

УДК 622.271(73):550.814 © И.В. Зеньков¹, Ле Хунг Чинь²,
Е.В. Логинова³, Ю.А. Анищенко³, В.Н. Вокин⁴, Е.В. Кирюшина⁴,
Е.В. Черепанов⁴, К.В. Раевич⁴, А.А. Латынцев⁴, 2024

¹ Сибирский научно-исследовательский институт горного
и маркшейдерского дела, 660025, г. Красноярск, Россия

² Технический университет им. Ле Куй Дон, 11355, 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

UDC 622.271(73):550.814 © I.V. Zenkov¹, Le Hung Trinh²,
E.V. Loginova³, Yu.A. Anischenko³, V.N. Vokin⁴, E.V. Kiryushina⁴,
E.V. Cherepanov⁴, K.V. Raevich⁴, A.A. Latyntsev⁴, 2024

¹ Siberian Research Institute of Mining and Surveying,
Krasnoyarsk, 660025, 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
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

Исследование открытых горных работ на месторождениях угля в штатах Гуджарат и Раджастан на территории Индии по данным дистанционного мониторинга Земли из космоса*

Studies of surface mining operations at coal deposits in the states of Gujarat and Rajasthan on the territory of India based on Earth's remote sensing data

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-4-109-112>

В статье представлены результаты исследования состояния открытых горных работ на угольных месторождениях Гуджарат и Раджастан 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 угля на территории каждого штата. По результатам спутниковой съемки выявлен тренд в стабильности объемов открытой угледобычи на исследуемой территории Республики Индия.

Ключевые слова: Республика Индия, штаты Гуджарат и Раджастан, угольные месторождения, открытые горные работы, угольные карьеры, годовой объем добычи угля, горные и транспортные машины, дистанционное зондирование Земли.

Для цитирования: Исследование открытых горных работ на месторождениях угля в штатах Гуджарат и Раджастан на территории Индии по данным дистанционного мониторинга Земли из космоса / И.В. Зеньков, Ле Хунг Чинь, Е.В. Логинова и др. // Уголь. 2024;(4):109-112. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-109-112.

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

ЛОГИНОВА Е.В.

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

АНИЩЕНКО Ю.А.

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

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

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

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

Abstract

The paper presents the results of studying the state of surface mining operations at the coal deposits in the Gujarat and Rajasthan States 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 and coal excavation in each state. The results of satellite observations helped to identify a trend of keeping the volume of surface coal mining stable in the surveyed areas of the Republic of India.

Keywords

The Republic of India, Gujarat and Rajasthan States, Coal deposits, Surface mining, Coal pits, Annual coal production, Mining and haulage vehicles, Remote sensing of the Earth.

For citation

Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Loginova E.V., Anischenko Yu.A., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Cherepanov E.V., Raevich K.V., Lатыntsev A.A. Studies of surface mining operations at coal deposits in the states of Gujarat and Rajasthan on the territory of India based on Earth's remote sensing data. *Ugol'*. 2024;(4): 109-112. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-109-112.

Acknowledgements

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

ВВЕДЕНИЕ

В структуре мировой добычи угля одно из лидирующих мест принадлежит Республике Индия. К настоящему времени на территории Республики Индия сформирован мощный высокоразвитый промышленный потенциал. Его основой является топливно-энергетический комплекс, основанный на добыче угля открытым и подземным способом. По данным дистанционного мониторинга, добыча угля производится в одиннадцати штатах, в том числе на территории штатов Гуджарат и Раджастхан. Наша научно-практическая школа занимается исследованиями широкого спектра показателей российских и зарубежных предприятий горной промышленности с использованием спутниковых снимков: технологии разработки месторождений, размещение горных и транспортных машин, логистика, экология. 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, 10]. По нашему мнению, эта тематика не потеряет своей актуальности в ближайшее десятилетие.

КАРЬЕРЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ ГУДЖАРАТ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

По данным дистанционного мониторинга, добыча угля открытым способом производится в трех карьерах на территории западной части штата и в трех карьерах в его юго-восточном секторе. Здесь отмечены благоприятные горно-геологические условия для открытой разработки угольных месторождений: мощность вскрышных пород – не более 60 м, мощность угольных пластов с углами залегания 2–4° достигает 100 м. Разработка месторождений производится без углубления горных работ с разноской одного борта. В начальный период разработки месторождений вскрышные породы размещают во внешних отвалах. С момента появления выработанного пространства в карьерах вскрышные породы отсылают на место отработанного угольного пласта. Расположение двух смежных карьеров и внешнего отвала в плане показано на рисунке.

Мощность вскрышных пород в карьере № 1 составляет 12 м. Вся толща вскрышных пород отрабатывается тремя уступами высотой 4 м каждый. Мощность угольного пласта с горизонтальным залеганием достигает 80 м. В этом карьере угольный пласт сложного строения разрабатывают двадцатью уступами высотой 4 м. Направления развития гор-

ных работ обозначены стрелками (см. рисунок). Дальность транспортировки вскрышных пород на внешний отвал из карьера № 1 составляет 3,6 км, а из карьера № 2 – 4,7 км.

