

Геоэкологическая оценка динамики концентрации метана в атмосфере над территорией северо-восточного Вьетнама

Ч. Х. Нгуен ✉

Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

Аннотация. Цель исследования: анализ пространственно-временной динамики концентрации метана (CH_4) в атмосфере над территорией северо-восточного Вьетнама на основе данных спутниковых наблюдений, выявление причин наблюдаемых изменений.

Материалы и методы. Исследование базируется на данных сенсора TROPOMI спутника Sentinel-5P, полученных через Google Earth Engine, для анализа пространственно-временной динамики концентрации CH_4 в шести провинциях северо-восточного Вьетнама с 2019 по 2024 гг. Серия карт для визуализации и анализа создана в программе QGIS.

Результаты и обсуждение. Выявлен устойчивый рост концентрации CH_4 на исследуемой территории, особенно в прибрежных районах с 2023 г. Во внутренних равнинных территориях также отмечено значительное увеличение регистрации CH_4 с 2021 г. Основные причины включают рост добычи угля, увеличение объемов необработанных отходов, развитие аквакультуры и животноводства. Технические ограничения Sentinel-5P и климатические факторы также могут влиять на точность данных.

Заключение. Изменения концентрации CH_4 в северо-восточном Вьетнаме связаны с антропогенной деятельностью, климатическими факторами и техническими ограничениями Sentinel-5P, что требует дальнейших исследований для его эффективного мониторинга.

Ключевые слова: метан, Sentinel-5P TROPOMI, северо-восточный Вьетнам, антропогенные факторы, точность детекции.

Для цитирования: Нгуен Ч. Х. Геоэкологическая оценка динамики концентрации метана в атмосфере над территорией северо-восточного Вьетнама // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2026, № 1, с. 137-141. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/137-141>

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) становятся всё более важным инструментом для мониторинга изменений климата и качества атмосферного воздуха. Особенно актуальна проблема изучения концентрации метана (CH_4) – одного из самых активных парниковых газов, который существенно влияет на глобальное потепление [1]. Для научных исследований в настоящее время важным источником информации являются спутниковые наблюдения, осуществляемые при помощи сенсора TROPOMI на борту спутника Sentinel-5P. Этот инструмент обеспечивает формирование существенных массивов данных и позволяет анализировать изменения уровня концентрации многих газов в атмосфере, в том числе, метана. Однако, при анализе пространственно-временной динамики концентрации CH_4 на территории, охватывающей шесть провинций северо-восточного Вьетнама, мы обнаружили необычные фрагменты спутниковых данных. В рамках данной статьи мы рассмотрим эти проблемы, попытаемся интерпретировать полученные данные и проанализируем возможные причины, приводящие к таким явлениям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория, охватывающая шесть провинций – Куангинь, Хайфонг, Хайзыонг, Лангшон, Бакжанг и Бакнинь – выделяется как один из наиболее промышленно насыщенных уголков страны (рис. 1). Здесь сосредоточены угольные электростанции, обширные индустриальные зоны и важнейшие транспортные артерии. При этом регион поражает своим географическим разнообразием: на побережье раскинулись Куангинь и Хайфонг, южные равнины густо заселены (Хайзыонг, Бакнинь, Хайфонг), тогда как северные горные просторы остаются малолюдными. Такое переплетение природных особенностей и хозяйственной активности делает эту местность показательной для геоэкологических изысканий по всему Северному Вьетнаму [2].

После запуска в 2017 г. спутника Sentinel-5 Precursor, оснащённого инструментом Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI), появилась возможность следить за содержанием газов в тропосфере и стратосфере [3]. Информация, собранная этим аппаратом, была включена в облачную систему Google Earth Engine, что открыло путь к наблюдению за качеством воздуха в самых раз-



