

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

На правах рукописи



Кириллина Кюннэй Святославовна

**РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ
ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

25.00.30 - метеорология, климатология, агрометеорология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный руководитель: Доктор технических наук, Лобанов Владимир Алексеевич

Официальные оппоненты: Костяной Андрей Геннадьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Лаборатории экспериментальной физики океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва.

Горошкова Наталия Ивановна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Отдела гидрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный гидрологический институт», г. Санкт-Петербург.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск.

Защита состоится « ____ » _____ 2018 г. в ____ часов ____ минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. 8 (812) 633-01-82, 372-50-92. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Российского государственного гидрометеорологического университета.

Ваш отзыв на автореферат просим направить по адресу 192007, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, дом 79. Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д.212.197.01, Ученому секретарю.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м.н., доцент



Л.В. КАШЛЕВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Изменение климата и его последствия для окружающей среды, экономики и общества являются одной из наиболее актуальных научных проблем современности. Тот факт, что климат Земли меняется ни у кого не вызывает сомнений. Уже сейчас необходимо начать принимать соответствующие меры реагирования к наблюдаемым и прогнозируемым в будущем климатическим изменениям. Разработка и своевременное принятие подобных стратегий по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним комплексного характера – важное условие для благополучного развития регионов в условиях меняющегося климата. В будущем такие комплексные климатические стратегии должны стать неотъемлемым элементом региональных программ социально-экономического развития и программ развития отдельных секторов экономики любой страны мира.

В последнее время климат России, являясь частью глобальной климатической системы, испытывает очевидные изменения и все чаще становится объектом крупных международных научно-исследовательских проектов. Интерес, который вызывает территория нашей страны, объясняется не только ее размерами. Большая часть территории России находится в высоких широтах Северного полушария, где, согласно, данным наблюдений, в настоящее время происходят наиболее значительные изменения климата.

Существуют также основания считать, что происходящие под влиянием климата изменения криосферы, гидрологического цикла, растительности и т.п. на территории России могут оказаться климатически значимыми далеко за ее пределами.

Данное диссертационное исследование является первой попыткой сбора, обобщения и анализа имеющихся, но подчас разрозненных и несистематизированных данных о современных климатических изменениях и

их воздействию на различные секторы экономики, экосистемы и население Республики Саха (Якутия), крупнейшего региона России, отличающегося специфическими природными и климатическими условиями. В ходе исследования впервые была проведена оценка современных климатических изменений на территории республики, его комплексных проявлений и выделены приоритетные секторы экономики региона, нуждающиеся в практической реализации конкретных адаптационных мер к ним.

Актуальность темы исследования не вызывает сомнений, так как оно лежит в русле реализации разработанной Росгидрометом и утвержденной Президентом России Климатической доктрины РФ (п.44: «Реализация политики в области климата предполагает разработку на её основе федеральных, региональных и отраслевых программ и планов действий.»).

Целью диссертационной работы является разработка региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия), в которой учтены изменения климата и их воздействия на климатические индикаторы и даны стратегии по смягчению последствий изменения и адаптации к ним.

Фактически цель работы состоит в комплексном исследовании климатической «триады»:

- оценка современных и будущих изменений регионального климата;
- оценка уязвимости климатических индикаторов к изменениям;
- разработка мер для смягчения последствий.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе надо было решить следующие задачи:

- создать региональную базу данных для климатического моделирования с оценкой качества, однородности, восстановления пропусков наблюдений и приведения непродолжительных рядов к многолетнему одинаковому периоду;
- построить модели временных рядов температур воздуха и осадков в пунктах наблюдений и обобщить показатели нестационарности по территории Якутии с целью выделения областей, в которых проявляется современное изменение климата;

- определить наиболее подходящие физико-математические модели климата для территории Якутии и оценить будущие проекции норм температур воздуха и осадков до конца 21 века;
- исследовать динамику климатических индикаторов на примере числа и площадей лесных пожаров, температур почвы и характеристик максимального речного стока и дать их оценку на перспективу;
- разработать региональные меры смягчения последствий и адаптации к изменениям климата для экономики, инфраструктуры и населения Республики Саха (Якутия);
- сформировать макет региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия).

Соответствие диссертации паспорту специальности: тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология:

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

Научная новизна проведенного комплексного исследования современных изменений климата на территории Якутии состоит в:

- впервые сформированной региональной базе данных для научно обоснованного климатического моделирования на территории Республики Саха (Якутия), полученной на основе анализа однородности, стационарности, приведения непродолжительных рядов к единому многолетнему периоду;
- в установленных областях проявления климатических изменений и оценке их внутригодовой динамики на основе выполненного моделирования временных рядов и обобщения показателей нестационарности по территории Республики Саха;
- впервые полученных проекциях будущих норм температур воздуха и осадков для Якутии до конца 21 века на основе установленных наиболее эффективных моделей климата;

- впервые разработанной методике оценки региональных индикаторов изменения климата на примере лесных пожаров, температур почвы и максимального речного стока и их перспективной оценки для Якутии;
- разработанном макете региональной климатической программы, основанном на результатах выполненных исследований.

