



Review Opinion on the PhD dissertation entitled

“Characteristics of atmospheric droughts and their future projections in Northern Kazakhstan” by Ryssaliyeva Laura Sergeyevna

Drought is one of the most significant climate-related hazards, leading to serious socio-economic consequences, including water resource shortages and crop yield losses. In recent decades, the frequency and severity of drought events have increased globally due to climate change and anthropogenic influences. Understanding the characteristics of droughts and their future evolution is therefore of critical importance for climate change mitigation and adaptation strategies.

The presented dissertation is devoted to the study of atmospheric drought, with focus on their spatiotemporal variability, formation factors, and future changes under conditions of global climate change in Northern Kazakhstan. The relevance of this research is determined by the growing impact of extreme climatic events on regional socio-economic systems and the urgent need to develop scientifically grounded approaches for monitoring, understanding, and forecasting drought conditions. Northern Kazakhstan is one of the country's most important grain-producing regions and is highly sensitive to climate change, which further emphasizes the significance of this study.

The dissertation provides a comprehensive analysis of climatic datasets, with special attention given to the comparative evaluation of drought indices, which is essential for effective atmospheric drought monitoring. Considerable emphasis is placed on the characteristics and formation processes of droughts. The dominant modes of spatial variability of atmospheric droughts are identified, and key climatic predictors are determined. The results demonstrate pronounced spatial heterogeneity of drought characteristics across Northern Kazakhstan, leading to the identification of three distinct sub-regions for further detailed analysis. Furthermore, machine-learning based methods have been applied to develop a 24-month atmospheric drought forecasting system.

The dissertation is distinguished by several important scientific findings, which can be summarized as follows: (i) SPI, MCZI, and HTC are identified as the most suitable drought indices for Northern Kazakhstan, with clear seasonal sensitivity: short-term indices (SPI-1, MCZI-1) dominate in spring, medium-long-term indices (SPI-3-9, MCZI-3-9) in summer, and SPI-3, MCZI-3 in autumn. (ii) Atmospheric droughts in Northern Kazakhstan are mainly controlled by large-scale circulation patterns, with the East Atlantic (EA), Arctic Oscillation (AO), and North Atlantic Oscillation (NAO) acting as the dominant drivers of interannual SPI variability. (iii)



Under SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, spring and summer droughts are projected to intensify toward the mid-21st century, with spring becoming the most critical season, especially in western and central regions. (iv) The machine-learning-based drought forecasting system achieves accuracies of up to 87% in several regions based on the dominant climatic index EA, and it is suggested that the drought forecast skill could be further enhanced with introducing more controlling factors. Generally, all these innovative results obtained in this dissertation have both substantial scientific and practical value, and can be effectively used for drought early warning and risk reduction.

It should be noted that, as part of this dissertation research, Ryssaliyeva L.S. has completed a research internship at the Institute of Atmospheric Physics, CAS (Beijing, China) under my supervision from 15 September to 12 October 2025. During the internship, she carried out future projections of atmospheric droughts up to the end of the 21st century using an ensemble of fifteen CMIP6 models that had undergone bias correction. In addition, the main results of the dissertation have been published in peer-reviewed journals indexed in the Scopus and Web of Science databases.

Ryssaliyeva L.S. has fulfilled all research tasks, and the objectives of the dissertation have been completely achieved. Throughout the research process, she has demonstrated strong scientific initiative, and responsibility.

I consider that the dissertation of Ryssaliyeva L.S. meets all established requirements and recommend it for defense for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the educational program 8D05204 – Meteorology.

Lin Zhaohui
Foreign scientific supervisor
Professor and Director
International Center for Climate and Environment Sciences
Institute of Atmospheric Physics
Chinese Academy of Sciences
Beijing, 100029, China
Email: lzh@mail.iap.ac.cn

ОТЗЫВ

на PhD диссертационную работу Рысалиевой Лауры Сергеевны на тему «Характеристики атмосферных засух и их будущие проекции в Северном Казахстане»,

Засуха является одной из наиболее значимых климатических опасностей, приводящей к серьезным социально-экономическим последствиям, включая дефицит водных ресурсов и снижение урожайности сельскохозяйственных культур. В последние десятилетия частота и интенсивность засушливых явлений во всем мире возросли вследствие изменения климата и антропогенного воздействия. В связи с этим изучение характеристик засух и их будущей эволюции имеет ключевое значение для разработки стратегий смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним.