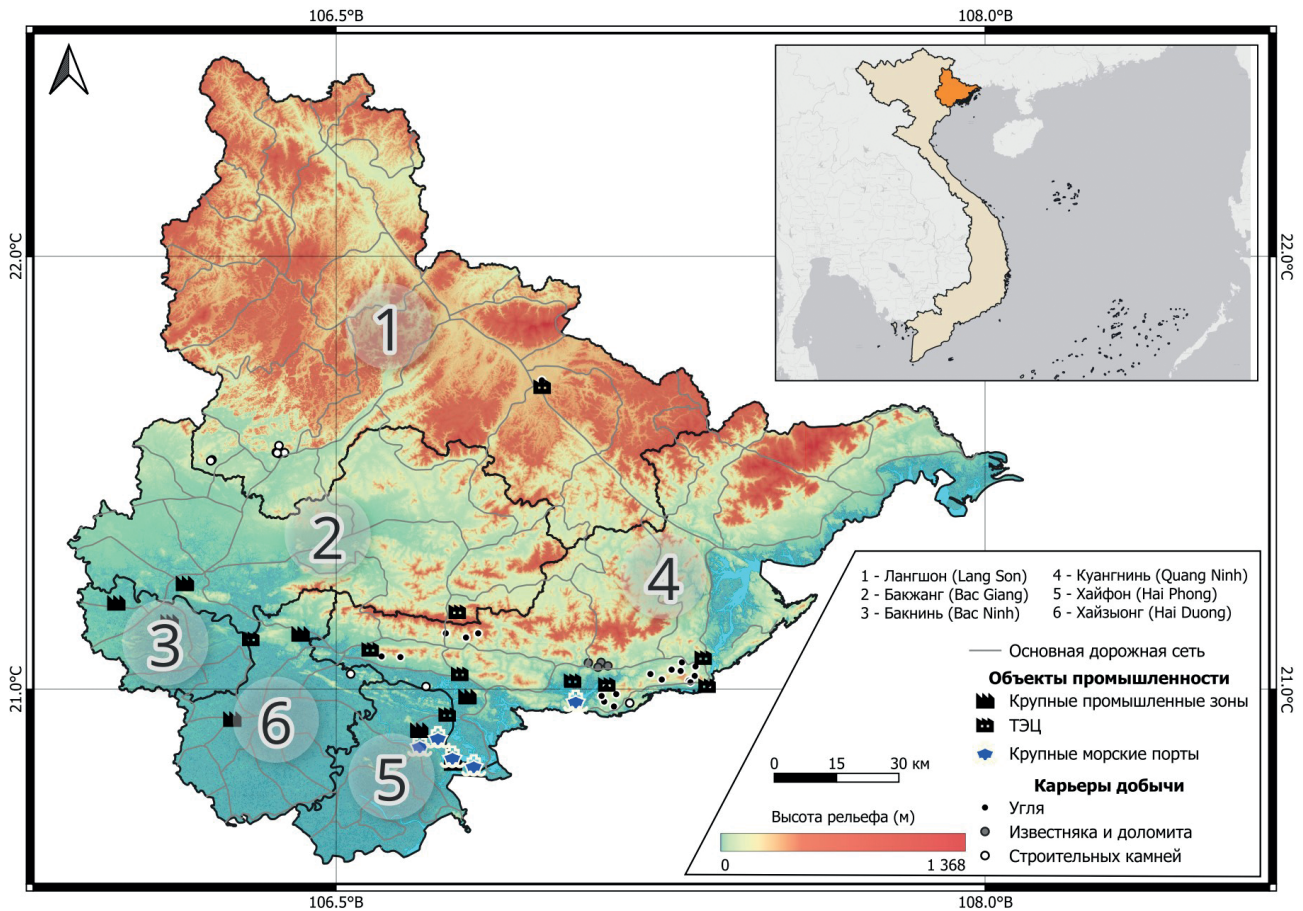


Рис. 1. Географическое положение территории северо-восточного Вьетнама
 [Fig. 1. Geographical location of the northeastern Vietnam area]