Теоретическая, научная и практическая значимость результатов:

- теоретическая значимость работы состоит в разработанной методике оценки современных и будущих изменений климатических характеристик и их климатических индикаторов;
- научная значимость проведенного диссертационного исследования заключается в установленных пространственно-временных закономерностях современных и будущих изменений климатических характеристик и климатических индикаторов на территории республики, и в оценке влияния полученных изменений на основные отрасли экономики;
- практическая значимость заключается в разработке макета региональной климатической программы, в котором на основании полученных результатов исследования изменений климата и его индикаторов дан анализ предполагаемых последствий изменения климата на экосистемы и экономику республики и предложены меры для смягчения последствий и адаптации к ожидаемым климатическим изменениям.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Качественная, однородная и наиболее достоверная региональная база климатических данных, разработанная для климатических исследований и моделирования на территории Республики Саха (Якутия).
2. Результаты комплексной оценки современных изменений климатических характеристик и их пространственное обобщение по территории республики.
3. Оценка проекций будущих климатических норм для территории Якутии, полученная на основе использования наиболее эффективных современных климатических моделей проекта СМIP5.

4. Результаты оценки уязвимости климатических индикаторов к изменениям климата в настоящем и будущем на основе разработанной методики оценки климатических индикаторов, учитывающей региональную специфику Якутии.

5. Предлагаемые меры для смягчения последствий климатических изменений и разработанный макет региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия).

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается достоверной климатической информацией, которая была заложена в статистический анализ и климатическое моделирование, применением объективного и эффективного статистического инструментария в аналитической части диссертационного исследования и согласованностью полученных результатов исследования.

Личный вклад автора заключается в:

- проведенном сборе данных по среднемесячным температурам воздуха и осадкам за весь период наблюдений на всех метеостанциях Якутии и данных по многолетним рядам климатических индикаторов, включая площади лесных пожаров, температуру почвы на глубинах и характеристики максимального речного стока;
- создании эффективной и качественной региональной климатической базы данных по температуре воздуха и атмосферным осадкам за период с начала метеорологических наблюдений на территории Якутии по 2016 г.;
- проведении статистического моделирования больших объемов климатической информации с помощью объективных, достоверных и эффективных статистических методов, широко применяющихся в зарубежной и отечественной науке, и научного анализа полученных результатов для современного периода и будущих проекций до конца 21 века;
- оценке современных и будущих изменений климатических индикаторов на примере лесных пожаров, весеннего половодья и температуры почвы на разных глубинах;

- разработке региональной климатической программы с помощью синтеза существующих методик для адаптации к проявлениям современного изменения климата на территории республики;
- подготовке научных публикаций в соавторстве с научным руководителем, а также с ведущими российскими и зарубежными учеными в рецензируемые научные журналы и представлении результатов исследований на различных научных конференциях и симпозиумах.

Апробация результатов. Основные результаты исследования, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на заседаниях Итоговой секции Ученого совета Метеорологического факультета РГГМУ в 2013–2017 гг. Результаты диссертационного исследования были представлены на 4^х республиканских (Республика Саха (Якутия)), 2^х всероссийских и 5^и международных конференциях, а также на круглых столах научного профиля и научных семинарах. Работа получила Грант Президента Республики Саха (Якутия) для лучших аспирантов технических и технологических ВУЗ-в из Якутии, обучающихся за пределами республики (ежемесячная доплата к республиканской стипендии в течение 2015–2016-о учебного года), грантовую поддержку Правительства Санкт-Петербурга для аспирантов ведущих ВУЗ-в и НИИ Санкт-Петербурга и Ленинградской области (в 2014–2015-м учебном году), Президента Российской Федерации для обучения и проведения научных исследований за рубежом (в 2014–2015-м учебном году). В итоге была пройдена 10-месячная стажировка (октябрь 2015 – июль 2016 гг.) в Научно-исследовательском центре по изучению адаптации к изменению климата в одном из ведущих университетов Японии, Университете Кэйо. Результаты стажировки были представлены на Международной конференции по инженерным и естественным наукам в Киото, Япония, где была получена премия за лучшую исследовательскую работу. В 2016–2017 гг. было получено два тревел-гранта для участия в международных научно-практических конференциях: в апреле 2017 г. – в совместной конференции Университета Аляски Фэйрбенкс и НАСА по изучению влияния изменения климата на

лесные пожары, и в августе 2017 г. в 21^м Международном гидрологическом симпозиуме, посвященном влиянию изменений климата на гидрологию северных рек.

