

УДК 622.271(540):55.814 © В.Н. Вокин<sup>1</sup>, И.В. Зеньков<sup>2</sup>, Ле Хунг Чинь<sup>3</sup>, Г.А. Карачева<sup>4</sup>, Ю.П. Юронен<sup>4</sup>, Е.В. Кирюшина<sup>1</sup>, Е.В. Черепанов<sup>1</sup>, К.В. Раевич<sup>1</sup>, А.А. Латынцев<sup>1</sup>, П.Л. Павлова<sup>1</sup>, Л.Н. Кузина<sup>1</sup>, А.С. Лунев<sup>1</sup>, К.А. Штреслер<sup>1</sup>, 2024

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

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

<sup>3</sup> Технический университет им. Ле Куй Дон, 11355, Ханой, Вьетнам

<sup>4</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия

✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

UDC 622.271(540):55.814 © V.N. Vokin<sup>1</sup>, I.V. Zenkov<sup>2</sup>, Le Hung Trinh<sup>3</sup>, G.A. Karacheva<sup>4</sup>, Yu.P. Yuronen<sup>4</sup>, E.V. Kiryushina<sup>1</sup>, E.V. Cherepanov<sup>1</sup>, K.V. Raevich<sup>1</sup>, A.A. Latyntsev<sup>1</sup>, P.L. Pavlova<sup>1</sup>, L.N. Kuzina<sup>1</sup>, A.S. Lunev<sup>1</sup>, K.A. Shtresler<sup>1</sup>, 2024

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

<sup>3</sup> Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

<sup>4</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

# Исследование технологических показателей работы угольных карьеров в штатах Джаркханд и Западная Бенгалия на территории Индии по данным космического мониторинга\*

## Studies of technological indicators of surface mine operation in the states of Jharkhand and West Bengal on the territory of India based on space monitoring data

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-7-109-112>

В статье представлены результаты исследования технологических и технических аспектов производства открытых горных работ на угольных месторождениях в штатах Джаркханд и Западная Бенгалия в Индии. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлено количество горных и транспортных машин, работающих в угольных карьерах, а также определен годовой объем экскавации вскрышных пород и добычи угля. По результатам спутниковой съемки выявлен стабильный тренд в добыче угля открытым способом на территории исследуемых штатов.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, Республика Индия, штаты Джаркханд и Западная Бенгалия, угольные карьеры, топливно-энергетический комплекс, угольная генерация электроэнергии, угледобывающая промышленность, годовой объем добычи угля, горные и транспортные машины.

**Для цитирования:** Исследование технологических показателей работы угольных карьеров в штатах Джаркханд и Западная Бенгалия на территории Индии по данным космического мониторинга / В.Н. Вокин, И.В. Зеньков, Ле Хунг Чинь и др. // Уголь. 2024;(7):109-112. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-109-112.

### ВОКИН В.Н.

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

### 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 Куй Дон,  
11355, г. Ханой, Вьетнам

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

**КАРАЧЕВА Г.А.**

Старший преподаватель  
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

**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

**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

**ПАВЛОВА П.Л.**

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

**КУЗИНА Л.Н.**

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

**ЛУНЕВ А.С.**

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

**ШТРЕСЛЕР К.А.**

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

**Abstract**

The article presents the results of studying the technological and technical aspects of surface mining operations at coal deposits in the states of Jharkhand and West Bengal in India. Remote sensing studies and analytical calculations revealed the number of mining and haulage machines working in the coal pits, as well as determined the annual volume of overburden excavation and coal mining. Satellite observations revealed a stable trend of surface coal mining in the surveyed states.

**Keywords**

Remote sensing of the Earth, Republic of India, Jharkhand and West Bengal states, coal pits, fuel and energy complex, coal-fired power generation, coal mining industry, annual volume of coal mining, mining and transportation machines.

**For citation**

Vokin V.N., Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Karacheva G.A., Yuronen Yu.P., Kiryushina E.V., Cherepanov E.V., Raevich K.V., Latyntsev A.A., Pavlova P.L., Kuzina L.N., Lunev A.S., Shtresler K.A. Studies of technological indicators of surface mine operation in the states of Jharkhand and West Bengal on the territory of India based on space monitoring data. *Ugol'*. 2024;(7):109-112. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-109-112.

**Acknowledgements**

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

**ВВЕДЕНИЕ**

Поступательное движение в развитии науки и техники подразумевает повсеместный переход в промышленности на энергосберегающие технологии. Вместе с тем в экономике как развитых, так и развивающихся стран имеются энергоемкие производства, потребность которых в электрической энергии невозможно покрыть использованием солнечных батарей и ветряных генераторов. В мировой экономике одним из регионов, на территории которого работают крупные предприятия топливно-энергетического комплекса, являются штаты Джаркханд и Западная Бенгалия в Индии. В последние десятилетия на территории этих штатов интенсивно производится добыча угля в карьерах. На наш взгляд, технологические решения, системы разработки, показатели работы горных и транспортных машин, т.е. мировой производственный опыт всегда применялся в качестве информации для обучения новых поколений специалистов в области горного дела независимо от государственной принадлежности и политической обстановки в мире. Последнее является актуальной задачей в области горных наук. 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, 10].

