюдаемая тенденция к уменьшению числа дней с гололедными отложениями

не означает уменьшение гололедной нагрузки. Напротив, для территорий Псковской, Смоленской и Брянской расчетная толщина стенки гололеда увеличилась по сравнению с данными, приведенными в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» 2011 года. Номер гололедного района на рассматриваемых территориях увеличился.

На основании результатов анализа нормативно-правовой базы и климатической информации в отчете сформулированы предложения по адаптации для широкого спектра систем производства электроэнергии. Они включают технологические, поведенческие и институциональные меры - модернизацию и замену существующих систем электроснабжения, оптимальный выбор технологий, обновление планов аварийного, эксплуатационного и технического обслуживания, установление стандартов эффективности для сектора электроэнергетики, диверсификацию энергетических систем, разработку и внедрение альтернативных способов производства энергии, что может снизить уязвимость энергетического сектора в целом к климатическим воздействиям.

В отчете показано, что на территории рассматриваемых субъектов Российской Федерации, сопредельных с Республикой Беларусь целесообразно использование возобновляемых источников энергии и, особенно, солнечной энергии для покрытия нагрузки горячего водоснабжения.

2 Программное обеспечение для формирования базы данных статистических характеристик электронного климатического справочника Брянской области

Для формирования специализированных массивов различного временного разрешения по данным метеорологических станций Брянской области использовалось программное обеспечение, разработанное в ходе выполнения второго этапа темы. Программные комплексы [32]-[34] позволили решить задачу объединения данных из различных архивов с различными форматами архивного хранения в один специализированный массив для расчета статистических характеристик. Подробное описание программных комплексов приведено в предыдущем отчете [35].

Исходными данными для формирования специализированных массивов служили данные архивов Госфонда различного временного разрешения.

Массив ежедневных данных по температуре воздуха и атмосферным осадкам формировался с использованием программного комплекса [32] по данным следующих архивов Госфонда суточного разрешения:

- ТМ1-СУТКИ – содержит обобщение на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период от начала работы станций до 1965 г. включительно [37];
- СУТКИ.76 – содержит обобщение на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период от 1966 года включительно до 1976 г. включительно [38];
- СУТКИ-ТМ1-77.83 – содержит обобщение на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период от 1977 г. включительно до 1983 г. включительно [39];
- ТМСС – содержит обобщение на суточные интервалы времени результатов метеорологических наблюдений на территории бывшего СССР за период от 1984 г. включительно по настоящее время [40].

Программный комплекс [33] использовался при формировании специализированного массива характеристик снежного покрова. Исходными данными для формирования этого массива также являлись выше перечисленные архивы Госфонда.

С помощью программного комплекса [34] сформирован специализированный массив с данными маршрутных снегосъемок. Исходными данными для формирования массива являлись архив ТМСМ [8] месячного разрешения, содержащий данные с 1984г по настоящее время, и данные Метеорологического ежегодника по снежному покрову [9] за период 1966-1983 гг.

Выборка данных из архивов осуществлялась при помощи специализированной технологии для работы с архивами Госфонда «АИСОРИ-Вебрь», разработанной во ВНИИГМИ-МЦД, автор В. М. Веселов [43].

Для формирования массива основных метеорологических параметров срочного разрешения использовалось специализированное приложение «АИСОРИ – Формирование рядов 8-ми срочных данных основных метеорологических параметров» [43].

При подготовке массива использовались срочные данные следующих архивов РСБД «Метеорология»:

- ВОСХОД – содержит результаты 8-ми срочных метеорологических наблюдений на станциях бывшего СССР с 1966 года до 1976 года включительно [44];
- ТММ1 – содержит результаты 8-ми срочных метеорологических наблюдений на станциях бывшего СССР с 1977 года до 1983 год включительно [45];
- ТМС – содержит результаты 8-ми срочных метеорологических наблюдений на станциях бывшего СССР с 1984 года по настоящее время [46].

Выводы: использовалось разработанное на втором этапе программное обеспечение, позволяющее формировать специализированные массивы данных для климатических исследований и расчета статистических характеристик для таблиц региональных электронных климатических справочников.

