



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»  
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,  
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251  
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080  
office@spbstu.ru

03.03.2020 № НК-Д-274

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной работе  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого»,  
д.т.н., профессор,  
член-корреспондент РАН  
Сергеев В. В.



## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПбПУ) на диссертационную работу **Тюсова Григория Анатольевича** по теме: **«Климатические аспекты функционирования традиционных источников энергии в регионах России в условиях меняющегося климата»**, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальностям 25.00.30 – «Метеорология, климатология, агрометеорология», в диссертационный совет Д002.046.04 при федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт географии РАН».

**Актуальность темы диссертационной работы.** Энергетика является одним из наиболее климатозависимых секторов экономики. Современная энергетика претерпевает значительные изменения, что обусловлено многими факторами и вызовами. Необходима коренная модернизация энергетики на основе инновационных решений на разных уровнях организации. Но развитие энергетики требует времени. Энергетическая инфраструктура меняется очень медленно. Крупные электростанции и электросети имеют средний срок службы более двадцати лет. Поэтому важно планировать эти изменения, проводя долгосрочную энергетическую политику. Наблюдаемое в настоящее время изменение климата и необходимость адаптации к этому различных секторов энергетики должны быть важной составляющей долгосрочной энергетической политики.

Большое значение для адаптации к изменению климата имеет развитие климатического обслуживания экономики (включая энергетику) и социальной сферы. Для преодоления этой проблемы на III Всемирной климатической

001228

конференции было принято решение о создании Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО). Энергетика включена в число приоритетных областей ГРОКО в 2014 г. Рассматриваемые в данной работе отрасли топливно-энергетического комплекса являются доминирующими в производстве электроэнергии в России. Приоритетный характер исследований Г.А. Тюсова, сочетание фундаментальных и прикладных результатов делает его диссертационную работу актуальной.

**Диссертация соответствует паспорту научной специальности 25.00.30 – «Метеорология, климатология, агрометеорология», отрасль наук – географические науки:**

**В части формулы специальности:** “...содержится решение научной задачи, которая имеет важное значение для развития прикладной климатологии”.

**В части области исследования специальности:**

п.17 «Прикладная климатология – атмосфера и строительство, медицина, курортология, транспорт, лесоведение».

**Научная новизна полученных результатов.**

Результаты исследований, описанных в диссертации, обладают несомненной новизной.

1. Протестирован и апробирован программный продукт ClimPACT. Информация о результатах тестирования программы и рекомендации по ее улучшению передана в ВМО. ClimPACT использован для анализа влияния изменения климата на безопасность и эффективность работы тепловой и атомной энергетики России.

2. Выявлены наиболее значимые специализированные климатические индексы (3 индекса) по которым можно оценивать влияние климатических изменений на тепловую и атомную энергетику. Получены реальные оценки изменения этих индексов для тепловой и атомной энергетики на основе данных метеонаблюдений и результатов регионального климатического моделирования. Определены районы с наибольшими погодно-климатическими рисками при производстве электроэнергии на АЭС и ТЭС.

3. На основе статистических зависимостей между стоком и выработкой электроэнергии на ГЭС в створах гидроузлов получены оценки возможного климатообусловленного изменения выработки электроэнергии на ГЭС ООО «РусГидро» к середине XXI в.

4. Сформулированы предложения по адаптации энергетического сектора России к меняющимся климатическим условиям на основании полученных результатов исследования.

**Теоретическая и практическая значимость результатов для науки и производства.**

Научная значимость работы заключается в том, что представленная методика на основе использования специализированных индексов ClimPACT позволяет совместить данные метеонаблюдений и результаты климатического моделирования для выявления районов с наибольшими погодно-

климатическими рисками для атомной и тепловой энергетики. Полученные зависимости между характеристиками стока рек и выработкой электроэнергии на ГЭС дают возможность использовать выходные данные Региональной модели ГГО для оценок изменения безопасности и эффективности работы ГЭС в будущем.

Практическая ценность диссертационной работы состоит в возможности применения предложенных автором методов оценки воздействия климата на различные отрасли энергетики с привлечением данных климатического моделирования. Разработаны конкретные предложения по адаптации энергетического сектора России к меняющимся климатическим условиям.

Полученные результаты имеют большое практическое значение для разработки стратегии адаптации тепловой, атомной и гидроэнергетики РФ к наблюдаемым и ожидаемым в будущем климатическим изменениям.

