

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Агрофизический научно-исследовательский
институт»

Ю.В. Чесноков

«05» сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Агрофизический научно-исследовательский институт» на диссертационную работу Ци Дунфан «Инвестиционная привлекательность и экологическая безопасность в Китае и Юго-Восточной Азии: эмпирические модели и анализ данных», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации и соответствие специальности. В данном исследовании с помощью статистических методов и методов машинного обучения рассматриваются экономические и экологические проблемы регионов, которые являются ключевыми факторами, определяющими общий ход развития региона: экономические факторы определяют высоту развития региона, а экологические факторы — его устойчивость. В области исследований регионального развития это явно необходимо, так как результаты данного исследования имеют важное практическое значение для разработки стратегий регионального развития и оптимизации инвестиционного планирования. Таким образом, в исследовании используется комплексный подход, объединяющий традиционные статистические методы и современные методы машинного обучения для анализа и прогнозирования экономических и экологических процессов. Кроме того, проведено углубленное исследование интерпретируемости "черных ящиков" моделей, чтобы повысить их прозрачность и надежность в практическом применении.

Таким образом, тема диссертационной работы Ци Дунфана является, несомненно, актуальной.

Содержание диссертации. Диссертация Ци Дунфана состоит из 200 страниц (на русском языке) и включает введение, пять глав, заключение и список литературы. В данной работе применяются статистические методы и методы машинного обучения для решения важных региональных проблем — экономических и экологических. Среди используемых методов: поэтапный регрессионный анализ, кластерный анализ (статистические методы), нейронные сети (ANN, RNN и другие) и ансамблевые модели (XGBoost, LightGBM и др.), которые позволяют оценить точность и тенденции различных моделей.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, изложены цели и научная новизна исследования, а также представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации «Анализ инвестиционной привлекательности с использованием множественной линейной регрессии: всестороннее исследование выявления ключевых

факторов для устойчивого экономического развития» состоит из четырех разделов. В этой главе сначала проводится моделирование и анализ инвестиционной привлекательности с помощью множественной линейной регрессии, а затем с помощью кластерного анализа определяются наиболее значимые факторы воздействия (такие как доход на душу населения). Основное внимание в данной главе уделяется выявлению факторов, влияющих на инвестиционные проблемы в Восточной и Юго-Восточной Азии, и построению соответствующих моделей.

Во **второй главе**, на основе данных из первой главы, используется большее количество данных и применяется кластерный анализ для разделения всех регионов на четыре группы. Для каждой группы проводится моделирование и анализ наиболее значимых факторов. Исследование показало, что для экономически развитых регионов важным фактором является стоимость основных средств, тогда как для экономически менее развитых регионов ключевым фактором выступает доход на душу населения. Построенные модели, адаптированные для различных регионов, демонстрируют более высокое соответствие данным и улучшают показатели их производительности.

Третья, четвертая и пятая главы посвящены исследованию качества воздуха. В **третьей главе** с помощью множественной линейной регрессии были построены различные модели для каждого года, описывающие качество воздуха. Затем метод поэтапной регрессии применялся для отбора основных факторов, влияющих на качество воздуха, среди которых наиболее значимым оказался SO₂.

В **четвертой главе** анализируется прогноз качества воздуха с использованием семи моделей нейронных сетей (ANN, RNN, LSTM, GRU, Bi-RNN, Bi-LSTM, Bi-GRU) для временных рядов. Результаты анализа показали, что модель Bi-RNN обладает наибольшей точностью среди всех моделей (то есть имеет наименьшее значение MSE и наибольшее значение R²), а также вторым по значимости показателем времени вычислений. Итоги исследования демонстрируют, что все семь моделей обладают отличной прогностической способностью, а их предсказания в целом соответствуют реальным тенденциям данных.