3 Формирование специализированных массивов метеорологической информации для создания электронных климатических справочников по Брянской области

3.1 Каталог метеорологических станций

Для формирования специализированных массивов для расчета таблиц электронного климатического справочника по Брянской области подготовлен каталог, в котором содержатся сведения о метеорологических станциях Брянской области (таблица 42).

Таблица 40 - Каталог метеорологических станций Брянской области

| Индекс ВМО | Название станции | Широта (д.г.) | Долгота (д.г.) | Высота (д.г.) | Республика, область | Примечание |
|------------|------------------|---------------|----------------|---------------|---------------------|--|
| 26894 | Жуковка | 53.50 | 33.75 | 177 | Брянская обл. | Переносы: 12.07.1935 – 1 км Ю, 12.07.1945 - 1,5 км ССЗ, 30.04.1947- 0,2 км С; 09.12.1955 -3 км В; 27.10.1961- 0,55 км СЗ |
| 26898 | Брянск | 53.25 | 34.32 | 214 | Брянская обл. | Переносы: 1946- 6,5 км СЗ; 1972- 500 м С |
| 26976 | Красная Гора | 53.02 | 31.60 | 147 | Брянская обл. | |
| 26985 | Унеча | 52.83 | 32.67 | 190 | Брянская обл. | Переносы: 06.1928-0,7 км СЗ; 18.05.1929 -0,4 км Ю; 1935 - 1,2 км В; 02.1944 -1,7 СВ; 16.11.1968 - 2,7 км ССЗ |
| 26996 | Навля | 52.80 | 34.50 | 204 | Брянская обл. | Переносы: 28.07.1945 -0,6 км СВ; 27.10.1962 - 1км В |
| 26997 | Трубчевск | 52.58 | 33.77 | 177 | Брянская обл. | Переносы: 08.08.1944- 0,7 км СЗ; 26.08.1965 - 0,5 км С; 1983- 7 км ССЗ |
| 27901 | Карачев | 53.10 | 35.00 | 220 | Брянская обл. | Переносы: 1943 - 0,8 км С; 01.07.1963 - 2,8 км В |

Географические координаты станций в каталоге приведены с долями градуса по Списку организаций государственной наблюдательной сети и их наблюдательных подразделений [47]. Информация о переносах метеорологических станций приводится по данным Климатологического справочника СССР, вып. 28, и сведениям, полученным из Управления гидрометеорологической службы (УГМС).

На рисунке 26 представлено схематическое расположение метеорологических станций Брянской области, из которого видна некоторая неравномерность наблюдательной сети. Гораздо лучше освещены метеорологической информацией восточные районы области.



Рисунок 26 – Карта-схема расположения метеорологических станций Брянской области

Описания формата записи массивов аналогичны, приведенным в отчете по второму этапу.

3.2 Специализированные массивы срочного разрешения

К массивам срочного разрешения, которые сформированы для расчета таблиц электронного климатического справочника по Брянской области, относятся: основные метеорологические элементы в сроки наблюдения и атмосферные явления.

Специализированный массив основных метеорологических параметров содержит данные восьми срочных наблюдений с 1966 г. Наблюдения проводились в стандартные синоптические сроки с интервалом в 3 часа. Поскольку до 1993 г. наблюдения осуществлялись по московскому декретному времени, а с 1993 г. – по Гринвичскому, в призначной части каждой записи приведены параметры, позволяющие определить время производства наблюдений по поясному зимнему декретному и Гринвичскому времени.

Состав метеорологических элементов и описание формата записи аналогично тем, что подробно описаны в отчете по второму этапу выполнения темы [35].

Специализированный массив атмосферных явлений состоит из семи файлов данных в формате ASCII с именами вида АIII.dat, где III – синоптический индекс станции (индекс ВМО).

Массив содержит записи фиксированной длины 72 байта, с символом конца строки. Каждая запись содержит 22 поля с фиксированным положением в записи и фиксированной длиной. Все поля записи отделены друг от друга символом “пробел”.

Записи в файлах данных упорядочены по возрастанию ключевых элементов:

- год;
- месяц;
- день;
- срок;
- номер атмосферного явления в данный срок наблюдения.