ных точках земного шара. Опираясь на данные Sentinel-5P TROPOMI, загруженные через Google Earth Engine, мы создали серию карт с использованием программы QGIS, отражающих фоновые изменения концентрации CH_4 в шести выбранных провинциях Вьетнама за период с 2019 по 2024 гг. (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая тенденция изменения концентрации метана (CH_4) в исследуемом регионе северо-восточного Вьетнама за период с 2019 по 2024 гг. демонстрирует значительные изменения, которые требуют детального анализа. Прежде всего, отмечается общее увеличение уровня CH_4 : каждый последующий год показывает более высокие значения концентрации метана по сравнению с предыдущим. Кроме того, интересным наблюдением является то, что количество областей, где данные не были зарегистрированы спутниками, постепенно сокращается. Особое внимание стоит уделить динамике изменений в прибрежных районах провинций Куангнинь и Хайфонг. В период с 2019 по 2022 гг. эти территории практически не фиксировали данные о содержании метана. Однако, начиная с 2023-2024 гг. уровень метана в этих районах стал значительно выше, чем в других частях региона. Что касается внутренних районов, в частности, территорий провинций Бакнинь,

Хайдингь и Хайфонг (расположенных на равнинах), то здесь также наблюдаются интересные изменения. В 2019 и 2020 гг. уровень регистрации метана был относительно низким. Однако, начиная с 2021 г. произошло резкое увеличение количества зафиксированных данных о метане. Возможные причины данного феномена можно разделить на несколько категорий: изменения в хозяйственной деятельности, совершенствование технологий и данных Sentinel-5P, а также изменения окружающей среды.

В первую очередь стоит рассмотреть влияние добычи угля в Куангнине. По данным ежегодной статистики, объем добычи угля в Куангнине с 2019 по 2024 гг. непрерывно растет [6]. Вероятно, расширение масштабов добычи угля привело к увеличению выбросов метана, ставших заметными для спутника. Кроме того, изменение технологий добычи, например, переход к подземной разработке шахт вместо открытых карьеров [6], могло повысить уровень эмиссии метана. Важным фактором также может быть рост числа инцидентов, связанных с утечками метана из шахт или систем транспортировки [6]. Эти технические проблемы способны существенно повышать концентрацию газа в атмосфере, делая его обнаружимым для спутниковых датчиков.

