

УДК 622.271(73):550.814 © И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Е.В. Логинова, Ю.П. Юронен, В.Н. Вокин,  
Е.В. Кирюшина, Т.Н. Сизова, К.В. Раевич, А.А. Латынцев, 2024

# Добыча угля открытым способом в провинции Лимпопо на территории Южно-Африканской Республики по данным спутниковой съемки\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-93-96>

Определена география размещения карьера по добыче угля и тепловых электростанций, работающих на основе сжигания угля, в провинции Лимпопо на территории Южно-Африканской Республики. Представлены результаты исследования современного состояния открытой разработки крупного месторождения высококачественных углей, полученные с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлен производственный потенциал работающего карьера по добыче угля.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли из космоса, Южно-Африканская Республика, провинция Лимпопо, топливно-энергетический комплекс, угольные карьеры, тепловые электростанции, угольная генерация электроэнергии, объемы добычи и потребления угля, размещение производственных сил.

**Для цитирования:** Добыча угля открытым способом в провинции Лимпопо на территории Южно-Африканской Республики по данным спутниковой съемки / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Е.В. Логинова и др. // Уголь. 2024. № 2. С. 93-96. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-93-96.

## ВВЕДЕНИЕ

В структуре мировой добычи угля одно из лидирующих мест принадлежит Южно-Африканской Республике. Основной объем добычи угля открытым способом сконцентрирован в центральном секторе республики. Изучение экономической географии и основ мировой экономики всегда было связано с изучением размещения производительных сил в мировом формате, важнейшей частью которых является топливно-энергетический комплекс. Наша научно-практическая школа занимается иссле-

\* Исследование проведено в рамках международного сотрудничества в области расширения сферы использования технологий дистанционного зондирования Земли.

## ЗЕНЬКОВ И.В.

Доктор техн. наук, профессор,  
заместитель директора по научной работе  
Сибирского научно-исследовательского института  
горного и маркшейдерского дела,  
660025, г. Красноярск, Россия,  
e-mail: zenkoviv@mail.ru

## ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ

Канд. техн. наук,  
доцент Технического университета им. Ле Куи Дон,  
11355, г. Ханой, Вьетнам

## ЛОГИНОВА Е.В.

Канд. экон. наук, доцент  
Сибирского государственного университета  
науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва,  
660037, г. Красноярск, Россия

## ЮРОНЕН Ю.П.

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского государственного университета  
науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва,  
660037, г. Красноярск, Россия

## ВОКИН В.Н.

Канд. техн. наук, профессор  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

## КИРЮШИНА Е.В.

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

**СИЗОВА Т.Н.**

Старший преподаватель  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

**РАЕВИЧ К.В.**

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

**ЛАТЫНЦЕВ А.А.**

Канд. техн. наук, доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

дованиями широкого спектра показателей российских и зарубежных предприятий горной промышленности с использованием спутниковых снимков: технологии разработки месторождений, размещение горных и транспортных машин, логистика, экология. Эти исследования мы проводим с использованием космоснимков высокого разрешения, находящихся в свободном доступе. С появлением технологий дистанционного зондирования Земли из космоса спектр исследований значительно расширился, о чем свидетельствуют работы российских и зарубежных исследователей [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. По нашему мнению, эта тематика не потеряет своей актуальности в ближайшее десятилетие.

На африканском континенте Южно-Африканская Республика по праву считается самой экономически развитой страной. Наличие в ее недрах широкого спектра твердых полезных ископаемых, включая высококачественный уголь, уран, золото, алмазы, полиметаллические руды и т. п., предопределяет наличие на ее территории значительных генерирующих мощностей электрической энергии.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ В ПРОВИНЦИИ ЛИМПОПО НА ТЕРРИТОРИИ ЮАР**

По данным спутниковой съемки на территории ЮАР работают более десятка крупных тепловых электростанций с угольной генерацией электроэнергии [10]. При этом суммарная установленная мощность энергоблоков находится на уровне 50 000 МВт.