Состав метеорологических элементов и описание формата записи аналогично тем, что подробно описаны в отчете по второму этапу выполнения темы [35].

3.3 Специализированные массивы суточного разрешения

Для расчета таблиц электронного климатического справочника по Брянской области сформированы следующие специализированные массивы суточного разрешения: температура воздуха и суточная сумма осадков, характеристики снежного покрова по постоянной рейке и маршрутным снегосъемкам.

Массивы по температуре воздуха и суточной сумме осадков, а также по характеристикам снежного покрова по постоянной рейке состоят каждый из семи файлов данных в формате ASCII с именами вида:

III.dat,

где III – синоптический индекс станции (индекс ВМО).

Записи в файлах данных упорядочены по возрастанию ключевых элементов:

- год;
- месяц;
- день.

3.4 Специализированные массивы месячного разрешения

Для расчета таблиц электронного климатического справочника по Брянской области сформированы следующие специализированные массивы месячного разрешения:

- среднемесячная температура воздуха,
- среднемесячная сумма осадков с поправками на смачивание,
- среднемесячная упругость водяного пара,
- среднемесячное атмосферное давление на уровне станции,
- среднемесячное атмосферное давление на уровне моря.

Массивы создавались по данным, содержащимся на технических носителях Госфонда, и по опубликованным источникам [48] - [51].

Все массивы месячного разрешения, кроме месячных сумм осадков, содержат данные от начала наблюдения на станции до 2018 г включительно. Массив среднемесячных сумм осадков содержит информацию с 1966 г, т.к. до 1966 г имели место нарушения однородности рядов, связанные со сменой прибора и изменениями методик наблюдений.

Массивы по среднемесячной температуре воздуха, среднемесячным суммам осадков и упругости водяного пара содержат записи фиксированной длины 83 байта, с символом конца строки. Каждая запись содержит 14 полей с фиксированным положением в записи и фиксированной длиной. Дополнительно, все поля записи отделены друг от друга символом “пробел”.

Массивы по атмосферному давлению на уровне станции и уровне моря содержат записи фиксированной длины 95 байтов, с символом конца строки. Каждая запись содержит 14 полей с фиксированным положением в записи и фиксированной длиной. Дополнительно, все поля записи отделены друг от друга символом “пробел”.

Описание форматов записи данных массивов месячного разрешения аналогично тем, что подробно описаны в отчете по второму этапу выполнения темы [35]. Несколько отличается структура месячного разрешения по относительной влажности, ее описание приводится ниже.

Массив среднемесячной относительной влажности воздуха содержит записи длиной 58 байт (таблица 41). Каждая запись содержит 14 полей с фиксированным положением в записи и фиксированной длиной. Дополнительно, все поля записи отделены друг от друга символом “пробел”.

Таблица 41 - Формат записи в массиве среднемесячной относительной влажности воздуха

| Номер поля | Позиция | Длина Поля | Наименование поля | Примечание |
|------------|---------|------------|--------------------|------------|
| 1 | 1-5 | 5 | Индекс ВМО станции | |
| | 6 | 1 | Пробел | |
| 2 | 7-10 | 4 | Год | |
| | 11 | 1 | Пробел | |

Продолжение таблицы 41

| Номер поля | Позиция | Длина Поля | Наименование поля | Примечание |
|------------|---------|------------|--|------------------------------------|
| 3 | 12-14 | 3 | Относительная влажность воздуха в январе | В процентах (%) с точностью до 1 % |
| | 15 | 1 | Пробел | |
| 4 | 16-18 | 3 | Относительная влажность воздуха в феврале | -/- |
| | 19 | 1 | Пробел | |
| 5 | 20-22 | 3 | Относительная влажность воздуха в марте | -/- |
| | 23 | 1 | Пробел | |
| 6 | 24-26 | 3 | Относительная влажность воздуха в апреле | -/- |
| | 27 | 1 | Пробел | |
| 7 | 28-30 | 3 | Относительная влажность воздуха в мае | -/- |
| | 31 | 1 | Пробел | |
| 8 | 32-34 | 3 | Относительная влажность воздуха в июне | -/- |
| | 35 | 1 | Пробел | |
| 9 | 36-38 | 3 | Относительная влажность воздуха в июле | -/- |
| | 39 | 1 | Пробел | |
| 10 | 40-42 | 3 | Относительная влажность воздуха в августе | -/- |
| | 43 | 1 | Пробел | |
| 11 | 44-46 | 3 | Относительная влажность воздуха в сентябре | -/- |
| | 47 | 1 | Пробел | |
| 12 | 48-50 | 3 | Относительная влажность воздуха в октябре | -/- |