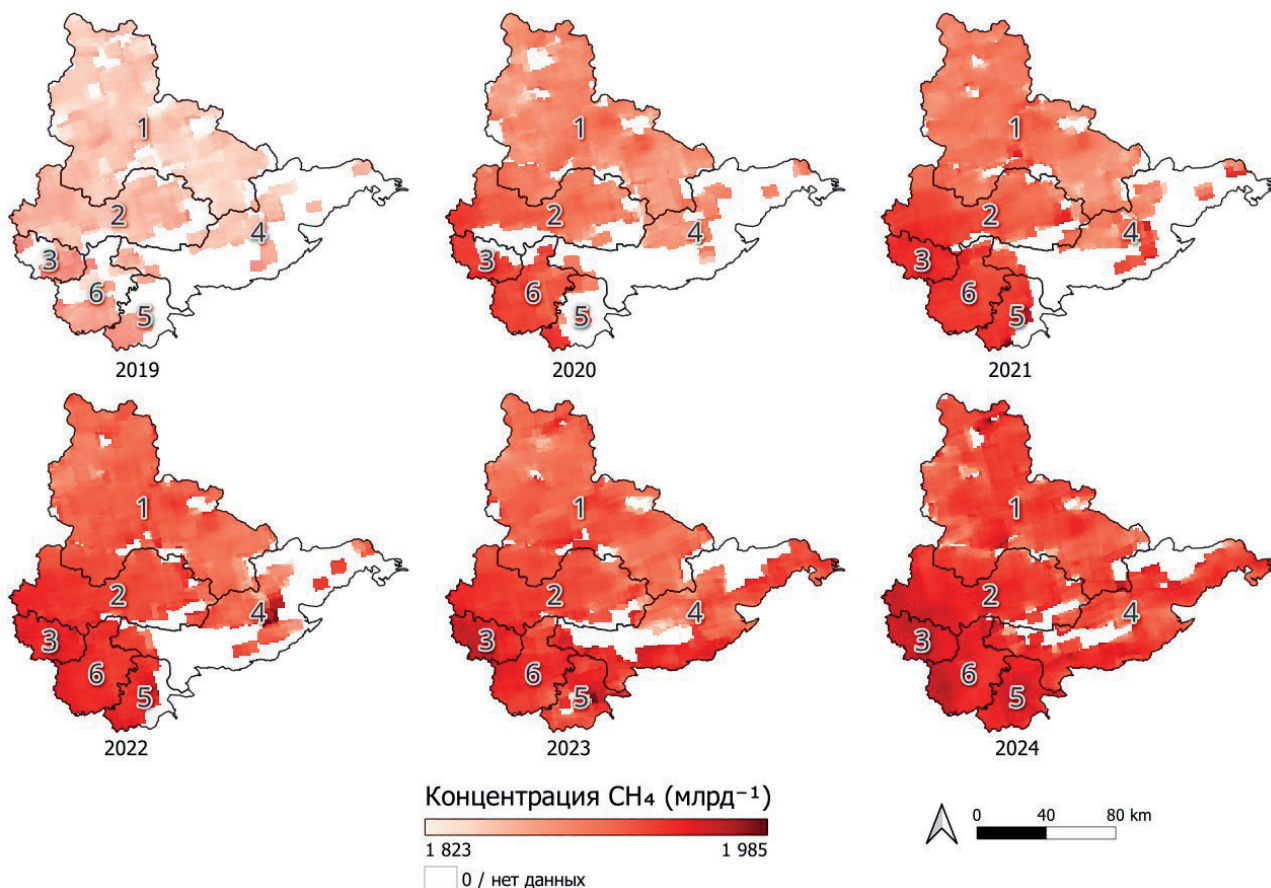


Рис. 2. Пространственно-временные изменения концентрации CH_4 (млрд⁻¹) в исследуемом регионе [Fig. 2. Spatio-temporal changes in CH_4 concentration (billion⁻¹) in the studied region]

Статистические данные в целом показывают тенденцию увеличения количества отходов в исследуемом регионе (рис. 3). Значительная часть отходов, хотя и была собрана, но еще не обработана. Это может быть причиной выбросов метана на территории полигонов для захоронения отходов. Необработанные отходы, накапливаясь на свалках, создают благоприятные условия для образования метана в результате анаэробного разложения органических веществ. Такая ситуация требует принятия срочных мер по улучшению системы

утилизации и переработки отходов, чтобы снизить негативное воздействие на окружающую среду и предотвратить дальнейшее увеличение выбросов метана.

Что касается прибрежных районов Куангниня и Хайфонга, то здесь также наблюдаются значительные изменения в экономической и социальной сфере. Расширение аквакультуры, например, выращивание креветок и рыб [5], также способствует росту уровня концентрации метана из-за процесса разложения органических веществ. Более того, увеличение численности