В **пятой главе** используются три ансамблевые модели для прогнозирования качества воздуха на том же наборе данных. Результаты прогнозирования показали, что LightGBM обладает наивысшей точностью и эффективностью, что делает её оптимальной моделью для прогнозирования качества воздуха. Поскольку модели машинного обучения являются "черными ящиками", для лучшего анализа данных использовались значения Shapley для повышения интерпретируемости моделей. Анализ показал, что наиболее значимым фактором является PM₁₀. Кроме того, было исследовано взаимное влияние факторов. Для PM₁₀ влияние CO на предсказательную способность PM₁₀ варьируется: до достижения уровня PM₁₀ в 200, более низкий уровень CO ведет к увеличению влияния PM₁₀ на результаты прогноза; после превышения уровня PM₁₀ в 200, более высокий уровень CO усиливает влияние PM₁₀ на результаты прогноза. Эти исследования могут способствовать разработке более эффективных политик для улучшения качества воздуха.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Выполненные в диссертационной работе исследования актуальны в связи с потенциальными возможностями применения разработок математических моделей и вычислительных алгоритмов в различных отраслях промышленности и инженерных приложениях. Особенно в экономике и экологии, такого рода исследования имеют важное значение для определения ключевых факторов и прогнозирования дальнейших тенденций. В отличие от традиционных математических моделей, которые часто ограничиваются теоретическими выводами, данное исследование сосредоточено на практическом применении результатов. Эти инновации подчеркивают уникальность и практическую значимость исследования как с методологической точки зрения, так и в реальном применении. В отличие от эмпирических моделей, используемые в данной работе модели были получены через сравнительный анализ. Кроме того, в работе применялись методы интерпретации "черных ящиков", что повышает полезность машинного обучения в практическом применении. Это дополнительно подчеркивает **новизну** и **реальную значимость** представленного исследования.

Среди **наиболее значимых** результатов автора стоит отметить использование традиционных статистических методов и методов машинного обучения для различных данных и целей. Один из особо интересных аспектов исследования заключается в том, что качество воздуха и уровень экономического развития региона не всегда находятся в обратной зависимости. Кроме того, модели машинного обучения показывают значительно худшие результаты при недостаточном объёме данных по сравнению со статистическими моделями. Правильный выбор методологии для построения модели является ключевым фактором успеха. Мы убеждены, что полученные результаты могут быть применены в исследованиях и инженерных проектах, направленных на изучение и улучшение условий для устойчивого регионального развития.

Следующие **замечания** могут быть отмечены в качестве примечаний:

1. Описание методов в четвертой и пятой главах излишне громоздкое.
2. В основном тексте работы присутствуют некоторые опечатки и несоответствия в окончаниях слов.

Указанные комментарии не влияют на положительную оценку диссертации.

Общие выводы и заключение по диссертации.

Оценивая работу в целом, можно отметить, что её структура отличается ясной логикой, материал хорошо структурирован, чётко соотносится с целями, задачами и защищаемыми положениями. Представленный порядок позволяет нам оценить вклад автора в научное развитие через статистическое моделирование в области экономики и экологии. Эти результаты являются новыми и подчеркивают важность разработки адекватных политик на основе прогнозов различных моделей.

Диссертация Ци Дунфана на тему «Инвестиционная привлекательность и экологическая безопасность в Китае и Юго-Восточной Азии: эмпирические модели и анализ данных» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в СанктПетербургском государственном университете», а соискатель Ци Дунфан заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником Отдела моделирования адаптивных агротехнологий, кандидатом технических наук, Петрушиным Алексеем Федоровичем; обсужден и одобрен на заседании Отдела моделирования адаптивных агротехнологий 04 сентября 2024 года. (протокол №6).

Ведущий научный сотрудник
Отдела моделирования адаптивных
агротехнологий,
Кандидат технических наук



А.Ф. Петрушин

Подпись Петрушина А.Ф. заверяю,
Ученый секретарь ФГБНУ АФИ,
Кандидат технических наук



Тарасенкова И .В./