Основные публикации по теме диссертации. По теме диссертации было опубликовано 18 научных работ, в том числе 5 публикаций в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5-и глав и заключения. Объем работы составляет 118 страниц и включает 30 рисунков и 39 таблиц. Список литературы состоит из 80 наименований, как российских, так и зарубежных авторов.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность д.г.н. Н.Е. Сердитовой и к.г.н. А.Н. Федорову и А.Н. Саввиновой за их ценные советы и рекомендации, полученные в ходе написания диссертации. За безвозмездное предоставление данных для исследования автор выражает благодарность ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и Департаменту по лесным отношениям Республики Саха (Якутия).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертационного исследования, описывается рассматриваемая проблема, ставятся основная цель и задачи диссертационной работы, обосновываются научная новизна и научно-теоретическая значимость проводимых исследований и определяются положения и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе приведена подробная оценка климатической политики России и существующих предпосылок для создания региональных стратегий адаптации к проявлениям современного изменения климата как теоретической

основы формирования региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия).

Раздел 1.1 диссертации посвящен характеристике природно-климатических и социально-экономических особенностей Республики Саха, которые были в дальнейшем положены в основу разработки макета климатической программы для республики.

Раздел 1.2 представляет собой обзор организационной деятельности в рамках проблемы современного изменения климата, где:

- были рассмотрены теоретические основы государственной климатической политики на национальном и международном уровнях;
- представлена характеристика основных принципов разработки национальной политики и мер в области климата в Российской Федерации;
- показана хронология принятия важных правительственных нормативных актов, направленных на реализацию мер в области смягчения изменения климата и адаптации к климатическим изменениям на территории России и дана их краткая характеристика с упором на важнейший документ – Климатическую доктрину Российской Федерации.

Раздел 1.3 является обзором основных результатов исследований современного изменения климата на территории Земли, России и Якутии на основе синтеза научных публикаций, посвященных данной проблеме. Более того, для учета региональной специфики были рассмотрены работы ведущих научных институтов Республики Саха по тематике диссертационного исследования.

Раздел 1.4 показывает результаты проведенного обзора по стратегиям адаптации к проявлениям современного изменения климата, включающий в себя:

- ознакомление с теоретическими и методическими положениями МГЭИК, посвященными разработке адаптационных стратегий к проявлениям современного изменения климата с приведением примеров стран-лидеров в этой области, а также основной терминологией МГЭИК;

- анализу национальной политики Российской Федерации в области адаптации к климатическим изменениям;
- оценке существующих препятствий для принятия эффективных адаптационных стратегий в России и представлению рекомендаций по их преодолению.

Раздел 1.5 является основополагающим и представляет собой ознакомление с предлагаемой методикой исследований для формирования региональной климатической программы для Якутии, основанной на:

- оценке современных региональных изменений климата и его проекций на будущее для Якутии;
- оценке уязвимости климатических индикаторов, связанных с различными отраслями экономики республики к климатическим изменениям в настоящем и будущем;
- научно-обоснованных рекомендациях по адаптации и смягчению последствий регионального изменения климата на примере Якутии.

В качестве основных климатических характеристик рассматривались среднемесячные значения температур воздуха и сумм месячных осадков практически на всех метеостанциях республики Якутия за период с начала наблюдений по 2014 г. (2016 г. – для отдельных расчетов). Полученные для них результаты стали основой оценки современного и будущего климата республики.

Вторая глава диссертации посвящена оценке современных изменений климата на территории Республики Саха (Якутия) и в ней последовательно представлены три основные части исследований:

- формирование однородных и качественных баз данных по температуре воздуха и осадкам для проведения эффективного статистического моделирования;
- статистическое моделирование временных рядов и анализ результатов в отдельных пунктах наблюдений;

- пространственное обобщение показателей нестационарности и анализ полученных закономерностей внутри года и по территории.

Для исследований была собрана практически вся имеющаяся информация по многолетним рядам среднемесячных температур воздуха и осадков на 96 метеостанциях на территории Якутии, местоположение которых приведено на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Расположение метеостанций на территории Якутии.

При формировании качественной и однородной базы данных для статистического моделирования были проведены следующие виды обработки информации:

- оценка однородности экстремальных величин в рядах наблюдений по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса;
- оценка однородности во времени (стационарности) по критериям Стьюдента и Фишера;
- восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов к единому многолетнему периоду;
- анализ качества восстановленных данных и формирование однородных многолетних рядов для статистического моделирования.