Мощность вскрышных пород в карьере № 2 составляет 20–25 м. Мощность угольного пласта с горизонтальным залеганием достигает 60 м. В карьере угольный пласт разрабатывают пятнадцатью уступами высотой 4 м каждый. По данным дистанционного зондирования, в карьерах № 1 и № 2 выемку угля и вскрышных пород производят гидравлическими экскаваторами (19 ед.) типа «обратная лопата» с ковшом 2,5 куб. м. В комплексе с экскаваторами работают автосамосвалы (75 ед.) грузоподъемностью 25 т. Фронт горных работ по верхнему уступу в карьере № 1 составляет 450 м, а в карьере № 2 – 650 м.

Весь объем угля вывозят из карьеров и складывают на территории двух поверхностных складов. На складах работают аналогичные экскаваторы, которые производят отгрузку угля в магистральные автосамосвалы с дальнейшей транспортировкой на расстояние 30 км до тепловых электростанций. Суммарная производственная мощность по добыче угля двух карьеров, по нашей оценке, находится на уровне 6 млн т в год. При этом объем вскрышных работ и выемки породных междупластий составляет 5 млн т в год.

В этом же штате в 25 км на юго-восток от карьеров, показанных на рисунке, добычу угля производят в карьере с начала 1990-х годов. Этому карьере в исследованиях присвоен условный № 3. Мощность вскрышных пород в карьере № 3 составляет 35–40 м. Вся толща вскрышных пород отрабатывается девятью-десятью уступами. Мощность угольного пласта с горизонтальным залеганием достигает 40 м. Угольный пласт разрабатывают десятью уступами высотой 4 м. Отметим, что выемка вскрышных пород и угля во всех карьерах производится без предварительного рыхления буровзрывным способом.

По данным дистанционного зондирования, в карьере № 3 выемку угля и вскрышных пород производят гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» (30 ед.) с ковшом вместимостью 2,5–4 куб. м. В комплексе с экскаваторами работают автосамосвалы общего назначения (70 ед.) грузоподъемностью 25–35 т и карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 40 т (32 ед.). Фронт горных работ по верхнему уступу в карьере составляет 3760 м. По нашей оценке, производственная мощность карьера по добыче угля находится на уровне 8 млн т в год. При этом необходимый объем вскрышных работ составляет 12 млн т.

В юго-восточном секторе штата Гуджарат в трех карьерах, находящихся в 20 км на запад, в 28 км на юго-восток и в 35 км на юго-восток от г. Бхаруч, фронт горных работ составляет соответственно 0,6, 1,55 и 1,15 км. Здесь разрабатывают угольные пласты сложного строения мощностью до 100 м с углами залегания 2–4°. На вскрышных и добычных работах используют экскаваторно-автомобильные комплексы. Всего в эксплуатируемых и строящемся карьерах на выемке горных пород работает 49 гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» с ковшом вме-



Фрагмент открытых горных работ в двух смежных карьерах на месторождении угля в западном секторе штата Гуджарат (на снимке из космоса)

A segment of surface mining operations in two adjacent open pits at a coal deposit in the western sector of Gujarat (a space image)

стимостью 2,5 куб. м. Вывозку горной массы из карьеров обеспечивают 160 автосамосвалов грузоподъемностью 25 т. По нашей оценке, годовой объем добычи угля в трех эксплуатируемых карьерах находится на уровне 7 млн т, а объем вскрышных работ – не менее 17 млн т.

КАРЬЕРЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ РАДЖАСТХАН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Исследуемый штат Раджастан находится в северо-западном секторе Республики Индия и на юге граничит со штатом Гуджарат. На территории штата в настоящее время на шести угленасыщенных участках месторождений добыча угля производится в шести карьерах с различной производственной мощностью. Все карьеры являются поставщиками угля на тепловые электростанции. Суммарная протяженность фронта горных работ во всех карьерах по верхнему уступу составляет 7,64 км. По снимкам из космоса сделан вывод о том, что углевмещающая толща сложена однородными рыхлыми песками с небольшой примесью глинистых пород. В ходе изучения конструкций рабочих бортов карьеров установлено, что мощность вскрышной толщи составляет 40–55 м, при этом мощность угольного пласта варьирует от 12 до 20 м. Изменчивая мощность угольного пласта позволяет строить карьеры с небольшим по протяженности фронтом горных работ (не более 2 км).

При горизонтальном залегании угольных пластов в карьерах производится разноска одного борта с размещением вскрышных пород как во внешних, так и во внутренних отвалах. Лимитирующие факторы в виде рыхления горных пород буровзрывным способом отсутствуют. Поэтому объемы отработки запасов угля будут в прямой зависимости от количества работающих экскаваторов и их производительности.

