

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

Добыча угля открытым способом в провинциях Фри-Стейт и Мпумаланга на территории Южно-Африканской Республики по данным спутниковой съемки*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-109-112>

Определена география размещения карьеров по добыче угля и тепловых электростанций, работающих на основе сжигания угля, в провинциях Фри-Стейт и Мпумаланга на территории Южно-Африканской Республики. Представлены результаты исследования современного состояния открытой разработки угольных месторождений с привлечением данных дистанционного зондирования Земли из космоса. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлен производственный потенциал работающих карьеров по добыче угля.

Ключевые слова: Южно-Африканская Республика, провинции Фри-Стейт и Мпумаланга, топливно-энергетической комплекс, угольные карьеры, объемы добычи и потребления угля, размещение производительных сил, дистанционное зондирование Земли из космоса.

Для цитирования: Добыча угля открытым способом в провинциях Фри-Стейт и Мпумаланга на территории Южно-Африканской Республики по данным спутниковой съемки / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Е.В. Логинова и др. // Уголь. 2024. № 1. С. 109-112. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-109-112.

ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия Южно-Африканская Республика уверенно входит в десятку стран – лидеров в мировом угледобывающем секторе. Анализ информации на спутниковых снимках за период с 1985 г. вывел увеличение в разы количества карьеров по добыче угля в основной угледобывающей провинции Мпумаланга. На наш взгляд, в условиях отсутствия адекватной информации о состоянии открытой угледобычи на африканском континенте необходимо провести детальное исследование этого вида деятельности. Такая информация необходима для прогнозирования мировой картины добычи угля в мировом недропользовании.

* 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. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия

ЮРОНЕН Ю.П.

Канд. техн. наук, доцент
Сибирского государственного
университета науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева,
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

МАГЛИНЕЦ Ю.А.

Канд. техн. наук, профессор
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

Для исследования выбран участок территории этого штата площадью 18500 км², на котором производится масштабная разработка угольных месторождений открытым способом. Как известно, проводить исследования на больших по площади территориях можно эффективно с использованием ресурсов спутниковой съемки, о чем свидетельствуют решенные задачи в кратком обзоре научных публикаций [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДОБЫЧИ УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ
В ПРОВИНЦИЯХ ФРИ-СТЕЙТ И МПУМАЛАНГА
НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНО-АФРИКАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

На конец 2023 г. состояние открытой угледобычи в двух провинциях Фри-Стейт и Мпумаланга выглядело следующим образом. Общая протяженность фронта горных работ в 85 карьерах с различной производственной мощностью по горной массе в 2023 г. составляла, по данным спутниковой съемки, 74,3 км. На угленасыщенных участках месторождений работает 21 карьер, в каждом из которых фронт добычных работ имеет протяженность более 1,0 км. Кроме этого, на угленасыщенных участках месторождений работают 26 малых карьеров. Под «малым карьером» понимается карьер с протяженностью фронта горных работ по верхнему уступу в диапазоне от 0,5 до 1,0 км.

Также добыча угля открытым способом велась на 38 угленасыщенных участках. На таких участках дорабатывают остатки запасов угля, не вошедших по технологическим причинам в границы уже работающих карьеров. Карьер, работающий на небольших по объему запасах угля, получил в наших исследованиях название «добычной участок». Каждый такой участок представляет самостоятельный карьер, протяженность фронта добычных работ в котором не более 500 м и чаще всего находится в диапазоне 250-430 м.

Небольшими обособленными карьерами отрабатывают мультимодальные залежи угля. Эти карьеры имеют самостоятельные системы вскрывающих выработок внешнего и внутреннего заложения. Срок производства горных работ в этих карьерах чаще всего небольшой – от 3 до 5 лет. Отметим, что практически во всех карьерах вскрывные породы и угольные пласты перед выемкой рыхлят с использованием буровзрывного способа.

В последние пять лет в ситуации, когда в республиканской экономике требуется удержать годовой объем добычи угля не менее 300 млн т, в открытую разработку массово вовлекаются добычные участки с пластами мощностью до 10 м. Такие участки имеют весьма благоприятное горно-геологическое строение. Горизонтальные углы залегания угольных пластов и мощность вскрывных пород в диапазоне от 5 до 15 м в совокупности обуславливают высокую рентабельность добычи угля на этих участках.

В карьерах, фронт горных работ в которых более 1 км и суммарная мощность вскрывных пород и угля в диапазоне 60-80 м, на перевалке надугольной толщи в выработанное пространство используют драглайны. На отработке вскрывных уступов работают гидравлические экскаваторы типа «прямая лопата» с ковшем вместимостью до 22 куб. м или мехлопаты с ковшем вместимостью 30 куб. м. На добыче угля преимущественно работают гидравлические экскаваторы типа «прямая лопата» или «обратная лопата» с ковшем от 7 до 16 куб. м. Транспортировка горной массы производится в автосамосвалах грузоподъемностью от 90 до 240 т. Расстояние транспортировки вскрывных пород на внутренние отвалы не превышает 1,5-1,8 км, а угля на склады – 2,0-2,6 км.