Основные выводы из проведенного этапа исследования состоят в следующем:

- случаев неоднородных экстремумов оказалось немного (2,6% по температуре и 0,6% для осадков) и они связаны с погрешностями данных и недостаточной продолжительностью рядов;
- случаев нестационарности средних значений и дисперсий больше (21.5% для температуры, причем в холодный период 12,6%, в теплый – 8,9% и 29,8% для осадков: 20,9% – в холодный, 8,9% - в теплый период) и они обусловлены как изменением климата для температуры, так и сменой регистрирующих приборов для осадков холодного периода года;
- в результате процедуры восстановления число лет непрерывных наблюдений увеличено с 70 до 130–140 для температуры и до 80–89 – для осадков;
- в восстановленных рядах осуществлена оценка однородности и отдельные неоднородные экстремумы исключены из рядов для дальнейшего климатического моделирования.

Статистическое моделирование временных рядов включало определение параметров трех основных видов моделей: стационарная выборка и две альтернативные нестационарные модели: линейного тренда и ступенчатых изменений. Показателем эффективности нестационарной модели являлось стандартное отклонение ее остатков по отношению к стандарту остатков модели стационарной выборки. И если относительная разность превышала 10%, то нестационарная модель считалась эффективной, а если дисперсии остатков нестационарной и стационарной модели отличались по критерию Фишера – то и статистически значимой.

Подобное моделирование было проведено для рядов наблюдений разной продолжительности: начиная с начала 20 века и заканчивая последним периодом с 1960 года для оценки устойчивости во времени параметров моделей. Показатели эффективности нестационарных моделей, рассчитанные для каждого месяца и каждой метеостанции, были обобщены по территории Якутии с целью установления областей и месяцев, в которых проявление

современных изменений климата наиболее существенно. В результате проведенного моделирования получены следующие результаты:

- многолетние ряды среднемесячных температур не являются стационарными и процент нестационарных рядов увеличивается в последнее время;
- модель ступенчатых изменений примерно в два раза эффективнее для нестационарных рядов температур, чем модель линейного тренда, и рост температур относится к 1960–1980-м гг.;
- во внутригодовом распределении нестационарности имеют место два максимума: в переходный период от зимы к лету (апрель-июнь) и в начале зимнего периода (октябрь-ноябрь);
- территориально весенний и осенний максимумы нестационарности располагаются в разных частях территории Якутии: весенне-летний – на юге, осенне-зимний – на северо-востоке;
- осадки более стационарны, чем температура, и нестационарность проявляется в основном в месяцы холодного периода года (декабрь-февраль);
- пересчет моделей с учетом новых данных 2014–16 гг. полностью подтвердил полученные ранее выводы.

В качестве примера на Рисунке 2 приведены пространственные обобщения показателей нестационарности в месяцы весеннего и осеннего максимумов.

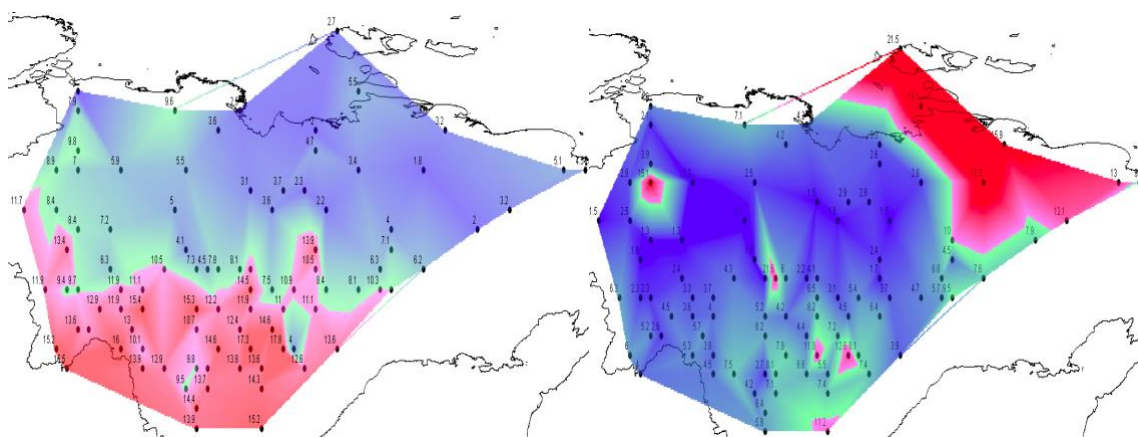


Рисунок 2 – Пространственное распределение показателей нестационарности модели ступенчатых изменений ($\Delta_{стун}$ в %) для среднемесячной температуры июня (слева) и октября (справа) за период 1960–2013 гг. (пределы изменения $\Delta_{стун}$ по цветам: фиолетовый – 0–5,9%; розовый – 6,0–9,9%; красный > 10,0%)