Продолжение таблицы 41

| Номер поля | Позиция | Длина Поля | Наименование поля | Примечание |
|------------|---------|------------|---|------------|
| | 51 | 1 | Пробел | |
| 13 | 52-54 | 3 | Относительная влажность воздуха в ноябре | -/- |
| | 55 | 1 | Пробел | |
| 14 | 56-58 | 3 | Относительная влажность воздуха в декабре | -/- |

Выводы. В результате проделанной работы подготовлены специализированные массивы месячного, суточного и срочного разрешения по основным метеорологическим параметрам для расчета таблиц электронного климатического справочника в соответствии со структурой, разработанной на первом этапе выполнения темы [36].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая уязвимость энергетической инфраструктуры Псковской, Смоленской и Брянской областей, представленной тепловыми электростанциями и Смоленской АЭС, требует большое внимание уделять изменению режима температуры и увлажнения в районах расположения электростанций.

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата создают риски для устойчивого функционирования энергоблоков ТЭС и АЭС. Для повышения надежности и эффективности работы этих систем необходим комплексный подход к адаптации, который включает технологические, поведенческие и институциональные меры.

Технологическая адаптация включает модернизацию и замену существующих систем электроснабжения, оптимальный выбор технологий для снижения уязвимости энергетических объектов, правильный выбор используемой системы охлаждения АЭС и ТЭС с учетом гидрологических, геологических и климатических условий. Функциональная уязвимость систем энергоснабжения от погодно-климатических воздействий является причиной и экономической уязвимости.

Поведенческая адаптация охватывает большой спектр возможных действий по обновлению планов аварийного, эксплуатационного и технического обслуживания. Адаптация конечных пользователей может значительно повлиять на уязвимость энергосистем в период тепловых волн, так как многие системы электроснабжения сталкиваются с отключением электроэнергии именно из-за повышенного спроса. Так, например, использование smart-счетчиков позволит пользователю отмечать потребление энергии ежечасно, стимулировать экономию электроэнергии, снижая собственные затраты.

Институциональная адаптация относится к действиям, предпринимаемым руководителями всех уровней. Органы управления могут устанавливать стандарты эффективности для сектора электроэнергетики, актуализировать строительные нормы, предоставлять качественную климатическую информацию с учетом метеоданных последних лет, а также ожидаемых климатических изменений, разрабатывать планы по управлению чрезвычайными ситуациями. Одна из важнейших институциональных мер – это диверсификация энергетических систем. Наличие альтернативных способов производства энергии может снизить уязвимость сектора в целом к определенному климатическому воздействию.

В данном отчете показано, что на территории Псковской, Смоленской и Брянской областей целесообразно использование самого мощного возобновляемого источника -

солнечной энергии. Использование плоских солнечных коллекторов в период май-сентябрь позволяет покрыть за счет энергии солнца нагрузку горячего водоснабжения практически на 60%.

Для формирования специализированных массивов различного временного разрешения по данным метеорологических станций Брянской области использовалось программное обеспечение, разработанное в ходе выполнения второго этапа темы. Программные комплексы позволили решить задачу объединения данных из различных архивов с различными форматами архивного хранения в один специализированный массив для расчета статистических характеристик. Подробное описание программных комплексов приведено в предыдущем отчете. В Приложении к отчету помещен электронный диск с исходными текстами программных комплексов.

Исходными данными для формирования специализированных массивов служили данные архивов Госфонда различного временного разрешения.

При выполнении НИР 2019 г были проведены патентные исследования. Патентные исследования проводились в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96. Патентные исследования проводились по информационно-поисковой системе в фондах объектов интеллектуальной собственности.