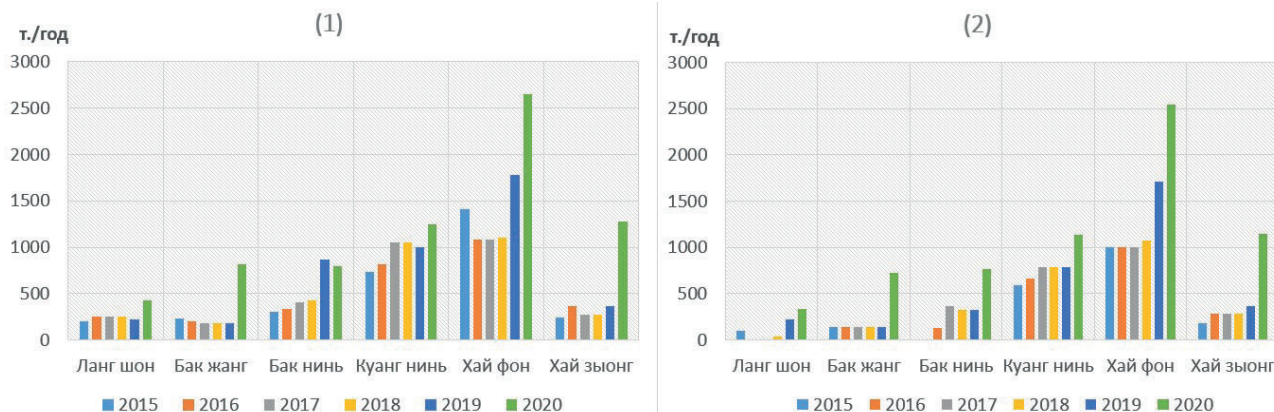


Рис. 3. Объем собранных (1) и обработанных отходов (2) в 6 провинциях северо-восточного Вьетнама [Fig. 3. Volume of collected (1) and treated waste (2) in six provinces of northeastern Vietnam]

скота приводит к большему количеству выбросов метана в результате ферментации в желудочно-кишечном тракте животных, а разложение органических отходов на свалках также становится дополнительным источником этого парникового газа.

Однако, нельзя полностью исключать вероятность технических ошибок, связанных с регистрацией данных спутником Sentinel-5P, а также улучшения алгоритмов обработки информации. Например, в некоторых регионах мира уже были зафиксированы случаи получения отрицательных значений концентрации SO_2 [3], что явно противоречит физическим законам, поскольку такие показатели должны находиться в диапазоне от нуля и выше. Или данные по CH_4 отсутствуют в период с 2022-07-26 по 2022-08-31 из-за сбоя в работе провайдера [4]. Это подтверждает, что даже современные системы дистанционного зондирования Земли не свободны от погрешностей и требуют тщательной калибровки и корректировки. Аналогичные проблемы могут возникать при измерении уровня CH_4 , особенно в сложных климатических условиях.

Как известно, исследуемая территория характеризуется тропическим муссонным климатом с высокой влажностью и частыми осадками. Такие особенности могут существенно затруднять точную регистрацию метана со спутника. Облачность, туман и другие атмосферные явления часто становятся причинами искажений данных или их полного отсутствия в определённые периоды времени. Даже небольшие изменения в структуре атмосферы могут привести к неточностям в измерениях, так как спутниковые сенсоры зависят от условий прозрачности воздушных слоёв для корректного анализа состава газов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдаемые изменения в данных о концентрации CH_4 могут быть обусловлены не только техническими ограничениями спутниковой системы Sentinel-5P и влиянием местных климатических факторов, но также значительным ростом антропогенной деятельности в исследуемом регионе. Увеличение масштабов сельского хозяйства, включая расширение животноводства, рост объемов твердых бытовых отходов и интенсификация

добычи угля, вероятно, сыграли ключевую роль в изменении уровней метана в атмосфере. Усовершенствование алгоритмов обработки данных позволяет частично компенсировать технические ограничения и улучшить точность детекции метана, однако полное понимание изменений требует учета как природных, так и антропогенных факторов. Проблема остается актуальной, особенно в регионах с экстремальными погодными условиями и активным экономическим развитием. Таким образом, важно продолжать исследования для повышения точности интерпретации данных, а также для всестороннего анализа всех возможных источников эмиссии CH_4 , что поможет более точно оценить их влияние на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажин Н. М. Метан в окружающей среде = Methane in the environment: аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2010. 56 с.
2. Нгуен Ч. Х., Куролап С. А. Геоэкологическая оценка территории Северного Вьетнама – общая обстановка и перспективы для устойчивого развития // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию создания факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ «География, экология, туризм: новые горизонты исследований», 2024, с. 55-58.
3. Google Earth Engine Sentinel-5P NRTI SO_2 : Near Real-Time Sulfur Dioxide / Earth Engine Data Catalog. – URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_NRTI_L3_SO2#description (accessed 11.03.2025). – Text: electronic.
4. Google Earth Engine Sentinel-5P OFFL CH_4 : Offline Methane Description / Google Earth Engine. – URL: <https://code.earthengine.google.com/> (accessed 11.03.2025). – Text: electronic.
5. General Statistics Office of Vietnam E-portal / General Statistics Office of Vietnam. – URL: <https://www.gso.gov.vn/so-lieu-thong-ke/> (accessed 11.03.2025). – Text: electronic.
6. Nguyen N. C., Nguyen N. Q., Nguyen P. M. Report on Vietnam's Coal Industry. Development Overview of the Coal Sector for the Period 2021-2025. Hanoi: Vietinbank Securities, 2025. 22 pages.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 19.09.2025