В третьей главе диссертации дана оценка сценарных значений норм температур воздуха и осадков за три периода 21 века: с 2011 г. по 2100 г. Для решения этой задачи были привлечены данные физико-математического моделирования проекта CMIP5 по шести климатическим моделям и трем сценариям RCP: 2.6, 4.5 и 8.5, а также результаты исторического эксперимента с 1850 по 2005 гг. В качестве наблюдений выбраны многолетние ряды на пяти метеостанциях, характеризующих разные части Якутии: Верхоянск (север), Якутск (центр), Олекминск (юг), Вилюйск (запад) и Усть-Мая (восток). Прежде всего, осуществлено сравнение норм температур воздуха и осадков в пунктах наблюдений и данных исторического эксперимента за разные периоды времени с целью выбора наиболее эффективной климатической модели для рассматриваемой территории. Пример отклонений норм смоделированной температуры по отношению к фактически наблюдаемой для метеостанции Олекминск показан на Рисунке 3 за месяцы основных сезонов года и за разные периоды осреднения.

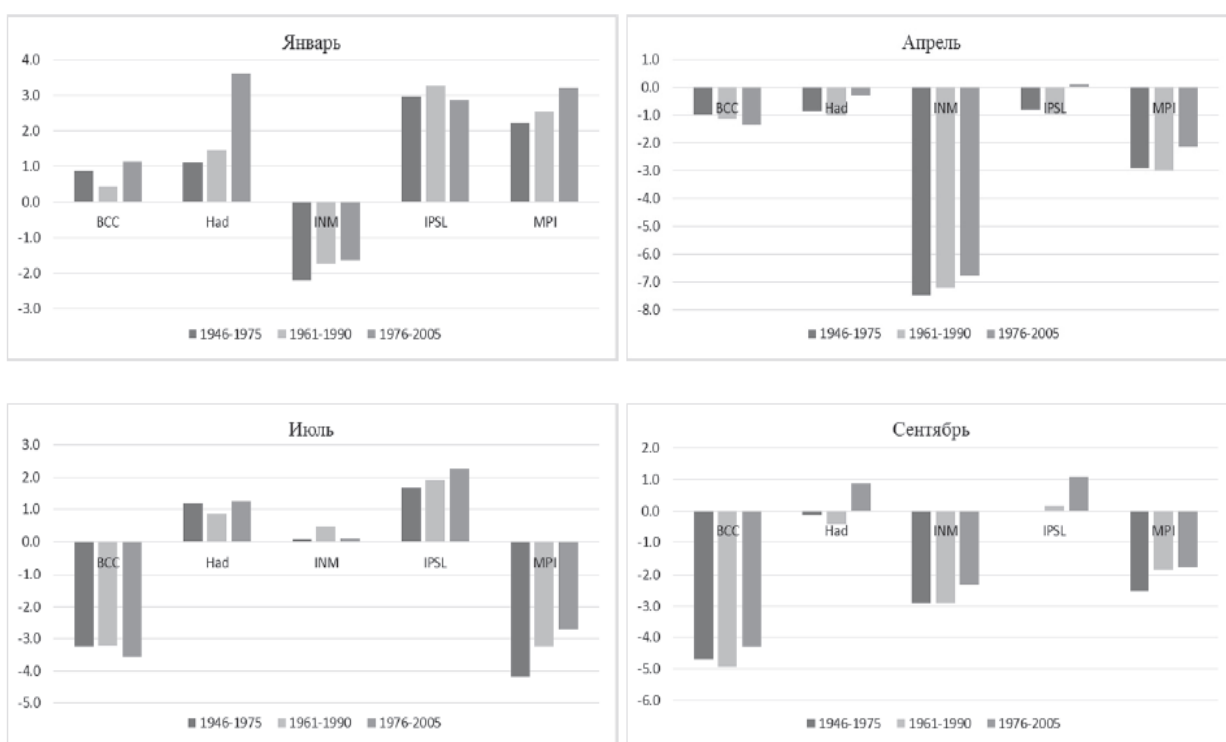


Рисунок 3 – Отклонения норм расчетной температуры по моделям от фактически наблюдаемой на метеостанции Олекминск за совместный период (исторический эксперимент)

Проведенные исследования для каждой метеостанции и каждого месяца позволили выбрать наиболее эффективную климатическую модель при наименьших отклонениях норм, которая была использована для оценки будущих сценарных значений. Получено, что эффективные модели для разных метеостанций и сезонов отличаются, но наиболее эффективной является английская модель HadGEM2 (в 50% случаев), затем российская INM (в 25%) случаев и французская IPSL (в 20% случаев).

В качестве примера в Таблице 1 приведены полученные сценарные оценки для метеостанции Якутск.