В «малых карьерах» на горных работах, как правило, работают 2-3 буровых станка на бурении взрывных скважин. Выемка

вскрышных пород и угля выполняется пятью-шестью гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» с ковшем вместимостью 4 куб. м. На вывозке горной массы из карьера работают от 16 до 22 автосамосвалов повышенной проходимости с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью 30-40 т. Реже горную массу транспортируют в карьерных автосамосвалах грузоподъемностью 40-65 т.

Типичный «малый карьер» с производственной мощностью по добыче угля 2 млн т в год показан на рисунке. Длина фронта горных работ по верхнему уступу составляет 1,0 км.

В момент получения снимка в кольце красного цвета производились добычные работы. В кольцах синего цвета выполнялись вскрышные работы. На рисунке стрелками зеленого цвета показаны направления подвигания фронта горных работ. Стрелками желтого цвета обозначены направления вскрышных грузопотоков на внешние породные отвалы, а стрелками красного цвета – направления добычных грузопотоков на угольный расходный склад.

На добычных участках на бурении взрывных скважин задействуют чаще всего один буровой станок, на экскавации горной массы работают 1-2 гидравлических экскаватора типа «обратная лопата» с ковшем 4 куб. м. Вывозку горной массы из карьера осуществляют в автосамосвалах повышенной проходимости с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью 30-40 т в количестве 6-8 единиц.

По данным спутниковой съемки, в 2022 г. в карьерах по добыче угля на территории двух исследуемых провинций горнотранспортное оборудование было скомплектовано следующим образом. На бурении взрывных скважин в толще вскрышных пород и в угольных пластах были задействованы 133 буровых станка (аналог – российский буровой станок СБШ-250); на вскрышных и добычных работах установлены 311 гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» с ковшем 4 куб. м и 66 гидравлических экскаваторов типа «прямая лопата» и «обратная лопата» с ковшем от 7 до 18 куб. м. Кроме того, на вскрышных работах задействованы 14 драглайнов с ковшем 40-120 куб. м и длиной стрелы от 70 до 100 м и три мехлопаты на гусеничном ходу с ковшем 40 куб. м. Отметим, что половина драглайнов в момент проводимого исследования горных работ в карьерах находилась на консервации.

Транспортировка вскрышных пород на породные отвалы, а угля на расходные поверхностные стационарные склады осуществлялась в 10 автосамосвалах общего назначения грузоподъемностью 30 т, в 319 карьерных автосамосвалах грузоподъемностью 50-120 т, в 12 карьерных автосамосвалах грузоподъемностью 160-240 т. В настоящее время значительный объем горной массы вывозится из карьеров в 820 автосамосвалах повышенной проходимости с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью 30-40 т.



Горные работы на месторождении каменного угля в «малом карьере» с протяженностью фронта 1,0 км на территории Южно-Африканской Республики (на снимке из космоса)

Mining operations in the “small pit” of a hard coal deposit with a front length of 1.0 km on the territory of the Republic of South Africa (as seen in a satellite image)

В последние годы в провинции Мпумаланга запасы угля на участках месторождений с пластами мощностью от 20 до 30 м, пригодные для открытой разработки, начинают постепенно заканчиваться. Завершение работ по добыче угля в ЮАР за редким исключением характеризуется практически повсеместно отсутствием работ по планировке техногенного рельефа и рекультивации нарушенных земель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние 5-6 лет центр добычи угля открытым способом сместился в восточную часть угольного бассейна в провинции Мпумаланга, в котором добывают практически весь уголь в ЮАР. Итак, изучение и анализ снимков из космоса указывают на то, что угольный кластер ЮАР является основной точкой развития ее экономики. В настоящее время уровень промышленного развития и высокая степень механизации угледобывающих предприятий, сконцентрированных на небольшой по размерам площади, позволяют бесперебойно и в необходимом объеме снабжать объекты ТЭК ЮАР, а также стабильно поставлять на экспорт каменный уголь в объеме не менее 100 млн т в год.

