

УДК 622.271(437):55.814 © И.В. Зеньков^{1,2}, Ле Хунг Чинь³,
Ю.П. Юронен¹, Г.А. Карачева¹, В.Н. Вокин⁴, Е.В. Кирюшина⁴,
Е.В. Черепанов⁴, А.А. Латынцев⁴, К.В. Раевич⁴, В.А. Петров², 2025

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия

² Сибирский научно-исследовательский институт горного
и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия

³ Технический университет им. Ле Куй Дон, 11355, Ханой, Вьетнам

⁴ Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

UDC 622.271(437):55.814 © I.V. Zenkov^{1,2}, Le Hung Trinh³,
Yu.P. Yuronen¹, G.A. Karacheva¹, V.N. Vokin⁴, E.V. Kiryushina⁴,
E.V. Cherepanov⁴, A.A. Latyntsev⁴, K.V. Raevich⁴, V.A. Petrov², 2025

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

² Siberian Research Institute of Mining and Surveying,
Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

³ Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

⁴ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

Исследование открытых горных работ на угольных месторождениях в Республике Венгрия по данным дистанционного зондирования Земли из космоса

A study of the surface mining operations at coal deposits in Hungary based on Earth's remote sensing data

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-125-128>

В статье представлены результаты исследования технологических и технических аспектов производства открытых горных работ на угольных месторождениях в Республике Венгрия. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлены количество и модели экскаваторов непрерывного действия, работающих в угольных карьерах, протяженность конвейерных линий, а также определен годовой объем экскавации вскрышных пород и угля, поставляемого на тепловую электростанцию. По результатам спутниковой съемки и аналитических расчетов в добыче угля открытым способом на территории Венгрии выявлен стабильный тренд.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, угольная промышленность, Республика Венгрия, топливно-энергетический комплекс, угольные карьеры, годовой объем добычи угля, горные машины, угольная генерация электроэнергии.

Для цитирования: Исследование открытых горных работ на угольных месторождениях в Республике Венгрия по данным дистанционного зондирования Земли из космоса / И.В. Зеньков, Ле Хунг Чинь, Ю.П. Юронен и др. // Уголь. 2025;(7):125-128. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-7-125-128.

Abstract

The paper presents the results of studying technological and technical aspects of surface mining operations in coal deposits in Hungary. The remote sensing studies and analytical calculations helped to reveal the number and models of the continuous bucket excavators operated in the coal pits, the length of

ЗЕНЬКОВ И.В.

Доктор техн. наук, профессор
Сибирского государственного
университета науки и технологий
им. академика М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия,
заместитель директора
по научной работе Сибирского
научно-исследовательского института
горного и маркшейдерского дела,
660025, г. Красноярск, Россия,
профессор
e-mail: zenkoviv@mail.ru

ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ

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

ЮРОНЕН Ю.П.

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

КАРАЧЕВА Г.А.

Старший преподаватель
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

ЧЕРЕПАНОВ Е.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

РАЕВИЧ К.В.

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

ПЕТРОВ В.А.

Горный инженер Сибирского
научно-исследовательского
института горного
и маркшейдерского дела,
660025, г. Красноярск, Россия

the conveyor lines as well as to determine the annual volume of overburden removed and coal dispatched to the thermal power plant. A stable trend has been identified based on the results of satellite imaging and analytical calculations of surface coal production in Hungary.

Keywords

Remote sensing, coal mining industry, hungary, fuel and energy complex, coal pits, annual coal production, mining machines, coal-fired power generation.

For citation

Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P., Karacheva G.A., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Cherepanov E.V., Latyntsev A.A., Raevich K.V., Petrov V.A. A study of the surface mining operations at coal deposits in Hungary based on Earth's remote sensing data. *Ugol*. 2025;(7):125-128. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-7-125-128.

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX в. в странах Восточной Европы происходил бурный рост промышленного потенциала, требующий увеличения объемов выработки электрической энергии. При наличии в недрах колоссальных запасов бурого угля основной стратегией явилось строительство угольных карьеров и тепловых станций. К настоящему времени в Венгрии определенная доля электрической энергии вырабатывается при сжигании бурого угля на тепловой станции. По данным спутниковой съемки в Венгрии работают два карьера по добыче угля. В открытых источниках, присутствующих в глобальной сети, размещено множество информации о состоянии угледобывающей промышленности в восточно-европейских странах. По нашему мнению, максимально объективными и достоверными источниками являются ресурсы дистанционного зондирования Земли из космоса. Наша научно-практическая школа на очередном этапе исследовала широкий спектр показателей карьеров по добыче угля на территории Венгрии с использованием космических снимков, находящихся в свободном доступе. Отметим, что сфера использования технологий дистанционного зондирования Земли из космоса постоянно расширяется, о чем свидетельствуют работы как российских, так и зарубежных исследователей [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ
В КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ БУРОГО УГЛЯ**