Представленная диссертационная работа посвящена исследованию атмосферных засух с акцентом на их пространственно-временную изменчивость, факторы формирования и будущие изменения в условиях глобального изменения климата на территории Северного Казахстана. Актуальность данного исследования определяется возрастающим воздействием экстремальных климатических явлений на региональные социально-экономические системы и острой необходимостью разработки научно обоснованных подходов к мониторингу, анализу и прогнозированию засушливых условий. Северный Казахстан является одним из важнейших зернопроизводящих регионов страны и характеризуется высокой чувствительностью к климатическим изменениям, что дополнительно подчеркивает значимость проведенного исследования.

В диссертации выполнен комплексный анализ климатических данных, при этом особое внимание уделено сравнительной оценке индексов засушливости, что имеет принципиальное значение для эффективного мониторинга атмосферных засух. Значительный акцент сделан на изучении характеристик и процессов формирования засух. Выявлены доминирующие моды пространственной изменчивости атмосферных засух и определены ключевые климатические предикторы. Полученные результаты демонстрируют выраженную пространственную неоднородность характеристик засушливости на территории Северного Казахстана, что позволило выделить три обособленных подрегиона для последующего детального анализа. Кроме того, с использованием методов машинного обучения разработана система прогнозирования атмосферных засух с горизонтом прогноза до 24 месяцев.

Диссертационная работа отличается рядом важных научных результатов, которые можно обобщить следующим образом: (i) индексы SPI, MCZI и ГТК определены как наиболее информативные для оценки засух в условиях Северного Казахстана с выраженной сезонной чувствительностью: краткосрочные индексы (SPI-1, MCZI-1) наиболее показательны весной, средне- и долгосрочные индексы (SPI-3-9, MCZI-3-9) летом, а SPI-3 и MCZI-3 осенью; (ii) установлено, что формирование атмосферных засух в Северном Казахстане в основном определяется крупномасштабными циркуляционными процессами, при этом Восточно-

Атлантическое колебание (EA), Арктическая осцилляция (AO) и Северо-Атлантическая осцилляция (NAO) выступают в качестве ведущих факторов межгодовой изменчивости индекса SPI; (iii) в соответствии со сценариями SSP2-4.5 и SSP5-8.5 прогнозируется усиление весенних и летних засух к середине XXI века, при этом весенний сезон становится наиболее критичным, особенно в западных и центральных районах региона; (iv) разработанная система прогнозирования засух на основе методов машинного обучения достигает точности до 87 % в ряде регионов с учётом доминирующего климатического индекса EA, при этом отмечается, что прогностические возможности модели могут быть дополнительно повышены за счёт включения большего числа контролирующих факторов. В целом все инновационные результаты, полученные в диссертации, обладают существенной научной и практической значимостью и могут быть эффективно использованы для систем раннего предупреждения о засухах и снижения связанных с ними рисков.

Следует отметить, что в рамках выполнения данной диссертационной работы Рысалиева Л. С. проходила научную стажировку в Институте физики атмосферы, КАН (Пекин, Китай) под моим научным руководством в период с 15 сентября по 12 октября 2025 года. В ходе стажировки ею были выполнены расчеты будущих проекций атмосферных засух до конца XXI века на основе ансамбля из 15 моделей CMIP6, прошедших коррекцию систематических ошибок. Кроме того, основные результаты диссертационного исследования опубликованы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science

Рысалиева Л. С. в полном объеме выполнила все поставленные научно-исследовательские задачи, а цели диссертационной работы были полностью достигнуты. В ходе выполнения исследования она проявила высокий уровень научной инициативы и ответственности.

Считаю, что диссертационная работа Рысалиевой Л.С. соответствует всем необходимым требованиям и рекомендую к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05204- «Метеорология».

/подпись имеется/

Лин Джаохуэй

Зарубежный научный консультант

Профессор, директор

Международного центра климатических и экологических исследований

Институт физики атмосферы.

Китайская академия наук

Пекин, 100029, Китай

E-mail: lzh@mail.iap.ac.cn