Источник информации, по которому проводился поиск – информационные базы Роспатента и информационная база данных поисковой системы Интернет-ресурса “Яндекс”.

Результаты поиска оформлены в виде отчета о поиске по формам приложений А.Б и А.В в соответствии с ГОСТ Р 15.011 – 96.

Анализ материалов, полученных в результате поиска, показал, что аналогов специализированных массивов (без данных) метеорологической информации для создания электронных климатических справочников по Брянской области нет. Не проводилась подробная оценка влияния изменений климата в XXI в на энергетическую отрасль для Псковской, Смоленской и Брянской областей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Катцов В. М. Климатическое обслуживание в Российской Федерации: вчера, сегодня, завтра [Текст] / В.М. Катцов // Труды VII Всероссийского метеорологического съезда. СПб: 2015. С. 66-80.
2. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана. // Труды ГГО. 2017. Вып.586. С.7-20.
3. IPCC, 2014a: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М.: Росгидромет. 2014.- 1009 с.; <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52>.
5. Школьник И. М. Региональная климатическая модель нового поколения для территории северной Евразии [Текст] / И. М. Школьник, С. В Ефимов // Труды ГГО. 2015. Вып. 576. С. 201-211.
6. Катцов В. М., Школьник И. М., Ефимов С. В. и др. Перспективные оценки изменений климата в российских регионах: детализация в физическом и вероятностном пространствах. М.: Метеорология и гидрология. 2017. № 7.С. 68-80.
7. The representative concentration pathways: an overview / D. P. van Vuuren J. A. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, et al. // Climatic Change, 2011. 109:5-31. DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.
8. Alexander L. V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. - Weather and Climate Extremes, 2016, vol. 11, pp. 4-16. 10.1016/j.wace .2015. 10. 007.
9. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики [Текст] / под общ. ред. Н. В. Кобышевой. – СПб.: 2008. - 336 с.
10. Хлебникова Е. И., Дацюк Т. А. Строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс. / В кн.: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации — М.: Росгидромет. 2014. С. 801–830.

11. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу [Текст] / под общ. ред. В. М. Катцова, Б. Н. Порфирьева. - М.: 2011. - 251 с.
12. Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Школьник И.М. Изменение режима атмосферных осадков на территории России: результаты регионального климатического моделирования и данные наблюдений. М.: Метеорология и гидрология. 2019. № 7. С. 5 - 16.
13. Катцов В.М., Школьник И. М., Павлова В. Н. и др. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть 2: Оценки климатических воздействий. // Труды ГГО. 2019. вып. 593. С. 6-52.
14. Инженерные изыскания для проектирования тепловых электрических станций. ВСН 34.72.111-92. Актуализирован 12.02.2016.
15. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций. ВНТП81 М., 1981.
16. СП ТЭС-2007. Свод правил по проектированию тепловых электрических станций. РАО «ЕЭС РОССИИ».
17. Ницис В.Э. Способ расчета статистических характеристик непрерывной продолжительности температурно-влажностных комплексов.// Труды ГГО, 1979. вып. 425. С. 47–50.
18. Пособие к СНиП 2.04.02-84. Проектированию градирен. Определение расчетных параметров атмосферного воздуха – М.: Центральный институт типового проектирования, 1989.
19. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. / под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб. 2008. - 336 с.
20. Ebinger J., W.Vergara. Climate Impacts on Energy Systems. Key Issues for Energy Sector Adaptation. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 2011. -224 p.
21. МГЭИК. Изменение климата 2014 г. Воздействия, адаптация и уязвимость. Вклад Рабочей группы II в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. 2014.- 40 с.
22. Калатузов В.А. Натурные исследования градирен и систем технического водоснабжения // Промышленная энергетика. 2014. № 10. С. 25–31.