На территории Республики Венгрия никогда не наблюдалось масштабной добычи угля открытым способом. Вместе с тем на ее территории работают два карьера по добыче угля с поточной технологией выемки вскрышных пород и угля с условными названиями Карасонд и Букабрани. Карьер Карасонд, работающий с 1965 г., находится в 67 км на северо-восток от столицы Венгрии г. Будапешта, а карьер Букабрани – в 114 км в том же направлении. Отметим, что эти карьеры являются единственными поставщиками угля на тепловую электростанцию Матра (ввод в эксплуатацию – конец 1960-х гг.) с установленной суммарной мощностью энергоблоков 950 МВт. Три предприятия топливно-энергетического комплекса расположены компактно в полосе с размерами 9×57 км, длинная ось которой ориентирована в направлении «юго-запад – северо-восток» [10].

Горно-геологическое строение угольных пластов на территории Венгрии позволяет производить их вскрытие в местах выхода под наносы. Мощность угольного пласта простого строения в каждом карьере изменяется от 18 до 24 м. Углы залегания угольных пластов в местах их выхода под наносы находятся в диапазоне 2–3°. По мере погружения пласта в угленосную толщу его залегание становится горизонтальным. Системы разработки угольных месторождений однобортные с параллельным или веерным перемещением рабочего борта. На выемке

вскрышных пород и угля используют роторные и цепные экскаваторы в комплексе с ленточными конвейерами для перемещения вскрыши и угля. Предварительное рыхление горных пород буровзрывным способом перед экскавацией не производится [10].

Общая протяженность фронта горных работ в карьерах (2,2 и 2,3 км) по верхнему уступу равна 4,5 км. Глубина карьеров находится в диапазоне 65-92 м. Вскрышная толща мощностью 70 м в карьере Карасонд отрабатывается пятью уступами, на которых работают роторные экскаваторы *SRs-1300* (2 ед.), *KR5500T* (1 ед.), *PE-100-1300* (1 ед.) и цепной экскаватор *ERs-710* (1 ед.). На отвалах вскрышные породы из этого карьера отсыпают двумя ярусами общей высотой 80 м отвалообразователями *ARs-3000* на гусеничном ходу (4 ед.). Верхняя пачка угольного пласта в карьере Карасонд мощностью 10-13 м вынимается цепным экскаватором *ERs-710* (1 ед.) при ширине заходки 52 м. Нижняя пачка угольного пласта мощностью 8-9 м отрабатывается цепным экскаватором *ERs-400* (1 ед.) заходками шириной 35 м. Уголь, добываемый в карьере Карасонд, по стационарному конвейеру подается на расходный склад электростанции Матра [10].

Вскрышная толща в карьере Букабрани характеризуется мощностью 40 м и отрабатывается тремя уступами, на которых установлены роторные экскаваторы *PE-100-250* (1 ед.) и *KR-1300Xk* (2 ед.). На отвалах вскрышные породы из этого карьера отсыпают двумя ярусами до уровня рельефа, нарушенного горными работами, отвалообразователями *ARs-3000* (3 ед.). Верхняя пачка угольного пласта в карьере Букабрани мощностью 11-13 м вынимается цепным экскаватором *ERs-710* (1 ед.) при ширине заходки 52 м. Средняя пачка угольного пласта мощностью 8-9 м отрабатывается цепным экскаватором *ERs-400* (1 ед.) заходками шириной 35 м. Нижняя пачка пласта мощностью 2-3 м отрабатывается двумя гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» с ковшом 2 куб. м. Эти экскаваторы работают в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 30 т (6 ед.). Уголь, добываемый в карьере Букабрани, по стационарному конвейеру подается на расходный прикарьерный стационарный склад вблизи карьера, с которого производится отгрузка угля в железнодорожные полувагоны. В них уголь доставляют на электростанцию Матра. Дальность транспортировки угля по железной дороге равна 58,4 км.

Уникальное горно-геологическое строение угленасыщенного участка, отрабатываемого карьером Букабрани, с одной стороны, и применяемое горное оборудование – с другой, привели к необходимости изменить порядок отработки угленасыщенного участка на 180° – с юго-западного на северо-восточное направление (см. рисунок).