Составной частью Южно-Африканского ТЭК являются крупные предприятия, работающие на территории провинции Лимпопо. По данным геологической разведки, в северном секторе провинции Лимпопо в ЮАР в недрах имеются большие по объемам запасы высококачественных углей. Подтвержденные запасы составляют не менее 5 млрд т энергетических, коксующихся и каменных углей.

По данным дистанционного мониторинга, в последние десятилетия в этом районе зафиксировано интенсивное строительство трех крупных объектов топливно-энергетического комплекса. С конца 1970-х годов в 31 км на юго-восток от границы с Республикой Ботсвана и в 11 и 18 км на запад от г. Лепхалале в течение пяти лет были построены тепловая электростанция мощностью 4000 МВт и карьер по добыче угля. К настоящему времени масштаб добычи угля и выработка электроэнергии увеличены более чем в два раза за счет ввода в эксплуатацию в 2021 г. еще одной тепловой станции с суммарной мощностью шести энергоблоков 4800 МВт. Размещение объектов топливно-энергетического комплекса и инфраструктурных объектов представлено на *рисунке* [10].

Такое масштабное развитие стало возможным за счет наличия в этой местности крупного по мировым масштабам месторождения высококачественных углей с запасами порядка 5 млрд т. Кроме того, горно-геологическое строение месторождения обусловило высокую экономическую эффективность его разработки открытым способом. По данным спутниковой съемки установлено, что толща вскрышных пород мощностью 15-20 м разрабатывается двумя уступами. Угольный пласт горизонтального залегания включает два-три пропластка суммарной мощностью до 10 м. Мощность угольного пласта изменяется от 90 до 100 м.

Фронт горных работ в карьере имеет протяженность 3100 м. Система разработки угленасыщенного участка месторождения – сплошная однобортная с размещением вскрышных пород как на внешних отвалах, так и внутри карьера. Площадь карьера по добыче угля составляет 1340 га, а суммарная площадь трех внешних породных отвалов к настоящему времени достигла показателя 997 га. Расстояние транспор-

тировки угля на обогатительную фабрику, а вскрышных пород на внешние отвалы составляет не более 6 км. Вместе с тем в карьере реализовано прогрессивное инженерное решение, касающееся повышения эффективности логистики карьерных грузопотоков. Вдоль северного нерабочего борта проложены стационарные конвейерные линии, по которым вскрышные породы и уголь перемещаются из карьера до мест назначения [10].

В конструкции борта карьера предусмотрены разворотные площадки для маневров автосамосвалов для разгрузки горных пород в приемные стационарные бункера, в нижней части которых находятся дробильные комплексы и перепускные желоба для погрузки горных пород на конвейерные линии. Данное решение позволяет как минимум в два раза сократить расстояние транспортировки горных пород.

По данным спутниковой съемки, в 2023 г. в карьере по добыче угля в провинции Лимпопо на территории ЮАР горнотранспортное оборудование было скомплектовано следующим образом. На бурении взрывных скважин в толще вскрышных пород и в угольных пластах было задействовано шесть буровых станков (аналог – российский буровой станок СБШ-250); на вскрышных и добычных работах установлены восемь гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» с ковшом 40 куб. м и четыре мехлопаты с ковшом 48 куб. м. На выемке угля из развала работают также четыре фронтальных погрузчика на автомобильном шасси с ковшом 24 куб. м.

На вывозке вскрышных пород и угля из карьера работают 40 карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 360 т. Этот комплект горнотранспортного оборудования обеспечивает производственную мощность карьера по добыче угля не менее 40 млн т в год. Объем угля, предназначенного для сжигания на двух электростанциях, составляет 28 млн т. Оставшийся объем угля, не менее 12 млн т отправляется ежегодно по железной дороге внешним потребителям [10]. Ежегодный объем удаляемых вскрышных пород находится на уровне 20 млн т. Отметим, что имеющийся в карьере парк выемочно-экскавационных машин (16 ед.) при работе в две смены может обеспечить объем переработки вскрышных пород и угля объемом не менее 120 млн т в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по данным спутниковой съемки установлено, что объекты топливно-энергетического комплекса (карьер по добыче угля и две тепловые электростанции), устойчиво работающие на севере провинции Лимпопо на территории ЮАР, могут стабильно обеспечить бесперебойное энергоснабжение соседних территорий площадью не менее 1 млн км<sup>2</sup> – юго-западных провинций респу-