**Обоснованность научных положений и выводов** работы подтверждается использованием проверенных и стандартизированных методов верификации исходных данных, моделирования и обработки результатов вычислительных экспериментов. Надежность результатов определяется проверенной и проанализированной информацией и подтверждается большим объемом выполненных вычислений по нескольким десяткам рядов наблюдений, а также сопоставлением результатов теоретических исследований с натурными данными ОАО «Русгидро». Численное моделирование выполнено на лицензионном программном обеспечении.

Степень достоверности результатов подтверждается корректностью поставленных задач, обоснованностью принятых допущений и адекватностью используемых при исследовании математических моделей и методов, использованием известного математического аппарата, апробацией результатов исследований.

#### **Публикации и апробация результатов диссертационной работы.**

По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, включая 4 статьи в журналах из перечня ВАК (1 статья в Web of Science и Scopus) и 4 работы опубликованы в материалах конференций. Отдельные результаты и разделы работы, а также диссертация в целом докладывались и обсуждались на сессиях Ученого Совета ГГО в 2014-2017 гг. (Санкт-Петербург), на конференции Института наук о Земле СПбГУ «Третьи ежегодные молодежные межвузовские чтения памяти И.Г. Москаленко» 27-28 ноября 2014 г., а также на курсах повышения квалификации климатологов УГМС Росгидромета в ФГБУ ГГО.

Результаты работы использованы при выполнении гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00063), а также НИОКР, выполняемых в ФГБУ ГГО.

#### **Содержание диссертации**

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 168 страницах и содержит 42 таблицы, 97 рисунков. Список литературы включает в себя 107 наименования, из них 30 на иностранных языках.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определен объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследования, описана научная новизна работы, раскрыта ее теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения выносимые на защиту.

**В первой главе** рассматривается использование климатической информации в электроэнергетической отрасли. Раскрыты методические подходы, описанные в отечественных и зарубежных исследованиях, их применение и практическая значимость для объектов энергетики. Дано описание различных систем охлаждения энергоблоков и климатических параметров, на которые опирается нормативно-правовая документация по их проектированию, строительству и эксплуатации.

**Во второй главе** на основе данных метеонаблюдений и результатов климатического моделирования выполнен анализ воздействия климатических изменений на функционирование атомных и тепловых электростанций. Для объективной интерпретации ежедневных данных по температуре воздуха и осадкам автором применен подход с использованием климатических индексов. Расчет индексов проведен в специализированной программе ClimPACT. Для решения поставленных задач диссертационного исследования используется три климатических индекса (CDD, HWD и 5TX5TN), характеризующие температурно-влажностные условия районов расположения электростанций. Объектами исследования выбрано 7 районов России с высокой плотностью АЭС и ТЭС. Анализировался период с 1950 по 2017 г. по наблюдаемым данным, прогнозные оценки сделаны с применением Региональной климатической модели России на середину 21 века.

Установлено, что наибольшие риски для систем охлаждения энергоблоков наблюдаются в Центрально-Черноземном регионе и Ростовской области. Практически для всех районов зафиксировано резкое увеличение экстремально жарких периодов (индекс 5TX5TN). Изменение двух других показателей (максимальной засухи и продолжительности волн тепла) имело разнонаправленную динамику с преобладанием к росту. Перспективные оценки изменения воздействия климата на АЭС и ТЭС показали существенное увеличение значений климатических индексов и как следствие возрастание рисков. Однако статистически достоверен такой прогноз только для температурных характеристик – индексы продолжительности самой длинной волны тепла и количества экстремально жарких периодов.

**В третьей главе** изучены климатические факторы, оказывающие влияние на гидроэнергетику. В качестве объектов исследования выбран ряд крупнейших ГЭС России: Саяно-Шушенская, Зейская, Бурейская, крупнейшие станции Волжско-Камского каскада. Важным прикладным аспектом в этой части работы является обобщение полученных результатов с учетом гидрологических сезонов, отличных для исследуемых водосборов. Выявлено увеличение годового стока, а также его значительное внутригодовое перераспределение – рост стока в зимний сезон. Прогнозы по изменению стока к середине 21 века почти для всех станций демонстрируют увеличение стока во все сезоны.

Ожидается сохранение тренда по увеличению зимних стоков, и статистическая достоверность таких прогнозов высока.

На основании имеющихся у автора статистических зависимостей между стоком и выработкой электроэнергии сделан прогноз по изменению выработки на исследуемых ГЭС к середине 21 века – для всех станций прогнозируется увеличение среднегодовых показателей.

Важным для гидроэнергетики результатом диссертационного исследования являются расчеты стоков редкой обеспеченности (1 и 0,01 %).

