

ОТЗЫВ

на диссертационную работу **Абдрасаковой Айзады Байышбековны** на тему **«Математическое моделирование регионального климата для отдельных областей Кыргызстана»** на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации. В условиях глобального потепления особенно остро встаёт необходимость детального изучения региональных климатических изменений, что позволяет оценивать их последствия и разрабатывать эффективные меры адаптации. В данной диссертационной работе исследуются актуальные вопросы, связанные с изменением климата в Кыргызстане, а также с необходимостью прогнозирования его влияния на ключевые сферы жизнедеятельности общества и экономики.

Основными показателями изменения климата принято считать изменения средней температуры воздуха, осадков и эмиссии углекислого газа, которые взаимно не коррелируются.

К настоящему моменту на территории Кыргызской Республики температура воздуха за последнее столетие повысилась на $0,8^{\circ}\text{C}$ и ожидается, что в Центрально-азиатском регионе среднегодовая температура повысится в среднем на 2°C к 2020 году и с 4°C до 5°C к 2100 г.

Прогнозируется, что в Кыргызстане будет наблюдаться снижение годового стока на 12% к 2020 г. с потенциальным трехкратным увеличением к 2050 г. Эти изменения приведут к увеличению периодов засух, аномальной жары и, в конечном итоге, потерь урожая.

По прогнозам, летний диапазон суточных температур увеличится, что свидетельствует о значительном повышении максимальных температур по сравнению с минимальными. Почти 1/3 площади ледников в Центрально-азиатском регионе исчезло с 1930 года. Поскольку ледники обеспечивают значительную часть стока воды в основные реки Центральной Азии, потеря этих ледников имеет серьезные последствия для будущего Кыргызской Республики. Прогнозируемое значительное сокращение площади ледников окажет серьёзное влияние на водные ресурсы страны.

К сожалению, конкретные данные о выбросах CO_2 в Кыргызстане за последние годы в открытом доступе ограничены. Однако, согласно Национальному кадастру выбросов и поглощений парниковых газов Кыргызской Республики за период 1977–2022 годов, транспортный сектор является крупнейшим источником выбросов CO_2 в стране, на который приходится более половины годового объема выбросов. Например, на Бишкекскую ТЭЦ и котельные приходится более трети годового объема выбросов CO_2 . Сжигание угля в жилом секторе также является значительным источником выбросов CO_2 , хотя и не основным по сравнению с PM2. В последнее время появление майнинг ферм в стране также вносят свой значительный вклад в эмиссию выбросов.

Важной задачей современной климатологии является разработка точных

и надежных математических моделей, позволяющих анализировать и прогнозировать климатические процессы на региональном уровне. В условиях ограниченной сети метеорологических наблюдений в горных районах Кыргызстана математическое моделирование становится ключевым инструментом для восполнения пробелов в данных, повышения точности прогнозов и разработки сценариев будущего климатического развития. Применение таких моделей позволяет не только анализировать динамику температуры, осадков и влажности, но и прогнозировать потенциальные изменения климата с учётом различных социально-экономических сценариев.

В данной диссертации обоснована необходимость использования современных методов климатического моделирования для прогнозирования рисков и адаптации ключевых секторов экономики.

Кроме того, представленное исследование имеет не только теоретическую, но и значительную практическую ценность. Его результаты могут быть использованы государственными и международными организациями при разработке стратегий адаптации к изменению климата, планировании мер по снижению климатических рисков и управлению водными ресурсами. Данные, полученные в ходе исследования, являются важной основой для принятия решений в сферах градостроительства, энергоснабжения и сельского хозяйства, а также могут быть полезны для прогнозирования и предотвращения природных катастроф, таких как засухи, наводнения и оползни.

Таким образом, тема диссертации является актуальной как с научной точки зрения, поскольку способствует развитию методов регионального климатического моделирования, так и с практической, так как её результаты обладают значительным прикладным значением для обеспечения устойчивого развития Кыргызской Республики в условиях меняющегося климата.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является разработка и применение математических моделей для анализа и прогнозирования климатических параметров (средней температуры воздуха, уровня CO_2 и осадков) в отдельных регионах Кыргызстана на основе современных методов машинного обучения и численного моделирования.

В рамках достижения поставленной цели нами выделены следующие частные задачи исследования:

1. Провести сравнительный анализ и прогнозирование среднемесячной температуры воздуха в отдельных регионах Кыргызстана на основе временных рядов с использованием методов машинного обучения;
2. Осуществить анализ динамики и прогнозирование выбросов углекислого газа (CO_2) в атмосферу с учетом климатических и антропогенных факторов;
3. Разработать математические модели для описания процессов переноса загрязняющих веществ в атмосфере, включая уравнение Навье-Стокса для моделирования движения выбросов и уравнение переноса примесей с учетом наличия препятствий;
4. Осуществить расчет траекторий распространения загрязняющих веществ в атмосфере с учетом турбулентных эффектов и наличия препятствий,

используя методы вычислительной гидродинамики в программном комплексе ANSYS Fluent;

5. Выполнить численное моделирование процессов диффузии загрязняющих веществ в атмосфере от точечного источника с использованием программного комплекса ANSYS CFX, учитывая влияние турбулентных процессов и аэродинамических факторов;

6. Провести анализ и прогнозирование среднемесячных сумм осадков за последние 100 лет по данным метеорологических наблюдений, используя модели временных рядов и методы машинного обучения;

7. Выполнить численный расчет фильтрации потоков жидкости в пористую среду с учетом разрыва пористости для оценки гидродинамических процессов, влияющих на климатическую систему региона.

Научная новизна полученных результатов. Разработана математическая модель прогнозирования среднемесячной температуры воздуха, позволяющая оценивать изменения температуры до $1,6^{\circ}\text{C}$, основанная на нейронных сетях и анализе данных за 100-летний период (1921–2021 гг.); выполнен прогноз динамики выбросов углекислого газа (CO_2) и общих трендов парниковых газов (ПГ) за 1977–2022 гг., проведена аппроксимация выбросов ПГ до 2050 г.; получена математическая модель турбулентного потока дыма при наличии препятствий на пути его распространения от точечного источника, разработанная с использованием программного комплекса ANSYS Fluent; разработана модель диффузионного рассеивания дымовых выбросов в атмосферу с использованием программного комплекса ANSYS CFX, учитывающая динамические характеристики потока; применено уравнение потока энергии для моделирования диффузионного рассеивания дымовых выбросов в атмосфере от точечного источника; получены количественные зависимости скорости и дальности распространения дымовых потоков от направления и скорости ветра, что позволяет более точно учитывать атмосферные условия при прогнозировании загрязнения воздуха; проведен анализ среднемесячных осадков за 1921–2021 гг., разработана модель прогнозирования среднемесячных сумм осадков до 2040 г. с учетом региональных климатических особенностей Кыргызстана; выполнены численные расчеты фильтрации распространения потока жидкости в пористую среду с учетом разрыва пористости, что позволяет учитывать гидродинамические процессы в неоднородных пластах, влияющие на климатическую систему.

В ходе диссертационного исследования разработаны и применены математические модели для анализа и прогнозирования климатических параметров в отдельных регионах Кыргызстана, а также выбросов загрязняющих веществ и процессов тепловлагопереноса в пористых средах.

Проведенный анализ климатических данных за последние 100 лет показал, что в регионе наблюдается устойчивая тенденция к повышению температуры воздуха, что подтверждается результатами моделирования с использованием нейронных сетей. Прогнозирование среднемесячной температуры воздуха с применением моделей LSTM, XGBoost продемонстрировало высокую точность и обобщающую способность, что