Принята к публикации: 27.02.2026

Geocological Assessment of the Dynamics of Methane Concentration in the Atmosphere over the Territory of Northeastern Vietnam

T. H. Nguyen ✉

Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018)

Abstract. The purpose of the research is to analyze the spatio-temporal dynamics of methane (CH₄) concentration in the atmosphere over the territory of northeastern Vietnam based on satellite observations, to identify the causes of observed changes.

Materials and Methods. The research is based on data from the Sentinel-5P satellite's TROPOMI sensor, obtained through Google Earth Engine, to analyze the spatio-temporal dynamics of CH₄ concentration in six provinces of northeastern Vietnam from 2019 to 2024. The series of maps for visualization and analysis is created in the QGIS programme.

Results and discussion. The analysis revealed a steady increase in CH₄ concentration across the study area, particularly in the coastal area since 2023. The inland lowland area also showed a significant increase in CH₄ detection starting in 2021. The main reasons are the growth of coal production, the increase in the volume of unprocessed waste, the development of aquaculture and livestock farming. Sentinel-5P's technical limitations and climatic factors can also affect data accuracy.

Conclusions. Changes in CH₄ concentration in northeastern Vietnam are associated with anthropogenic activities, climatic influences, and technical limitations of Sentinel-5P, highlighting the need for further research to ensure its effective environmental monitoring.

Keywords: methane, Sentinel-5P TROPOMI, northeastern Vietnam, anthropogenic factors, detection accuracy.

For citation: Nguyen T. H. Geocological Assessment of the Dynamics of Methane Concentration in the Atmosphere over the Territory of Northeastern Vietnam. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologia*, 2026, no. 1, pp. 137-141. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/137-141>

REFERENCES

1. Bazhin N. M. *Metan v okruzhajushhej srede = Methane in the environment: analiticheskij obzor* [Methane in the environment = Methane in the environment: an analytical review]. Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 2010. 56 p. (in Russ.).

2. Nguen Ch. H., Kurolap S. A. Geojekologicheskaja ocenka territorii Severnogo V'etnama – obshhaja obstanovka i perspektivy dlja ustojchivogo razvitiya [Geocological assessment of the territory of North Vietnam – the general situation and prospects for sustainable development]. *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 90-letiju sozdaniya fakul'teta geografii, geojekologii i turizma VGU «Geografija, jekologija, turizm: novye gorizonty issledovanij»*, 2024, pp. 55-58. (in Russ.).

3. Google Earth Engine Sentinel-5P NRTI SO₂: Near Real-Time Sulfur Dioxide / Earth Engine Data Catalog. – URL: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNI-](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNI-CUS_S5P_NRTI_L3_SO2#description)

[CUS_S5P_NRTI_L3_SO2#description](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNI-CUS_S5P_NRTI_L3_SO2#description) (accessed 11.03.2025). – Text: electronic.

4. Google Earth Engine Sentinel-5P OFFL CH₄: Offline Methane Description / Google Earth Engine. – URL: <https://code.earthengine.google.com/> (accessed 11.03.2025). – Text: electronic.

5. General Statistics Office of Vietnam E-portal / General Statistics Office of Vietnam. – URL: <https://www.gso.gov.vn/so-lieu-thong-ke/> (accessed 11.03.2025). – Text: electronic.

6. Nguyen N. C., Nguyen N. Q., Nguyen P. M. Report on Vietnam's Coal Industry. Development Overview of the Coal Sector for the Period 2021-2025. Hanoi: Vietinbank Securities, 2025. 22 pages.

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received 19.09.2025

Accepted 27.02.2026

Нгуен Чунг Хиеу

Аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0009-0003-4486-1021, e-mail: hieugeo@mail.ru

Nguyen Trung Hieu

Postgraduate Student at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0009-0003-4486-1021, e-mail: hieugeo@mail.ru

