Оригинальная статья

УДК 622.271(437):55.814 © И.В. Зеньков✉[1], А.А. Симон[1], Ле Хунг Чинь[2], Ю.П. Юронен[3], П.Л. Павлова[4], А.С. Лунев[4], Л.Н. Кузина[4], Т.Н. Сизова[4], В.И. Афанасов[4], 2025

[1] Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия
[2] Технический университет им. Ле Куй Дон, 11355, г. Ханой, Вьетнам
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия
[4] Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

Original Paper

UDC 622.271(437):55.814 © I.V. Zenkov✉[1], A.A. Simon[1], Le Hung Trinh[2], Yu.P. Yuronen[3], P.L. Pavlova[4], A.S. Lunev[4], L.N. Kuzina[4], T.N. Sizova[4], V.I. Afanasov[4], 2025

[1] Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation
[2] Le Quy Don Technical University, Hanoi, 11355, Vietnam
[3] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
[4] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

Исследование горных работ в карьере по добыче угля на территории Черногории с использованием информационных ресурсов космического мониторинга

A study of mining operation in an open-pit coal mine in the territory of Montenegro using space monitoring data

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-11-125-128

В статье представлены результаты исследования технологических и технических аспектов производства открытых горных работ на угольном месторождении в Черногории. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлены количество и модели экскаваторов, работающих в угольных карьерах, а также определен годовой объем экскавации вскрышных пород и угля, поставляемого на тепловую электростанцию. По результатам спутниковой съемки за двадцатилетний период выявлен стабильный тренд в добыче угля открытым способом на территории Черногории.

Ключевые слова: *дистанционное зондирование, угольная промышленность, Черногория, топливно-энергетический комплекс, угольные карьеры, годовой объем добычи угля, горные и транспортные машины, угольная генерация электроэнергии.*

Для цитирования: Исследование горных работ в карьере по добыче угля на территории Черногории с использованием информационных ресурсов космического мониторинга / И.В. Зеньков, А.А. Симон, Ле Хунг Чинь и др. // Уголь. 2025;(11):125-128. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-125-128.

Abstract

The paper presents the results of studying technological and technical aspects of surface mining operations at a coal deposit in Montenegro. The remote sensing studies and analytical calculations helped to reveal the number and

ЗЕНЬКОВ И.В.
Доктор техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия, e-mail: zenkoviv@mail.ru

СИМОН А.А.
Горный инженер, Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия

ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ
Канд. техн. наук, доцент, Технический университет им. Ле Куй Дон, 11355, г. Ханой, Вьетнам

ЮРОНЕН Ю.П.
Канд. техн. наук, доцент,
Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия

ПАВЛОВА П.Л.
Канд. техн. наук, доцент,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия

ЛУНЕВ А.С.
Канд. техн. наук, доцент,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия

КУЗИНА Л.Н.
Канд. экон. наук, доцент,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия

СИЗОВА Т.Н.
Старший преподаватель,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия

АФАНАСОВ В.И.
Старший преподаватель,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, Россия

models of the excavators operated in the coal pits as well as to determine the annual volume of overburden removed and coal dispatched to a thermal power plant. The results of satellite observations during a two-decade period indicate a stable trend in surface coal mining in the territory of Montenegro.

Keywords
Remote sensing, coal mining industry, montenegro, fuel and energy complex, coal pits, annual coal production, mining and transportation machines, coal-fired power generation.
For citation
Zenkov I.V., Simon A.A., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P., Pavlova P.L., Lunev A.S., Kuzina L.N., Sizova T.N., Afanasov V.I. A study of mining operation in an open-pit coal mine in the territory of Montenegro using space monitoring data. *Ugol'*. 2025;(11):125-128. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-125-128.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в европейской экономике наметился устойчивый переход на выработку электроэнергии с использованием источников «зеленой энергетики». Вместе с тем всегда имеется научный интерес, заключающийся в определении шагов к этому переходу в том или ином европейском государстве. Как известно, изучение экономической географии любого государства связано с исследованием размещения производительных сил и выделением основных объектов топливно-энергетического комплекса. Изучать это направление можно по информации, представляемой в научной литературе, в интернет-источниках. В последние годы интенсивное освоение космоса способствует получению новых знаний о территориях Земли, а также исследованию прикладных отраслевых проблем, решения которых представлены в виде небольшой подборки трудов российских и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4, 5, 6 ,7, 8, 9]. По нашему мнению, эта тематика не потеряет своей актуальности в ближайшие десятилетия. Изучение основ мировой экономической географии предполагает исследование территорий с открытыми горными работами, которое на очередном этапе нашей работы было выполнено в границах Черногории с использованием результатов дистанционного зондирования.

ГЕОГРАФИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ КАРЬЕРОВ ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ И ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

На территории Черногории исторически масштабная добыча угля открытым способом не производилась [10]. Вместе с тем в северной части ее территории вблизи г. Плевля с 1982 года работают один карьер по добыче угля и одна тепловая электростанция *(рис. 1)*, что в определенной степени вступает в противоречие с основными положениями резолюций ООН в области улучшения климата на Земле [11].

Рис. 1. Расположение предприятий топливно-энергетического комплекса на территории Черногории (на снимке из космоса)
Fig. 1. Location of the fuel and energy complex enterprises in Montenegro (satellite image)

Отметим, что этот карьер является единственным поставщиком угля на тепловую электростанцию с условным названием Плевля с суммарной мощностью энергоблоков 225 МВт. Карьер находится в 850 м на юг от г. Плевля [9].

К настоящему времени площадь горнопромышленного ландшафта, представленного действующим карьером и внутренним отвалом, постоянно отсыпаемым на месте отрабатываемого угольного пласта, составляет 262 га.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАМЕННОГО УГЛЯ

В карьере глубиной 120 м протяженность фронта горных работ составляет 1200 м по верхнему уступу и 650 м – по добычному уступу (*рис. 2*).

На *рис. 2* стрелками белого цвета показаны направления развития открытых горных работ при отработке угольного пласта. Система разработки угленасыщенного участка месторождения однобортовая с размещением вскрышных пород в выработанном пространстве карьера. Экскавацию основной части вскрышных пород и угля осуществляют после буровзрывного рыхления. На бурении взрывных скважин работают четыре буровых станка. Скважины бурят по диагональной сетке с размерами 6 × 6 м. Выемка верхнего слоя рыхлых горных пород четвертичного возраста производится без буровзрывного рыхления драглайном ЭШ-13/50 (в кольце синего цвета) с размещением всего объема на нижней площадке второго от поверхности вскрышного уступа. В дальнейшем эти горные породы будут отгружены экскаваторами ЭКГ-8и или ЭКГ-10 в карьерные автосамосвалы [10].

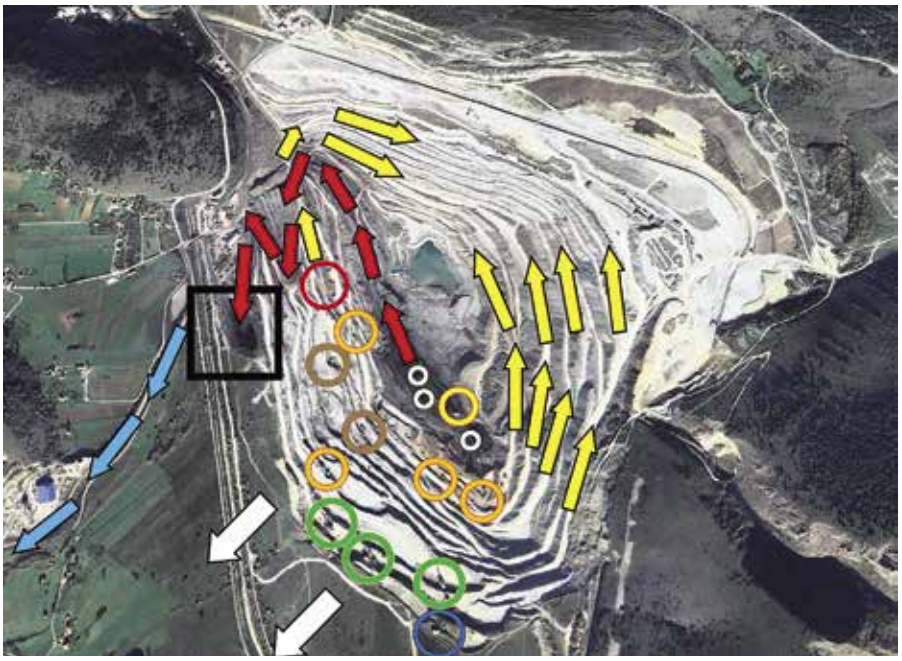

Рис. 2. Схема расстановки экскаваторов и логистики карьерных грузопотоков в карьере по добыче угля в окрестностях г. Плевля на территории Черногории (на снимке из космоса)

Fig. 2. Layout of excavators and in-pit material flows at a coal open-pit mine near the City of Pljevlja, Montenegro (in a satellite image)

В карьере на отработке верхней части вскрышных пород на верхних уступах работают: один экскаватор ЭКГ-8и и два экскаватора ЭКГ-10 (в кольцах зеленого цвета, *см. рис. 2*). В средней части рабочего борта на северном фланге карьера установлен один экскаватор ЭКГ-5А (в кольце красного цвета). В средней и нижней части рабочего борта на выемке вскрыши работают два гидравлических экскаватора типа «прямая лопата» (в кольцах коричневого цвета) с ковшом 10 куб. м и четыре гидравлических экскаватора типа «обратная лопата» (в кольцах оранжевого цвета) с ковшом 4 куб м. Все экскаваторы в карьере, кроме драглайна ЭШ-13/50, производят выемку вскрышных пород и угля из развалов и погрузку в карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 40 (10 ед.) и 55 т (12 ед.). Расстояние транспортировки вскрышных пород с нижних уступов карьера на внутренний отвал через южный фланг составляет 0,9 км, а с верхних уступов – 1,2 км [10]. Через северный фланг карьера расстояние транспортировки вскрышных пород с нижних уступов карьера на внутренний отвал составляет 1,4 км, а с верхних уступов – 1,8 км. Направление транспортировки вскрышных пород в карьере вдоль флангов на внутренний отвал показано стрелками желтого цвета.