По данным спутниковой съемки разработка угольных месторождений в штатах Джаркханд и Западная Бенгалия производится в долинах рек Дамадар, Аджей и Аджей Нади. Предварительная оценка показывает, что на исследуемой территории работают 79 карьеров с размерами в плане и производственной мощностью по горной массе в широком диапазоне. Протяженность фронта добычных работ варьирует от 0,08 км до 2,7 км. Все карьеры условно распределены по группам. В основу группировки положен один из важнейших факторов горных работ – протяженность фронта добычных работ. Границы диапазонов в исследуемой совокупности установлены следующим образом: в карьерах из первой группы длина фронта добычных работ не превышает 200 м; в карьерах второй группы протяженность добычных работ находится в диапазоне от 201 до 500 м; аналогичный показатель для третьей, четвертой и пятой групп составляет соответственно 501-1000, 1001-2000 м и более 2000 м. В первую, вторую, третью, четвертую и пятую группы входят 4, 17, 31, 21 и 6 карьеров соответственно.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРКА ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ В ШТАТЕ ДЖАРКХАНД

По данным дистанционного космического зондирования в восточном секторе штата Джаркханд, на границе с северо-западным сектором штата Западная Бенгалия на протяжении последних десятилетий работают 90 предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) – 79 карьеров по добыче угля и 11 тепловых электростанций с угольной генерацией электроэнергии [11]. Все предприятия ТЭК находятся в полосе неровной конфигурации, имеющей широтную ориентацию с размерами 50×270 км (см. рисунок). Исследуемая территория обведена на рисунке линией желтого цвета. В этих же контурах размещено шесть крупных металлургических заводов. Участки природных ландшафтов с работающими угольными карьерами выделены линиями синего цвета.

Общая протяженность фронта добычных работ в карьерах по добыче угля на территории штата Джаркханд составляет 62,49 км. В карьерах горные работы могут развиваться в любых направлениях в соответствии со степенью угленасыщенности участков месторождений. Наличие работающего горнотранспортного оборудования в карьерах и его производительность позволили определить годовую производственную мощность карьеров по добыче угля. Из всей совокупности карьеров один карьер работает со среднегодовой производственной мощностью по добыче угля на уровне 0,25 млн т, в двенадцати карьерах ежегодно добывают 0,75 млн т. Ежегодный объем угля на уровне 1,5 млн т обеспечивается в 23 карьерах. Среднегодовой объем добычи угля на уровне 3 и 6 млн т стабилизирован работой горнотранспортного оборудования в 20 и 4 карьерах соответственно.

По данным спутниковой съемки в шестидесяти карьерах на месторождениях угля в штате Джаркханд на бурении взрывных скважин работают 134 высокопроизводительных буровых станка. В состав экскаваторно-автомобильных комплексов входят: 31 мехлопата с ковшом вместимостью 5-8 куб. м, 22 фронтальных погрузчика на автомобильном шасси с ковшом вместимостью 10 куб. м, 306 гидравлических экскаваторов типа

«обратная лопата» с ковшом вместимостью 2,5-4 куб. м и 12 гидравлических экскаваторов типа «прямая лопата» с ковшом вместимостью 10 куб. м, 1092 автосамосвала общего назначения грузоподъемностью 25-30 т, 433 карьерных автосамосвала грузоподъемностью 40-90 т. В одном карьере на перевалке породного междупластия в выработанное пространство используют драглайн с ковшом вместимостью 40 куб. м и длиной стрелы 90 м. На вспомогательных работах задействовано 142 мощных бульдозера.

По аналитическим расчетам парк горнотранспортного оборудования может технически и технологически обеспечить годовой объем добычи угля на уровне 159 млн т и объем вскрышных работ не менее 200 млн т.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРКА ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ В ШТАТЕ ЗАПАДНАЯ БЕНГАЛИЯ

Общая протяженность фронта добычных работ в карьерах по добыче угля на территории штата Западная Бенгалия составляет 14,2 км. В карьерах горные работы могут развиваться в любых направлениях в соответствии со степенью угленасыщенности участков месторождений. Наличие работающего горнотранспортного оборудования в карьерах и его производительность позволили определить годовую производственную мощность карьеров по добыче угля. Из всего количества три карьера работают со среднегодовой производственной мощностью по добыче угля на уровне 0,25 млн т, в пяти карьерах ежегодно добывают 0,75 млн т. Ежегодный объем угля на уровне 1,5 млн т обеспечивается в восьми карьерах. Среднегодовой объем добычи угля на уровне 3 и 6 млн т стабилизирован работой горнотранспортного оборудования в одном и двух карьерах соответственно.