По данным дистанционного мониторинга, в 1985 г. протяженность фронта горных работ в карьере была равна 530 м (желтая линия на рисунке). Далее продолжились

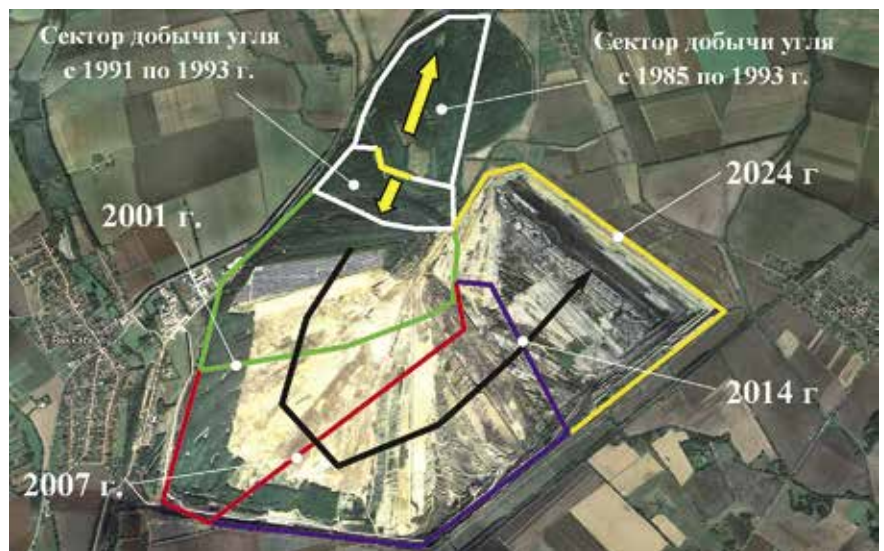


Схема развития горных работ в карьере Букабрани по добыче бурого угля на территории Республики Венгрия на снимке из космоса

A schematic representation of mining operations at the Bukkabrány brown coal mine in Hungary in a space image

строительство разрезной траншеи протяженностью 520 м и последующее развитие фронта горных работ протяженностью 1050 м в северном направлении до 1993 г. С началом развития горных работ в южном направлении с 1991 г. появилась возможность размещения вскрышных пород на месте угольного пласта, отрабатанного севернее от начальной разрезной траншеи. Параллельное перемещение рабочего борта в карьере зафиксировано в два периода отработки угленасыщенного участка: с 1985 по 1993 г. и с 2015 г. по настоящее время. В период с 1994 по 2014 г. участок отрабатывался при веерном перемещении фронта горных работ [10].

На рисунке линией белого цвета показаны границы карьера в 1993 г., линией зеленого цвета – положение горных работ в 2007 г., линией синего цвета – положение горных работ в 2014 г., линией оранжевого цвета – положение горных работ в 2024 г., стрелками желтого цвета – направления подвигания горных работ в карьере с 1985 по 1993 г., стрелками черного цвета – направление порядка отработки карьерного поля с 1994 по 2024 г.

Всего, по данным космической съемки, в угольных карьерах в Венгрии работают 12 экскаваторов непрерывного действия. Эта совокупность состоит из роторных и цепных экскаваторов *SRs-1300* (2 ед.); *KR5500T* (1 ед.), *PE-100-1300* (1 ед.), *PE-100-250* (1 ед.), *KR-1300Xk* (2 ед.), *ERs-710* (3 ед.) и *ERs-400* (2 ед.). Вскрышные породы, удаляемые из всех карьеров с использованием ленточных конвейеров, отсыпают на внутренних отвалах на месте отрабатанного угольного пласта (карьер Букабрани) или в выработанном пространстве ранее отрабатанного карьера по добыче угля (карьер Карасонд), в которых добыча угля прекращена. При этом на внешних отвалах вскрышные породы не отсыпают. Отсыпка вскрыши на отвалах производится отвалообразователями *ARs-3000* на гусеничном ходу (7 ед.). Суммарная длина передвижных и стационарных конвейерных линий, смонтированных на вскрышных