Средняя мощность угольного пласта слабонаклонного залегания, находящегося в разработке, равна 15 м. На выемке угля установлены драглайн ЭШ-4/40 (в кольце желтого цвета) и три гидравлических экскаватора (в кольцах белого цвета) типа «обратная лопата» с ковшом 4 куб. м *(см. рис. 2)*. Весь объем добытого угля доставляют в автосамосвалах на прикарьерный расходный стационарный склад, обведенный квадратом черного цвета. Расстояние транспортировки угля в автосамосвалах из карьера с самого нижнего уступа до прикарьерного склада составляет 1,9 км. Направление транспортировки угля в автосамосвалах из карьера на расходный поверхностный склад показано стрелками красного цвета. Со склада уголь отгружают гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» с ковшом 2,5 куб. м в автосамосвалы общего назначения грузоподъемностью 25 т. Дальность транспортировки угля от склада до промышленной площадки электростанции равна 4,5 км [10]. Направление транспортировки угля с поверхностного склада на электростанцию показано стрелками синего цвета.

По нашей оценке, имеющийся в карьере парк горно-транспортного оборудования может обеспечить суммарный объем добычи угля не менее 1,2 млн т в год. Чтобы гарантированно обеспечить добычу такого объема угля в условиях горно-геологического строения разрабатываемого месторождения, необходимо выполнить годовой объем вскрышных работ не менее 15 млн т. Весь объем добытого угля с прикарьерного склада доставляется автосамосвалами общего назначения грузоподъемностью 25 т на промышленную площадку тепловой электростанции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дистанционного мониторинга на территории Черногории детально исследована работа двух карьеров по добыче каменного угля, общая возможная годовая производительность по горной массе которых находится

в диапазоне 16-17 млн т в год. Площадь горного отвода позволит производить добычу угля в действующих карьерах в ближайшие два десятилетия. За 20-летний период мониторинга годовой объем добычи угля на этом месторождении, а значит, и в целом в стране, имеет стабильный уровень.

Список литературы • References

1. Жаданова П.Д., Лаврова О.Ю. Влияние выбора данных спутников Landsat 8/9 и Sentinel 2A/2B на результаты определения мутности воды в приустьевых зонах рек // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. № 3. С. 244-265. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-244-265.

   Zhadanova P.D., Lavrova O.Yu. Impact of Landsat-8/9 and Sentinel-2A/2B data selectionon the results of water turbidity determination in coastal river zones. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2024;(3):244-265. (In Russ.). DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-244-265.
2. 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. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2024;(3):107-120. (In Russ.). DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-107-120.
3. 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. 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):93-96. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-93-96.
4. Ivanov A., Klimenko S. Mariculture in the Black Sea and its Impact on the Environment According to Satellite Observations. *Ecology and Industry of Russia*. 2024;28(4):34-39. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-4-34-394.
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):46-49.
6. 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.
7. Liu P., Ren C., Wang Z. et al. Evaluating the Potential of Sentinel-2 Time Series Imagery and Machine Learning for Tree Species Classification in a Mountainous Forest. *Remote Sensing*. 2024;16(2):293. DOI: 10.3390/rs16020293.
8. Duan M., Qiu Z., Li R. et al. Monitoring Suspended Sediment Transport in the Lower Yellow River Using Landsat Observations. *Remote Sensing*. 2024;16(2):229. DOI: 10.3390/rs16020229.
9. Jingqiu Huang, Hugh Sinclair, Prakash Pokhrel et al. Rapid subsidence in the Kathmandu Valley recorded using Sentinel-1 InSAR. *International Journal of Remote Sensing*. 2024;45(1):1-20. DOI: 10.1080/01431161.2023.2283902.
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, Deputy Director for Scientific Work, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation, e-mail: zenkoviv@mail.ru

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

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

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

Pavlova P.L. – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

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

Kuzina L.N. – PhD (Economics), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Sizova T.N. – Senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Afanasov V.I. – Senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 28.09.2025
Поступила после рецензирования: 18.10.2025
Принята к публикации: 30.10.2025

Paper info

Received September 28, 2025
Reviewed October 18, 2025
Accepted October 30, 2025