*Расположение предприятий топливно-энергетического комплекса в северной части провинции Лимпопо на территории Южно-Африканской Республики (на снимке из космоса)*

*Location of fuel and energy complex facilities in the northern part of the Limpopo Province in the territory of the Republic of South Africa (based on a satellite image)*

блики, а также соседних республик – Намибии, Ботсваны, Зимбабве и Мозамбика. Этот фактор является одним из основополагающих в масштабном экономическом развитии этого макрорегиона в южной части африканского континента.

## Список литературы

1. Терехин Э.А. Влияние лесистости залежных земель лесостепи на спектрально-отражательные характеристики по данным Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 223-235.
2. Раевский Б.В., Тарасенко В.В., Петров Н.В. Оценка современного состояния растительных сообществ заповедника «Костомукшский» по спутниковым снимкам системы Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 3. С. 47-61.
3. Озарян Ю.А., Бубнова М.Б., Усиков В.И. Методика дистанционного мониторинга природно-технических систем (в условиях горнопромышленных территорий юга Дальнего Востока России) // Горный журнал. 2020. № 2. С. 84-87.
4. Space-based Applications of Remote Sensing in Studying Opencast Mining and Ecology at Deposits of Non-ferrous Metal Ore / I.V. Zenkov, T. Le Hung, V.N. Vokin et al. // Ecology and Industry of Russia. 2022. Vol. 26. Is. 1. P. 24-29.
5. Remote sensing of mining and haul-age equipment arrangement in Russia: A case-study of the coal and iron ore industry / I.V. Zenkov, A.S. Morin, V.N. Vokin et al. // Eurasian mining. 2020. No. 2. pp. 46-49.
6. Cieřlik K., Milczarek W. Application of Machine Learning in Forecasting the Impact of Mining Deformation: A Case Study of Underground Copper Mines in Poland // Remote Sensing. 2022;14(19):4755. <https://doi.org/10.3390/rs14194755>.
7. Jiao R., Wang S., Yang H., Guo X., Han J., Pei X., Yan C. Comprehensive Remote Sensing Technology for Monitoring Landslide Hazards and Disaster Chain in the Xishan Mining Area of Beijing / 1. Терехин Э.А. Влияние лесистости залежных земель лесостепи на спектрально-

отражательные характеристики по данным Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 223-235.

8. Assessment of Ecological Cumulative Effect due to Mining Disturbance Using Google Earth Engine / W. Yang, Y. Mu, W. Zhang et al. // Remote Sensing. 2022;14(17):4381 <https://doi.org/10.3390/rs14174381>.

9. Deciphering the Drivers of Net Primary Productivity of Vegetation in Mining Areas / H. Tian, S. Liu, W. Zhu et al. // Remote Sensing. 2022; 14(17):4177. <https://doi.org/10.3390/rs14174177>.
10. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com.earth/> (accessed 15.01.2024).

#### Original Paper

UDC 622.271(73):550.814 © I.V. Zenkov, Trinh Le Hung, E.V. Loginova, Yu.P. Yuronen, V.N. Vokin, E.V. Kiryushina, T.N. Sizova, K.V. Raevich, A.A. Latyntsev, 2024  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 2, pp. 93-96  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-93-96>

### Title

#### **SURFACE COAL PRODUCTION IN THE LIMPOPO PROVINCE IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF SOUTH AFRICA BASED ON SATELLITE IMAGING DATA**

#### Authors

Zenkov I.V.<sup>1</sup>, Trinh Le Hung<sup>2</sup>, Loginova E.V.<sup>3</sup>, Yuronen Yu.P.<sup>3</sup>, Vokin V.N.<sup>4</sup>, Kiryushina E.V.<sup>4</sup>, Sizova T.N.<sup>4</sup>, Raevich K.V.<sup>4</sup>, Latyntsev A.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660064, Russian Federation