23. Rademaekers K., van der Laan J., Boeve S., Wietze L. Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change. Final Report, Commission of the European Communities – Rotterdam, 2010.- 85 p.
24. Aivalioti S. Electricity Sector adaptation to heat waves. Sabin Center for Climate Change Law / Columbia Law School Research Paper, 2015. № 14-439. -44 p.
25. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Строительство. Транспорт. СПб.: Росгидромет, 2017.- 159 с.
26. Елистратов В.В., Кобышева Н.В., Сидоренко Г.И. (ред). Климатические факторы возобновляемых источников энергии. СПб.: Наука 2010. - 235с.
27. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме – М. 2014.- 58 с.
28. Как разработать климатический план города? Опыт Москвы. Базовые рекомендации по адаптации и снижению воздействия. Климатический форум городов России. М. 2017.- 44 с.
29. Гапо Е.Г., Пузаков В.С., Степанова М.В. Резервы и приоритеты теплоэнергоснабжения российских городов в современных условиях // Материалы открытого семинара “Экономика энергетики” 26 мая 2015 г. – М.: ИНП РАН. 2015. С. 3–92.
30. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М., 2016. – 104 с.
31. Правила устройства электроустановок. Издание 7. –М. 2002. – 330 с.
32. Давлетшин С.Г. Программный комплекс для создания специализированного массива данных «Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные) ТТТР» - Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019610537 от 11.01.2019.
33. Давлетшин С.Г. Программный комплекс для создания специализированного массива данных «Характеристики снежного покрова (ежедневные данные)» Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019610654 от 15.01.2019.
34. Давлетшин С.Г. Программный комплекс для создания специализированного массива данных «Маршрутные снегомерные съемки» - Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019610653 от 15.01.2019.

35. Разработка рекомендаций по адаптации строительной отрасли экономики применительно к сценариям изменения климата и формирование специализированных массивов метеорологической информации для создания электронного климатического справочника Смоленской области. Отчет о НИР по теме «Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь» - Государственный контракт № 169-ОК-Б/091703. Этап №2. 2018. – 111 с.
36. Определение требований ведущих отраслей экономики к климатическому обслуживанию / Отчет о НИР по теме «Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь»- Государственный контракт № 169-ОК-Б/091703. Этап №1. 2017. – 52 с.
37. Кулиныч А.Г., Завьялова Н.К., Масалева Л.С. Архив ТМ1-СУТКИ – основные метеорологические наблюдения в объеме суточного макета. Описание архива. Западно-Сибирский региональный вычислительный центр. 1986. – 38 с.
38. Кузнецова В.Н. Архив СУТКИ.76 – основные суточные данные (суточный макет ТМ1 за 1966-1976 гг.). Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1988. – 33 с.
39. Понимаш Е.И. Архив СУТКИ-ТМ1-77.83. Основные суточные данные. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1988. – 18 с.
40. Ковалев Н.П., Правосудько Т.П. Архив ТМСС. Текущая метеорологическая информация станций. Суточные выводы. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1988. – 75 с.
41. Ковалев Н.П., Правосудько Т.П. Архив ТМСМ. Текущая метеорологическая информация станций. Месячные выводы. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1987. – 163 с.
42. Метеорологический ежегодник по снежному покрову. Вып. 8 - М. (ежегодное издание).
43. Веселов В.М., Прибыльская И.Р. Технология АИСОРИ - URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения 10.10.2019).
44. Мамонтов Н.В. Описание метеорологического архива ВОСХОД режимно-справочного банка данных «Метеорология и климат». Обнинск. 1982. - 43 с.
45. Гусаров С.Д. и др. Архив ТММ1. Основные метеорологические наблюдения. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1983. – 35 с.
46. Ковалев Н.П., Правосудько Т.П. Архив ТМС. Текущая метеорологическая информация станций. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1987. – 118 с.

47. Список организаций государственной наблюдательной сети и их наблюдательных подразделений. - М.: Росгидромет. 2015. – 258 с.
48. Климатический справочник СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 8, часть I, том 1 - Л.,: 1953. – 480 с.
49. Климатический справочник СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 8, часть II, том 1 - Л.,: 1954. – 662 с.
50. Климатический справочник СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 8, часть V, том 1 - Л.,: 1959. – 298 с.
51. Климатический справочник СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 8, часть VIII, том 1 - Л.,: 1960. – 179 с.
52. Базы Роспатента по объекту интеллектуальной собственности - URL: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru# (дата обращения: 23.10.2019).