Таблица 1 – Сценарные оценки изменения норм температур воздуха на метеостанции Якутск до конца 21 века по отношению к норме за период 1976-2005 гг. в °С

Сценарий	Периоды, месяцы											
	2011–2040 гг.				2041–2070 гг.				2071–2100 гг.			
	I	IV	VII	IX	I	IV	VII	IX	I	IV	VII	IX
RCP2,6	0,6	1,7	–	0,5	1,9	2,1	–	0,4	2,4	2,0	–	0,7
RCP4,5	2,0	1,1	0,1	0,4	4,3	2,5	0,9	0,9	5,4	3,0	1,2	1,6
RCP8,5	1,4	1,3	-0,3	0,1	4,5	3,4	1,2	1,6	8,2	6,1	2,4	4,4

По выполненным исследованиям в данной главе получены следующие результаты:

- наибольший рост температуры следует ожидать зимой до 4–6°С в последней трети XXI века по среднему сценарию RCP4.5, хотя по самому неблагоприятному сценарию RCP8.5 рост температур может быть до 9–10°С и даже до 17°С на метеостанции Верхоянск;
- рост температур в другие сезоны и в конце XXI века по RCP4.5 может составлять от 1.2°С до 5.1°С (в среднем 2–3°С, т.е. в два раза меньше, чем зимних);
- закономерности будущего потепления по территории (если исключить метеостанцию Верхоянск как аномальную) состоят в том, что в южной, центральной и восточной частях республики следует ожидать меньшего

потепления, чем в северной и западной примерно на 4-8°C зимой и на 2-3°C в теплый период года;

- в целом по всей территории Якутии предполагается рост осадков зимой и осенью в пределах от 10 до 60%. Наибольший рост количества осадков ожидается в летний период и на некоторых станциях количество осадков может увеличиться в два раза, хотя надежность сценарных оценок осадков много ниже, чем температур воздуха. При этом для станции Вилюйск в Западной Якутии ожидается значительное снижение количества осадков в летний период, что может увеличить риск лесных пожаров в данном районе.

В четвертой главе диссертации выполнена оценка уязвимости климатических индикаторов к изменениям в настоящем и будущем. Разработанная методика оценки включает в себя исследование современных изменений климатических индикаторов, установление зависимостей между климатическими индикаторами и климатическими характеристиками (температурой воздуха и осадками) и определение будущих значений климатических индикаторов по сценарным оценкам климатических характеристик.

В диссертации рассматривались три группы климатических индикаторов, имеющих первоочередное значение для ведущих отраслей экономики республики:

- температура почвы на различных глубинах, которая связана с температурой воздуха и влияет на оттаивание вечной мерзлоты, что важно в различных отраслях строительства, горнодобывающей промышленности, сельском хозяйстве;

- число и площади лесных пожаров, которые могут увеличиваться за счет увеличения температуры и уменьшения осадков в пожароопасный период и влияют как на лесное хозяйство республики, так и сами по себе являются опасным явлением;

- максимальные расходы и уровни воды весеннего половодья, которые могут увеличиваться за счет повышения температуры в период половодья и сумм

твердых осадков и напрямую влияют на динамику вырабатываемых гидроэнергетических ресурсов, связаны с затоплением территории и влиянием на речные экосистемы.

В результате оценки климатических индикаторов были получены следующие выводы:

- дисперсия площадей пожаров возросла с конца 20 – начала 21 века в центральных и юго-восточных лесничествах Якутии, что отразилось и на росте средних площадей пожаров;
- полученные эмпирические зависимости площадей пожаров прямо пропорциональны росту температур и обратно пропорциональны уменьшению осадков в месяцы теплого сезона года, и дают увеличение площадей пожаров на будущий период;
- температуры почвы выросли ступенчато в среднем на $1,0^{\circ}\text{C}$ в конце 1970-х – начале 1980-х гг. и, главным образом, в центре и на юге республики, причем, чем ближе к поверхности, тем эти изменения больше, а на глубине в 3,2 м температура стала превышать нулевые отметки, что является индикатором оттаивания мерзлоты;
- установленные эмпирические зависимости, связывающие температуры почвы на разных глубинах и с температурой воздуха, показывают рост температур почвы на $0,1-0,3^{\circ}\text{C}$ до конца 21 века, что приведет к оттаиванию мерзлоты на глубине 3,2 м;
- влияние изменения климата на гидрологический отклик пока не наблюдается за исключением отдельных случаев, которые могут быть обусловлены локальными причинами, характерными для изменения уровня воды.

По аналогичной методической схеме, включенной в региональную Климатическую программу, может быть выполнено исследование и других климатических индикаторов.