В шести карьерах на вскрышных и добычных уступах работают 77 гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» с ковшом 2,5 куб. м. В комплексе с экскаваторами работают автосамосвалы грузоподъемностью 25 т (212 ед.) и 16 карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 40 т.

Из этого комплекта горнотранспортного оборудования в двух карьерах, находящихся в 15 км на север от г. Бармер, работают 48 экскаваторов, 96 автосамосвалов общего назначения с колесной формулой 6x4 грузоподъемностью 25 т и 16 карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 40 т. Карьеры являются основными и единственными поставщиками угля на тепловую электростанцию с суммарной мощностью восьми энергоблоков на уровне 1000 МВт.

По нашей оценке, в этом штате в шести карьерах объем добычи угля составляет 12 млн т в год, при этом годовой объем вскрышных работ находится на уровне 26 млн т. Добыча угля в карьерах производится для обеспечения тепловых электростанций, работающих в штате Раджастан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам спутниковой съемки, как средства объективного контроля, освобожденного от субъективистских оценок, определен технологически и технически достижимый уровень производственных мощностей по добыче угля в двух штатах Индии – Гуджарат и Раджастан. По нашей оценке, общий объем добычи угля в карьерах на территории этих штатов, исходя из технологий производства горных работ и производительности горной техники, находится на уровне 33 млн т в год. При этом необходимо обеспечить объем вскрышных работ и отработки породных междупластьев в угольных пластах сложного строения на уровне 60 млн т.

Список литературы • References

1. Исследование динамики производственных мощностей по добыче угля и выработке электроэнергии в штате Виктория с использованием ресурсов дистанционного мониторинга Земли из космоса / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Ю.П. Юронен и др. // Уголь. 2023. № 9. С. 105-108. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-105-108. Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Cherepanov E.V., Gerasimova E.I., Shtresler K.A. Investigating into dynamics of coal mining and electricity generation capacities in the State of Victoria using Earth's remote sensing data. *Ugol'*. 2023;(9):105-108. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-105-108.
2. Объекты угольной генерации электроэнергии в горнопромышленном районе на юго-западе штата Западная Австралия по данным спутниковой съемки / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, М.В. Сафронов и др. // Уголь. 2022. № 12. С. 94-97. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-94-97. Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Safronov M.V., Karacheva G.A., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Veretenova T.A., Maglinets Yu.A., Raevich K.V., Latyntsev A.A., Lunev A.S. Coal-fired power generation facilities in a mining district in the southwestern part of Western Australia based on satellite imaging data. *Ugol'*. 2022;(12):94-97. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-12-94-97.
3. Мухамеджанов И.Д., Константинова А.М., Лупян Е.А. и др. Оценка возможностей спутникового мониторинга динамики речного стока на примере анализа состояния реки Амударья // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 87-103. Mukhamedjanov I.D., Konstantinova A.M., Loupian E.A. et al. Evaluation of satellite monitoring capabilities of streamrunoff based on the Amu Darya River state analysis. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022;19(1):87-103. (In Russ.).
4. Корниенко С.Г. Характеристика антропогенных трансформаций ландшафтов в районе Бованенковского месторождения по данным спутников Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 106-129. Kornienko S.G. Characteristics of anthropogenic transformations of terrains in the area of Bovanenkovo field based on Landsat satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022; 19(2):106-129. (In Russ.).
5. Chowdhury S.J.K., Harun-Al-Rashid A., Yang C.S. et al. Detection of Macroalgal Bloom from Sentinel-1 Imagery. *Remote Sens*. 2023;15:4764.
6. Shen B., Guo J., Li Z. et al. Comparative Verification of Leaf Area Index Products for Different Grassland Types in Inner Mongolia, China. *Remote Sens*. 2023;15:4736.
7. Holsinger L.M., Parks S.A., Saperstein L.B. et al. Improved fire severity mapping in the North American boreal forest using a hybrid composite method. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2022;8(2):222-235.
8. Borges J., Higginbottom T.P., Cain B. et al. Landsat time series reveal forest loss and woody encroachment in the Ngorongoro Conservation Area, Tanzania. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2022;8(6):808-826.
9. Kuhwald K., Schneider von Deimling J., Schubert Ph. et al. How can Sentinel-2 contribute to seagrass mapping in shallow, turbid Baltic Sea waters? *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2022;8(3):328-346.
10. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/earth/> (accessed 15.03.2024).

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

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

Loginova E.V. – PhD (Economic), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Anischenko Yu.A. – PhD (Economic), Associate Professor, 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

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 1.02.2024

Поступила после рецензирования: 28.02.2024

Принята к публикации: 26.03.2024

Paper info

Received February 1, 2024

Reviewed February 28, 2024

Accepted March 26, 2024