**В четвертой главе** описаны предложения по адаптации тепловой, атомной и гидроэнергетики к наблюдаемым и ожидаемым в среднесрочной перспективе изменениям окружающей среды. Опираясь на полученные результаты, автор рекомендует комплексный подход с применением технологических, поведенческих и институциональных решений для адаптации в отрасли тепловой и атомной энергетики. Для гидроэнергетики предлагается произвести пересмотр режимов эксплуатации гидротехнических сооружений, с учетом наблюдаемых в последние десятилетия и ожидаемых в среднесрочной перспективе изменений климатических параметров.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Все составные части диссертации связаны между собой и в то же время являются довольно самостоятельными разделами исследования. В целом диссертация Г.А. Тюсова представляется полезной и интересной работой, выполненной на актуальную тему. Она содержит ряд приоритетных результатов, раскрывает возможности климатического моделирования и его применения для решения практических задач в энергетике.

Диссертация написана достаточно ясно и хорошо оформлена.

Выводы, сформулированные в пяти пунктах, отражают основное содержание диссертационного исследования и соответствуют поставленным задачам. Автореферат полностью соответствует основным положениям диссертации.

#### **Замечания и рекомендации:**

1. При описании объекта исследований в числе прочих указаны крупные ГЭС. На наш взгляд, следовало бы более точно описать какие ГЭС относятся к крупным.

2. Для нормальной эксплуатации ТЭС и АЭС наиболее важно бесперебойное функционирование конечного поглотителя тепла, которым является атмосфера и водоем (пруд-охладитель). На основе полученной информации из 40 индексов ClimPACT автором был выбран необходимый для решения поставленных задач набор климатических индексов: максимальное годовое число последовательных сухих дней (CDD), продолжительность самой длинной волны тепла в году (HDD) и число периодов, когда последовательно отмечалось не менее 5 суток с максимальной и минимальной температурами выше 95% обеспеченности, рассчитанной для наиболее жаркой пятидневки (5TX5TN). На основе каких соображений были выбраны именно эти индексы из 40 регламентируемых ClimPACT ?

3. Строительство ГЭС изменило гидрологический режим естественного водотока. Вместо природной обусловленности стока, создана техническая система, которая формирует сток с учетом его регулирования для нужд энергетики, ирригации, водного транспорта и других целей. Насколько при климатическом моделировании стока являются значимыми для гидроэнергетических объектов эти трансформации?

4. При проведении климатического моделирования использованы два сценария RCP4.5 (слабое потепление) и RCP8.5 (сильное потепление)? Чем обоснован выбор этих сценариев? Насколько существующая ситуация соответствует этим сценариям?

5. На стр. 76 диссертации автор пишет: “увеличение стока в холодный период года, обусловленное возрастанием доли жидких осадков и частоты оттепелей из-за повышения температуры воздуха, приводит к выравниванию годового слоя стока. Это также способствует оптимизации режима работы ГЭС...”. О каком режиме идет речь? О суточном, недельном, сезонном, годовом или многолетнем?

6. В список мер по адаптации энергетики к изменениям климата целесообразно было бы включить пункт о влиянии на климат изменения структуры генерирующих мощностей на основе традиционных источников энергии на ближайшую и отдаленную перспективу.

7. В тексте имеются отдельные неточности и опечатки.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы.

### **Заключение по работе.**

Диссертационная работа Тюсова Григория Анатольевича «Климатические аспекты функционирования традиционных источников энергии в регионах России в условиях меняющегося климата» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и соответствующей паспорту специальности 25.00.30 – «Метеорология, климатология, агрометеорология».

Представленная работа по своей направленности, научной новизне, актуальности, методам исследования, достоверности полученных результатов, научной и практической значимости соответствует требованиям п.п. 9-14 “Положения о присуждении ученых степеней” (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 01.10.2018), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Тюсов Григорий Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальностям: 25.00.30 – «Метеорология, климатология, агрометеорология».

Отзыв подготовлен доктором технических наук, директором Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства ФГАОУ ВО “Санкт-Петербургский политехнический институт Петра Великого” Козинец Галиной Леонидовной.

Отзыв обсужден и принят на заседании Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО СПбПУ, протокол заседания №4 от 17 февраля 2020 г.

Директор высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, ФГАОУ ВО “Санкт-Петербургский политехнический институт Петра Великого”

доктор технических наук

Козинец Галина Леонидовна



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский политехнический институт Петра Великого”(ФГАОУ ВО СПбПУ),

Адрес: 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Тел. +7(812) 552-79-03

Сайт: [www.spbstu.ru](http://www.spbstu.ru), <https://ice.spbstu.ru>

e-mail: [office@spbstu.ru](mailto:office@spbstu.ru); [kozinets\\_gl@spbstu.ru](mailto:kozinets_gl@spbstu.ru)