В пятой главе диссертации проведенные исследования были направлены на разработку перечня мероприятий для адаптации и снижения

последствий возможного негативного изменения климатических индикаторов, а также на оценку возможного ущерба от негативных последствий изменения климатических индикаторов, если адаптационные меры не проводить.

Для каждой из основных отраслей экономики Якутии (строительство, гидроэнергетика, сельское и лесной хозяйство, здравоохранение) были представлены возможные позитивные и негативные влияния изменений климатических факторов и климатических индикаторов. Так, вероятный рост летних температур и снижение осадков в Западной Якутии окажет неблагоприятное влияние на увеличение риска пожаров и продолжительности пожароопасного сезона, что даст небольшой рост в площади пожаров и требует принятие таких мер по адаптации как:

- реализация комплексной программы по охране лесов;
- обеспечение пожарной безопасности и совершенствование дистанционного оперативного мониторинга;
- прогнозирование метеорологических условий пожароопасного сезона.

В сельском хозяйстве рост температур и осадков позволит расширить посевные площади. В строительстве оттаивание вечной мерзлоты потребует разработку мер по минимизации рисков от разрушения существующих зданий и сооружений и принятие новых технических регламентов по учету изменяющихся условий.

Закономерным итогом проведения всех стадий исследования стал разработанный развернутый макет Региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия), включающий в себя как перечень методик, необходимых мероприятий, так и конкретные примеры реализации предлагаемых методик. Макет республиканской климатической программы является документом, включающим пять основных глав:

Глава 1. Определение проблем, возникающих вследствие изменения климата, и предварительная оценка вызываемого им ущерба.

Глава 2. Определение территорий, на которые будут оказывать воздействие проблемы и опасности, сопряженные с изменением климата (по результатам проведенных в диссертации исследований).

Глава 3. Воздействие на инфраструктуру и ключевые отрасли хозяйства региона (по данным диссертационного исследования).

Глава 4. Экономическая оценка, которая представляет собой оценку потенциального воздействия изменения климата на республику в целом.

Глава 5. Приоритетные адаптационные меры.

В заключении сформулированы важнейшие результаты и положения, полученные в ходе диссертационного исследования, а именно:

1. На основе проведенного анализа однородности, стационарности, восстановления пропусков и увеличения продолжительности рядов наблюдений сформирована региональная база данных для климатического моделирования.

2. На основе моделирования временных рядов установлены пространственно-временные закономерности проявления современных климатических изменений на территории Республики Саха (Якутия), состоящие в том, что вклад нестационарности возрос в последнее время и весенне-летний максимум нестационарности наблюдается на юге, а осенне-зимний – на северо-востоке.

3. Установлено, что наиболее подходящей климатической моделью для территории Якутии является модель HadGEM2, а наибольший рост температур следует ожидать зимой до 4–6°C в последней трети XXI века по сценарию RCP4.5 причем на севере, а в остальные периоды года – до 2–3°C. В целом по всей территории Якутии в будущем произойдет рост осадков: зимой и осенью в пределах от 10 до 60%, а в летний период на некоторых станциях количество осадков увеличится в два раза, хотя надежность перспективных оценок осадков много ниже, чем температуры воздуха.

4. Анализ динамики климатических индикаторов показал, что дисперсия площадей лесных пожаров возросла и в будущем средние площади пожаров

увеличатся еще на 1–2%; температуры почвы также растут и еще могут увеличиться на 0,1–0,3°C, что приведет к оттаиванию вечной мерзлоты на глубинах ниже 3 м, а характеристики максимального речного стока пока неизменны.

5. Разработаны региональные меры смягчения последствий и адаптации к изменениям климата для экономики, инфраструктуры и населения Республики Саха (Якутия).

6. Сформирован макет региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия).

Публикации соискателя по теме диссертации.

В изданиях из перечня ВАК:

1. Кириллина, К.С. Современные тенденции изменения климата Республики Саха (Якутия). Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета №30. Научно-теоретический журнал. – СПб. : РГГМУ, 2013. – 222 с., с.69–77.

2. Кириллина, К.С., Лобанов, В.А. Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории Республики Саха (Якутия). Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета №38. Научно-теоретический журнал. – СПб. : РГГМУ, 2015. – 276 с., с.137–151.

3. Кириллина, К.С., Лобанов, В.А. Оценка современной изменчивости атмосферных осадков на территории Республики Саха (Якутия). Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 39. Научно-теоретический журнал. – СПб. : РГГМУ, 2015. – 250 с., с.74–86.

4. Кириллина, К.С., Лобанов, В.А., Сердитова, Н.Е. Оценка будущего климата Республики Саха (Якутия). Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 40. Научно-теоретический журнал. – СПб. : РГГМУ, 2015. – 298 с., с.113–126.