уступах и вдоль нерабочих бортов в торцах двух карьеров с выходом на внутренние отвалы, составляет 40,5 км. Общая длина передвижных и стационарных конвейерных линий, смонтированных на добычных уступах вдоль нерабочих бортов карьеров и по земной поверхности до расходного стационарного склада на электростанции и прикарьерного стационарного склада вблизи карьера Букабрани, с которого производится отгрузка угля в железнодорожные полувагоны, равна 19,1 км [10]. В целом, функционирование на территории Венгрии предприятий топливно-энергетического комплекса, основанное на добыче угля открытым способом и его сжигании на тепловых электростанциях, не соответствует резолюциям ООН о необходимости улучшения климата на нашей планете [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом особенностей горно-геологического строения месторождений бурого угля, моделей и количества работающих экскаваторов на вскрышных и добычных работах, а также их производительности определены объемы выемки и перемещения вскрышных пород и угля из недр. Общий годовой объем вскрышных работ, по нашей оценке, выполняемый в двух карьерах на территории Венгрии, равен 30 млн т, и суммарный объем добываемого угля составляет 6 млн т. Действующие угольные карьеры на территории Венгрии дорабатывают запасы, строительства новых карьеров на спутниковых снимках не наблюдается.

Список литературы • References

1. Терехин Э.А. Возможности оценки лесистости овражно-балочных систем Среднерусской лесостепи по данным дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. № 3. С. 107-120. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-107-120.
Terekhin E.A. Possibilities for assessing the forest cover of small dry valleys in the Central Russian forest-steppe using remote sensing data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2024;(3):107-120. (In Russ.). DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-107-120.
2. Исследование показателей угольных карьеров в топливно-энергетическом комплексе Республики Монголия с использованием ресурсов дистанционного зондирования / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Е.В. Логинова и др. // Уголь. 2023. № 1. С. 76-79. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-76-79.
Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Loginova E.V., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Skornyakova S.N., Maglinets Yu.A., Raevich K.V., Latyntsev A.A., Pavlova P.L., Lunev A.S. Studies of coal pit performance in the fuel and energy complex of the Republic of Mongolia using remote sensing data. *Ugol'*. 2023;(1):76-79. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-76-79.
3. 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): 46-49.
4. Li S., Li J., Du W. et al. Combining Satellite Images and the Hydraulic Engineering Archive to Map the Processes of Reservoir Construction in Xinjiang. *Remote Sens*. 2024;(16):328. DOI: 10.3390/rs16020328.
5. Deng L., Yan E., Jiang J. et al. Estimating Fine Fuel Load Using Sentinel-2A Imagery and Machine Learning: A Case Study in the Mountainous Forests of Changsha, China. *Remote Sens*. 2023;(15):5721. DOI: 10.3390/rs15245721.
6. Jang W., Kim J., Kim J.H. et al. Evaluation of Sentinel-2 Based Chlorophyll-a Estimation in a Small-Scale Reservoir: Assessing Accuracy and Availability. *Remote Sens*. 2024;(16):315. DOI: 10.3390/rs16020315.
7. Wei Li, Zhe Li, Yongfeng Wei et al. Square ancient sites detection in typical regions of the Mongolian plateau using improved faster R-CNN from Google Earth high-resolution images. *International Journal of Remote Sensing*. 2023;44(17):5207-5227. DOI: 10.1080/01431161.2023.2244641.
8. Xiaofang Jiang, Hanchen Duan, Jie Liao et al. Comparative research on multi-algorithm of soil salinity monitoring based on Gaofen-5, Sentinel-1, and Sentinel-2. *International Journal of Remote Sensing*. 2023;44(15): 4704-4726. DOI: 10.1080/01431161.2023.2235640.
9. Tran X.B., Trinh L.H., Nguyen Q.L. et al. Detection of violations of open-pit mining lease boundaries using Sentinel-2 MSI data in the case of Lao Cai and Yen Bai provinces of North Vietnam. *Mining Science and Technology*. 2023;8(2):173-182. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-12-68.
10. <https://www.google.com/earth>.
11. <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-ambition-summit>.

Authors Information

Zenkov I.V. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, Deputy Director for Scientific Work, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation, e-mail: zenkoviv@mail.ru

Trinh Le Hung – PhD (Engineering), Associate Professor, Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

Yuronen Yu.P. – PhD (Engineering), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Karacheva G.A. – Senior lecturer, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Vokin V.N. – PhD (Engineering), Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Kiryushina E.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Cherepanov E.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Latyntsev A.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Raevich K.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Petrov V.A. – Mining Engineer, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.05.2025

Поступила после рецензирования: 17.06.2025

Принята к публикации: 27.06.2025

Paper info

Received May 10, 2025

Reviewed June 17, 2025

Accepted June 27, 2025