Список литературы

1. Пономаренко М.Р., Кутепов Ю.И., Шабаров А.Н. Информационно-аналитическое обеспечение мониторинга состояния объектов открытых горных работ на базе технологий веб-картографии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 8. С. 56-70.
2. Унифицированная технология дистанционного мониторинга природных и антропогенных объектов / А.М. Константинова, И.В. Балашов, А.В. Кашницкий и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 4. С. 41-52.
3. Исследование динамики работ по лесной рекультивации на угольных разрезах в Иркутской области с использованием результатов дистанционного зондирования / И.В. Зеньков,

- Чинь Ле Хунг, И.А. Ганиева и др. // Уголь. 2021. № 9. С. 51-54. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-51-54.
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. Spatial data and technologies for geomonitoring of land use under aspect of mineral resource sector development / N.J. Adero, C. Drebenstedt, E.N. Prokofeva et al. // Eurasian mining. 2020. No 1. P. 69-74.
 6. Ritesh Mujawdiya, Chatterjee R.S., Dheeraj Kumar. MODIS land surface temperature time series decomposition for detecting and characterizing temporal intensity variations of coal fire induced thermal anomalies in Jharia coalfield, India // Geocarto International. 2020. DOI: 10.1080/10106049.2020.1818853.
 7. Combining Satellite In SAR, Slope Units and Finite Element Modeling for Stability Analysis in Mining Waste Disposal Area / J. López-Vinielles, J.A. Fernández-Merodo, P. Ezquerro et al. // Remote Sens. 2021; 13(10):2008.
 8. Bell Stephen A.J. Successful recruitment following translocation of a threatened terrestrial orchid (*Diuris tricolor*) into mining rehabilitation in the Hunter Valley of NSW // Ecological Management and Restoration. 2021. Vol. 22. Is. 2. P. 204-207.
 9. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com.earth/> (accessed 15.12.2023).

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, Yu.A. Maglinets, K.V. Raevich, A.A. Latyntsev, 2024
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 1, pp. 109-112
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-109-112>

Title

SURFACE COAL PRODUCTION IN THE FREE STATE AND MPUMALANGA PROVINCES OF THE REPUBLIC OF SOUTH AFRICA BASED ON SATELLITE IMAGING DATA

Authors

Zenkov I.V.¹, Trinh Le Hung², Loginova E.V.³, Yuronen Yu.P.³, Vokin V.N.⁴, Kiryushina E.V.⁴, Maglinets Yu.A.⁴, Raevich K.V.⁴, Latyntsev A.A.⁴

¹ Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660064, Russian Federation

² Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

⁴ 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

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

Maglinets Yu.A., PhD (Engineering), Professor

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

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

Abstract

The geography of coal mining pits and thermal power plants based on coal combustion has been determined in the Free State and Mpumalanga provinces in the Republic of South Africa. The results are presented of studying the current state of surface mining of coal deposits using the Earth remote sensing data from space. The production potential of operating open-pit coal mines has been identified in the course of remote monitoring and analytical calculations.

Keywords

Republic of South Africa, Free State and Mpumalanga Provinces, Fuel and energy complex, Coal pit mines, Coal production and consumption, Distribution of productive forces, Earth remote sensing from space.

References

1. Ponomarenko M.R., Kutepov Yu.I. & Shabarov A.N. Information and analytical support for monitoring the condition of surface mining facilities based on web-mapping technologies. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2022, (8), pp. 56-70. (In Russ.).
2. Konstantinova A.M., Balashov I.V., Kashnitsky A.V. et al. Unified technology for remote monitoring of natural and man-made sites. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, (4), pp. 41-52. (In Russ.).
3. Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Ganieva I.A., Lukyanova A.A., Anischenko Yu.A., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Latyntsev A.A. & Veretenova T.A. A study of the forest reclamation dynamics at open-pit coal mines in the Irkutsk region using

remote sensing data. *Ugol'*, 2021, (9), pp. 51-54. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-51-54.

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. Adero N.J., Drebenstedt C., Prokofeva E.N. & Vostrikov A.V. Spatial data and technologies for geomonitoring of land use under aspect of mineral resource sector development. *Eurasian mining*, 2020, (1), pp. 69-74.

6. Ritesh Mujawdiya, R.S. Chatterjee & Dheeraj Kumar. MODIS land surface temperature time series decomposition for detecting and characterizing temporal intensity variations of coal fire induced thermal anomalies in Jharia coalfield, India. *Geocarto International*, 2020. DOI: 10.1080/10106049.2020.1818853.

7. López-Vinielles J., Fernández-Merodo J.A., Ezquerro P. et al. Combining Satellite InSAR, Slope Units and Finite Element Modeling for Stability Analysis in Mining Waste Disposal Area. *Remote Sens*, 2021; 13(10):2008.

8. Bell Stephen A.J. Successful recruitment following translocation of a threatened terrestrial orchid (*Diuris tricolor*) into mining rehabilitation in the Hunter Valley of NSW. *Ecological Management and Restoration*, 2021, Vol. 22, (2), pp. 204-207.

9. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com.earth/> (accessed 15.12.2023).

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., Maglinets Yu.A., Raevich K.V. & Latyntsev A.A. Surface coal production in the Free State and Mpumalanga provinces of the Republic of South Africa based on satellite imaging data. *Ugol'*, 2024, (1), pp. 109-112. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-109-112.

Paper info

Received October 31, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted December 7, 2023

ABROAD