5. Лобанов, В.А., Кириллина, К.С. Отклик климатических индикаторов на современное потепление климата в Республике Саха (Якутия). Научный журнал «Географический вестник Пермского университета». – Пермь: 2017. – №4 (43) – с.112–122.

Другие публикации за период написания диссертации:

1. Кириллина, К.С. Влияние потепления климата на экосистемы Республики Саха (Якутия). Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием 11–13 апреля 2013 г. Секции 1-4. Под редакцией Л.В. Николаева. – Нерюнгри: Типография «Печатный двор», 371 с., с.140–143.
2. Кириллина, К.С. Изменение климата Республики Саха (Якутия) в XX–XXI вв. Современные проблемы и будущее геокриологии: тезисы докладов III^{го} Всероссийского научного молодежного геокриологического форума с международным участием, посвященного 140-летию М.И. Сумгина, 100-летию основания Отделения Русского географического общества в Республике Саха (Якутия), 150-летию В.И. Вернадского и 150-летию В.А. Обручева (24 июня – 13 июля 2013 г., Якутск, Россия)/ Российская академия наук, Сибирское отделение, ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2013. – 84 с., с.27–28.
3. Кириллина, К.С. Тенденции изменения климата Республики Саха (Якутия). Влияние изменений климата на природные процессы криолитозоны// Вопросы географии Якутии. Вып. 11/ Ответственные редакторы А.Н. Федоров, Р.Н. Иванова. – Якутск: Издание «СМИК-Мастер», 2013. – 182 с., с.115–121.
4. Кириллина, К.С. Тенденции современных изменений температуры воздуха в Арктической зоне Якутии. Молодежь в инновационном развитии Арктики. Сборник материалов круглого стола молодых исследователей

Якутии. 19 мая 2014 г., Санкт-Петербург/ Научный редактор О.А. Лазебник. – Спб.: Изд-во ВВМ, 2014. – 471 с., с.311–314.

5. Кириллина, К.С. Пути сохранения устойчивого развития арктических народов в условиях меняющегося климата. Молодежь в инновационном развитии Арктики. Сборник материалов круглого стола молодых исследователей Якутии. 19 мая 2014 г., Санкт-Петербург/ Научный редактор О.А. Лазебник. – Спб.: Изд-во ВВМ, 2014. – 471 с., с.365–369.

6. Kirillina, K.S. Modern tendencies of air temperature changes in the Arctic zone of Yakutia. Proceedings of IVth International conference «The role of permafrost ecosystems in a changing climate» (On August 5-8, 2014). – Yakutsk, 2014.

7. Сердитова, Н.Е., Кириллина, К.С. Обзор современного состояния и перспективных подходов к проблеме адаптации к изменению климата в Российской Федерации. Вестник ТвГУ. Серия «География и экология». – 2015. – №2. – с.22–32.

8. Кириллина, К.С. Арктика и развитие Арктической зоны. Сборник эссе «Арктика и развитие Арктической зоны» по результатам работы Международного молодежного форума «Экспедиция Арктика», под редакцией ФГБОУ «МИИГАиК».

9. Кириллина, К.С. Разработка региональной стратегии адаптации экономики, инфраструктуры и населения Республики Саха (Якутия) к проявлениям современного изменения климата. Двадцатая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов: Сборник тезисов – СПб: Изд-во СПбГУПТД. – 2015. – 220 с., с.109.

10. Kirillina, K., Goumehei, E., Yan, W. GIS-mapping of forest fires as climate change indicator on North Russia: Case study of the Republic of Sakha (Yakutia). Proceedings of Third International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS) 2016, Summer Session, pp.647–662.

11. Kirillina, K.S., Goumehei, E., Yan, W., Serditova, N.E. Effects of Weather and Climate on Forest Fire Behavior: Case study of the Republic of Sakha (Yakutia),

Russia, Proceedings of the NASA Workshop and Conference «Opportunities to Apply Remote Sensing in Boreal/Arctic Wildfire Management and Science», Alaska Fire Science Consortium, 2017. – 25 p., pp.8–9.

12. Kirillina, K.S., Lobanov, V.A. and Yan, W. Climatic Changes in the Territory of Yakutia and Their Influence on Forest Fires and Maximum Discharges and Water Levels of Snowmelt Floods. Cold-region hydrology in a non-stationary world. Proceedings of the 21st Northern Research Basins Symposium and Workshop. – Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. – Yakutsk: Melnikov Permafrost Institute Press, 2017. – 180 p., pp.50–57.

13. Лобанов, В.А., Кириллина, К.С., Тошакова, Г.Г., Шукри, О.А., Маммедов, С., Битсумани, Г. Региональные изменения климата: методы оценки, модели, результаты. Сборник материалов Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: Научные и образовательные достижения и перспективы развития» к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. 19–20 декабря 2017, Санкт-Петербург.