<sup>2</sup> Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

<sup>3</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

<sup>4</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

#### Authors Information

**Zenkov I.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, e-mail: [zenkoviv@mail.ru](mailto:zenkoviv@mail.ru)

**Trinh Le Hung**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Loginova E.V.**, PhD (Economic), Associate Professor

**Yuronen Yu.P.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Vokin V.N.**, PhD (Engineering), Professor

**Kiryushina E.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Sizova T.N.**, Senior lecturer

**Raevich K.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Latyntsev A.A.**, PhD (Engineering), Associate Professor

#### Abstract

The geography of the coal mining pit and the thermal power plants based on coal combustion has been determined in the Limpopo Province in the Republic of South Africa. The paper presents the results of studying the current state of surface mining of a large-scale deposit of high-grade coals, using remote sensing data from space. The production potential of the operating open-pit coal mine has been identified in the course of remote monitoring and analytical calculations.

#### Keywords

Earth remote sensing from space, Republic of South Africa, Limpopo Province, Fuel and energy complex, Coal open-pit mines, Thermal electric power plants, Coal-fired electric power generation, Coal mining and consumption volumes, Distribution of production operations.

#### References

1. Terekhin E.A. Influence of forest cover of the fallow lands in the forest-steppe on the spectral-reflectance characteristics based on Sentinel-2 data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, (4), pp. 223-235. (In Russ.).
2. Raevsky B.V., Tarasenko V.V. & Petrov N.V. Assessment of current state of plant communities in the Kostamuksha Natural Park based on Landsat satellite images. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, (3), pp. 47-61. (In Russ.).
3. Ozaryan Yu.A., Bubnova M.B. & Usikov V.I. Methodology of remote monitoring of natural and technological systems (in conditions of mining areas in the south of the Russian Far East). *Gornyj zhurnal*, 2020, (2), pp. 84-87. (In Russ.).

4. Zenkov I.V., Le Hung T., Vokin V.N. et al. Space-based Applications of Remote Sensing in Studying Opencast Mining and Ecology at Deposits of Non-ferrous Metal Ore. *Ecology and Industry of Russia*, 2022, Vol. 26, (1), pp. 24-29.

5. Zenkov I.V., Morin A.S., Vokin V.N. & Kiryushina E.V. Remote sensing of mining and haul-age equipment arrangement in Russia: A case-study of the coal and iron ore industry. *Eurasian mining*, 2020, (2), pp. 46-49.

6. Cieřlik K. & Milczarek W. Application of Machine Learning in Forecasting the Impact of Mining Deformation: A Case Study of Underground Copper Mines in Poland. *Remote Sensing*, 2022;14(19):4755. <https://doi.org/10.3390/rs14194755>.

7. Jiao R., Wang S., Yang H., Guo X., Han J., Pei X. & Yan C. Comprehensive Remote Sensing Technology for Monitoring Landslide Hazards and Disaster Chain in the Xishan Mining Area of Beijing. *Remote Sensing*, 2022;14(19):4695. <https://doi.org/10.3390/rs14194695>.

8. Yang W., Mu Y., Zhang W., Wang W., Liu J., Peng J., Liu X. & He T. Assessment of Ecological Cumulative Effect due to Mining Disturbance Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 2022;14(17):4381. <https://doi.org/10.3390/rs14174381>.

9. Tian H., Liu S., Zhu W., Zhang J., Zheng Y., Shi J. & Bi R. Deciphering the Drivers of Net Primary Productivity of Vegetation in Mining Areas. *Remote Sensing*, 2022;14(17):4177. <https://doi.org/10.3390/rs14174177>.

10. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com.earth/> (accessed 15.01.2024).

#### Acknowledgements

The study was performed within the framework of international cooperation in expanding the use of remote sensing technologies.

#### For citation

Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Loginova E.V., Yuronen Yu.P., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Sizova T.N., Raevich K.V. & Latyntsev A.A. Surface coal production in the Limpopo Province in the territory of the Republic of South Africa based on satellite imaging data. *Ugol'*, 2024, (2), pp. 93-96. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-93-96.

#### Paper info

Received October 31, 2023

Reviewed January 15, 2024

Accepted January 26, 2024

#### ABROAD