По данным спутниковой съемки в 19 карьерах на месторождениях угля в штате Западная Бенгалия на бурении взрывных скважин работают 39 высокопроизводительных буровых станков. В состав экскаваторно-автомобильных комплексов входят: 14 мехлопат с ковшом 5-8 куб. м, 5 фронтальных погрузчиков на автомобильном шасси с ковшом 10 м<sup>3</sup>, 117 гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» с ковшом 2,5-4 куб. м и четыре гидравлических экскаватора типа «прямая лопата» с ковшом 10 куб. м, 551 автосамосвал общего назначения грузоподъемностью 25-35 т, 101 карьерный автосамосвал грузоподъемностью 40-90 т. В одном карьере на перевалке породного междупластия в выработанное пространство карьера используют драглайн с вместимостью ковша 30 куб. м и длиной стрелы 100 м. На вспомогательных работах задействовано 52 мощных бульдозера.

По аналитическим расчетам парк горнотранспортного оборудования может технически и технологически обеспечить годовой объем добычи угля на уровне 60 млн т и объем вскрышных работ не менее 109 млн т.



Размещение предприятий топливно-энергетического комплекса в восточном секторе штата Джаркханд и западной части штата Западная Бенгалия (на снимке из космоса)

Locations of fuel and energy complex facilities in the eastern sector of Jharkhand and western part of the West Bengal States (based on a satellite image)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дистанционного мониторинга на территории штатов Джаркханд и Западная Бенгалия в Индии выявлено 79 действующих карьеров по добыче угля. Технически и технологически достижимый объем добычи угля составляет 220 млн т в год. Обеспечить этот показатель должно выполнение вскрышных работ по удалению покрывающих угольные пласты горных пород и породных междупластий объемом не менее 310 млн т в год. Отметим, что мощность вскрышных пород, покрывающих угольные пласты, не превышает 30 м и зачастую этот показатель находится на уровне 12-15 м. Объем добычи угля в карьерах является величиной переменной во времени и устанавливается в зависимости от генерирующих мощностей на тепловых электростанциях и работы металлургических заводов.

## Список литературы • References

1. Шарый П.А., Шарая Л.С. NDVI темных хвойных лесов как функция климата в Волжском бассейне // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 3. С. 178-185. Shary P.A., Sharaya L.S. Dark conifer forests NDVI as a function of climate in the Volga basin. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022;(3):178-185. (In Russ.).
2. Абаев Н.Н. О связи между водностью трансграничной реки Или и режимами работы водохранилищ в верхней части бассейна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 1. С. 217-225. Abayev N.N. The relationship between the Ili River streamflow and operation modes of the reservoirs in the upper river basin. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022;(1):217-225. (In Russ.).
3. Исследование результатов работ по лесовосстановительной экологии на породных отвалах угольных карьеров в регионах Ангаро-Енисейской Сибири / И.В. Зеньков, Л.Х. Чинь, Ю.А. Анищенко и др. // Экология и промышленность России. 2022. № 10. С. 45-51. Zenkov I.V., Chin L.H., Anishchenko Yu.A. et al. Study of work product on reforestation on rock dumps of coal open-cuts in the area of Angara-Yenisei Siberia. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022;(10): 45-51. (In Russ.).
4. Технологии и особенности открытых горных работ на месторождениях угля на острове Калимантан в Индонезии по данным спутниковой съемки / И.В. Зеньков, Л.Х. Чинь, Г.И. Юрковская и др. // Уголь. 2022. № 9. С. 28-31. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-28-31. Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Yurkovskaya G.I., Suslov D.N., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Raevich K.V., Latyntsev A.A., Maglinets Yu.A., Kondrashov P.M. & Pavlova P.L. Technologies and features of surface mining of coal deposits on the Island of Kalimantan in Indonesia based on satellite imaging data. *Ugol'*. 2022;(9): 28-31. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-28-31.
5. Котельников Р.В., Лупян Е.А. Особенности дистанционно оцениваемых распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 4. С. 75-87. Kotelnikov R.V., Loupian E.A. Features of remotely estimated distributions of forest fire areas for territories with different levels of fire protection. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022; (4):75-87. (In Russ.).
6. Dahhani S., Raji M., Hakdaou M., Lhissou R. et al. Land Cover Mapping Using Sentinel-1 Time-Series Data and Machine-Learning Classifiers in Agricultural Sub-Saharan Landscape. *Remote Sens*. 2023;(15):65.
7. O'Brien T.G., Ahumada J., Akampurila E. et al. Camera trapping reveals trends in forest duiker populations in African National Parks. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2020;6(2):168-180.
8. LaRue M.A., Ainley D.G., Pennycook J. et al. Engaging 'the crowd' in remote sensing to learn about habitat affinity of the Weddell seal in Antarctica. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2020;6(1):70-78.
9. Hubert-Moy L., Rozo C., Perrin G. et al. Large-scale and fine-grained mapping of heathland habitats using open-source remote sensing data. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2022;8(4):448-463.
10. Zhu Z., Huang M., Zhou Z. et al. Stronger conservation promotes mangrove biomass accumulation: Insights from spatially explicit assessments using UAV and Landsat data. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2022;8(5):656-669.
11. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/earth/> (accessed 15.06.2024).

## Authors Information

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

**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

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

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

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

**Raevich K.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

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

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

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

**Shtresler K.A.** – Senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

## Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.06.2024

Поступила после рецензирования: 16.06.2024

Принята к публикации: 25.06.2024

## Paper info

Received June 10, 2024

Reviewed June 16, 2024

Accepted June 25, 2024